ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΙΙΙ :
«ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΠΟΓΙΑΤΖΙΔΗ
Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Πανεπιστημίου του Sussex

MSc Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού Έργων Υποδομής

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:
Λ. ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΙΙΙ :
«ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΠΟΓΙΑΤΖΙΔΗ
Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Πανεπιστημίου του Sussex

MSc Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού Έργων Υποδομής

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Λ. ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Α. ΜΠΑΚΟΛΑΣ, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Α. ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανωτάτη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα. (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής πραγματοποιήθηκε στην εργαστηριακή μονάδα «Προηγμένων και Συνθέτων Υλικών» του τομέα ΙΙΙ «Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο της η κατασκευή συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας και η μελέτη των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων τους με απώτερο σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την καταλληλότητα τους να χρησιμοποιηθούν ως σύνθετα υλικά σε δομικές εφαρμογές.

Η συγκεκριμένη έρευνα αποτελεί μέρος του τομέα έρευνας των σύνθετων δομικών υλικών. Πραγματοποιήθηκε υπό την καθοδήγηση του Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών κ. Λουκά Ζουμπουλάκη. Στο πλαίσιο της εκπόνησής της εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα και αποτελέσματα τα οποία και γνωστοποιήθηκαν στην επιστημονική κοινότητα μέσω ανακοινώσεων και δημοσιεύσεων σε επιστημονικά συνέδρια και περιοδικά αντίστοιχα.

Ολοκληρώνοντας την εν λόγω ερευνητική δραστηριότητα θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ και επιβλέποντα της Διδακτορικής Διατριβής κ. Λουκά Ζουμπουλάκη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου επιλέγοντας και αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, για την υποδειγματική και συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση, τις κατευθύνσεις, συμβουλές και την συνεχή διδασκαλία επί ποικίλων θεμάτων της επιστήμης και τεχνολογίας των υλικών και την ανθρώπινη αντιμετώπιση της οποίας έτυχα εκ μέρους του κατά την εκπόνηση της διατριβής σε κάθε επίπεδο.

Ευχαριστίες εκφράζονται επίσης στα υπόλοιπα αξιότιμα μέλη της Τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής της διατριβής μου, την Ομότιμη καθηγήτρια Σχολής Χημικών Μηχανικών κ. Αντωνία Μοροπούλου και τον Αναπληρωτή καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών κ. Αστέριο Μπακόλα για την εξαιρετική και αποτελεσματική αντιμετώπιση και συνεργασία μας, στο πλαίσιο της συμμετοχής τους στην ανωτέρω επιτροπή.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται προς τον Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών κ. Κωνσταντίνο Τσακαλάκη για την παραχώρηση του εργαστηριακού χώρου

κι εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για την προετοιμασία του υλικού πλήρωσης των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής όπως επίσης και για την ιδιαιτέρως διαφωτιστική διδασκαλία του σε ότι αφορά στην χρήση του εξοπλισμού και τη μεθοδολογία προετοιμασίας υλικών κοκκώδους μορφής.

Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω όλους τους εργαζόμενους, τους φοιτητές, μεταπτυχιακούς φοιτητές, τους διδάκτορες και όλους όσους μοιράστηκα κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής τους χώρους των εργαστηρίων και τον εργαστηριακό εξοπλισμό του Τομέα ΙΙΙ, για τις συμβουλές επί πρακτικών και θεωρητικών θεμάτων και την στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Παντελίτσα Γεωργίου και τον Δρ. Ιωάννη Καρτσωνάκη για την άψογη στάση, την καθοδήγηση και την ανεκτίμητη βοήθεια τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης διδακτορικής διατριβής.

Αθήνα,16/06/2022

Κωνσταντίνος Μπογιατζίδης

Μηχανολόγος Μηχανικός/ Σχολή Μηχανικών και Πληροφορικής/ Πανεπιστήμιο του Sussex

MSc Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Έργων Υποδομής/ Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας/ Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σύνθετα πολυμερικής μήτρας (PMCs) χρησιμοποιούνται στην εποχή μας ευρέως, σε πολλές και ποικίλες εφαρμογές. Το ιδιαίτερα χαμηλό τους κόστος συγκριτικά με άλλα υλικά, οι απλές τεχνικές κατασκευής και οι σχετικά καλές ιδιότητες που παρουσιάζουν τα έχουν τοποθετήσει σε κυρίαρχη θέση σε πάρα πολλούς τεχνολογικούς και επιστημονικούς τομείς.

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό των σύνθετων υλικών πολυμερικής μήτρας είναι και η αξιοσημείωτα καλή θερμομονωτική απόδοση που παρουσιάζουν σε σύγκριση με τα συμβατικά υλικά. Η ιδιότητά τους αυτή, αποδίδεται στον χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του πολυμερούς συστήματος που χρησιμοποιείται αποτελώντας την μήτρα του τελικού συνθέτου και το οποίο έχει ως αποτέλεσμα έχει την εκτεταμένη χρήση τέτοιου τύπου προϊόντων σε πλήθος δομικών και κατασκευαστικών εφαρμογών.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η επιστημονική έρευνα έχει επικεντρωθεί στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη υλικών που να παρουσιάζουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Ωστόσο, τα υψηλά κόστη ορισμένων ενισχυτικών προσθέτων υλικών, οδήγησε τους ερευνητές στην μελέτη εναλλακτικής μορφής υλικών πλήρωσης στην κατασκευή σύνθετων υλικών.

Ταυτόχρονα, τα ανακύπτοντα ζητήματα περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης κατέστησαν πρόσφορες τις συνθήκες υπό τις οποίες τα υποπροϊόντα αρκετών ανθρώπινων δραστηριοτήτων τέθηκαν υπό επανεξέταση και άρχισε να ερευνάται η εκμετάλλευση τους ως εν δυνάμει πληρωτικά συστατικά στην κατασκευή συνθέτων υλικών. Ειδικότερα δε σε ότι αφορά στο ζήτημα της επεξεργασίας των υποπροϊόντων του κατασκευαστικού τομέα και συγκεκριμένα των αποβλήτων κατεδάφισης και ανακαίνισης λαμβάνοντας υπόψη ότι πολλά εκ των συμπεριλαμβανομένων σε αυτά υλικά διαθέτουν καλές θερμομηχανικές ιδιότητες κίνησε το ενδιαφέρον των επιστημόνων.

Σημαντικός αριθμός ερευνητικών εργασιών δημοσιεύτηκε. Σε αυτές παρουσιάστηκαν ολιστικές στρατηγικές και σχέδια διαχείρισης οι οποίες αποσκοπούσαν στη βελτιστοποίηση της ανακύκλωσης των απορριμμάτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΚΚ). Παρόλα αυτά έως και σήμερα πολλές χώρες παγκοσμίως δεν έχουν καταφέρει να ανταποκριθούν στις

απαιτήσεις της περιβαλλοντικής νομοθεσίας και να επιτύχουν τους εξαιρετικά υψηλούς στόχους που τίθενται σε ότι αφορά τις ποσότητες συλλογής και ανακύκλωσης της συγκεκριμένης κατηγορίας αποβλήτων.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω περιβαλλοντικά επιβλαβείς πρακτικές επεξεργασίας όπως, η υγειονομική ταφή και η παράνομη απόρριψη εξακολουθούν να εφαρμόζονται στο πλαίσιο διαχείρισης του ρεύματος των ΑΚΚ.

Το υψηλό εν δυνάμει ποσοστό ανάκτησης των υλικών αυτών το οποίο επί του παρόντος παραμένει ανεκμετάλλευτο, έχει προσφάτως οδηγήσει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες στην ανάπτυξη και μελέτη νέων σύνθετων υλικών στα οποία ως μέσο πληρωτικό υλικό ή μέσο ενίσχυσης εισάγονται απόβλητα κατασκευής και κατεδάφισης υπό τη μορφή σκόνης μικρό-κοκκομετρικού μεγέθους.

Σκοπός της εν λόγω διατριβής είναι να διερευνήσει μέσω της μελέτης των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων την δυνατότητα κατασκευής συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας στα οποία ως υλικό πλήρωσης χρησιμοποιούνται επεξεργασμένα απόβλητα που έχουν προκύψει από την κατεδάφιση κτισμάτων και ενσωματώνονται στην πολυμερική μήτρα σε μορφή σκόνης διαφορετικών κοκκομετριών και αναλογιών (% κ. β.).

Ο βαθμός καινοτομίας αυτής της ερευνητικής εργασίας είναι σημαντικός λαμβάνοντας υπόψη ότι η εισαγωγή σκόνης ΑΚΚ σε θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή υλικών με καλές μηχανικές και θερμομονωτικές ιδιότητες. Πέραν αυτού, μέσω της κατασκευής των ανωτέρω σύνθετων υλικών, εισάγεται ένας εναλλακτικός και καινοτόμος τρόπος εκμετάλλευσης των παραπροϊόντων του κατασκευαστικού τομέα τα οποία παράγονται σε πολύ μεγάλες ποσότητες παγκοσμίως κάθε χρόνο. Σε ότι αφορά στην επεξεργασία και στην εκμετάλλευση, το βέλτιστο σενάριο ως προς την αξιοποίηση των υλικών αυτών, εάν δεν απορριφθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής ή σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης, είναι η ανάκτησή τους μέσω της αποκατάστασης λατομείων και διαμόρφωσης υποστρωμάτων σε οδικά έργα αγροτικών κυρίως δρόμων.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης θα οδηγήσουν σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη δυνατότητα εκμετάλλευσης αποβλήτων παρόμοιου τύπου ως υλικά πλήρωσης στην ανάπτυξη νέων δομικών υλικών όπως για παράδειγμα τα υπολείμματα εξόρυξης και επεξεργασίας μαρμάρου, απορρίμματα βιομηχανίας σκυροδέματος και τσιμέντου, απόβλητα κατασκευής τούβλων κλπ.

Για τους σκοπούς της διατριβής θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης (ER), ακόρεστου πολυεστέρα (UP) και ρητίνης φαινόλης-φορμαλδεΰδης, κατηγορία νεολάκης (N) τα οποία εμπεριέχουν επεξεργασμένα ΑΚΚ σε μικρό-κοκκώδη μορφή αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας γνωστές τεχνικές κατασκευής. Αναλυτικότερα, κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας με προσθήκη αποβλήτων κατεδάφισης (ως υλικό πλήρωσης) με τιμές αντοχής σε κάμψη (σ_b) στην περιοχή μεταξύ 20-60 MPa, αντοχή σε διάτμηση (τ_b) με τιμές μεταξύ 1-8 MPa και συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας (λ), μεταξύ 0.27-1.20 W/m K. Τα υλικά που αναπτύχθηκαν ενσωματώνουν ΑΚΚ σε ποσοστά από 30-50% κατά βάρος και σε αντιστοιχία με τη ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε ως μήτρα.

Μέσω Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης SEM και Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD) πραγματοποιήθηκε ο μορφολογικός χαρακτηρισμός των υλικών αυτών προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τον βαθμό διασποράς του υλικού πλήρωσης σε κάθε μία από τις τρεις διαφορετικές πολυμερικές μήτρες που προαναφέρθηκαν. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος με σκοπό τον εντοπισμό τυχόν ελαττωματικών θέσεων ήτοι κενών, φυσαλίδων κλπ στα τελικά σύνθετα.

Το σύνολο των υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν επέδειξαν ψαθυρή θραύση και παράλληλα μειούμενες μηχανικές αντοχές σε κάμψη και διάτμηση σε σύγκριση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν από καθαρή ρητίνη, γεγονός που επήλθε ως συνέπεια της αύξησης της περιεκτικότητας της σκόνης στα σύνθετα.

Στον αντίποδα οι θερμικές ιδιότητες και ειδικότερα οι θερμομονωτική απόδοση των ανωτέρω συνθέτων υλικών παρουσίασε βελτίωση σε σχέση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν

αποκλειστικά από μια εκ των πολυμερικών ρητινών ως αποτέλεσμα της αυξανόμενης περιεκτικότητας σκόνης ΑΚΚ στα σύνθετα.

Τα αποτελέσματα των μελετών που διεξήχθησαν υποδεικνύουν ότι τα εν λόγω υλικά μπορούν να αξιοποιηθούν εναλλακτικά σε ποικίλες εφαρμογές δομικού χαρακτήρα. Το χαμηλό κόστος, η ευκολία προετοιμασίας και τελικής μορφοποίησης τους σε συνδυασμό με την ευκολία προσαρμογής των υλικών αυτών στις συνθήκες και τις απαιτήσεις που διέπουν πολλές δομικές εφαρμογές προκρίνει τα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας με προσθήκη ΑΚΚ ως αξιόπιστη λύση.

ABSTRACT

Polymer matrix composites (PMCs) are extensively used in numerous applications nowadays. The low cost, simple manufacturing techniques and the relatively good properties that these materials exhibit, have placed them in a dominating position in many technological and scientific aspects.

Moreover PMCs are also characterized by significantly good heat insulation efficiencies in comparison to conventional materials. This is attributed to the low thermal conductivity coefficient of the polymer system that is usually used to form the PMCs' matrix and has led to their wide utilization in many applications within the construction sector.

During the last decades, researchers have focused on the development of materials with enhanced mechanical properties. The high costs of some reinforcing additives however, have driven scientific research into the consideration of alternative kinds of filling (embedding additives) materials in composites' manufacturing.

At the same time, environmental awareness issues created the circumstances under which byproducts of various human activities were reviewed and exploited as potential fillers in PMCs' manufacturing. On the other hand, the issue concerning the treatment of byproducts deriving from construction, demolition, and renovation projects combined with the good thermo-mechanical characteristics of these materials, has intrigued the interest of scientists. A significant number of research papers in which holistic management strategic plans were introduced in order to optimize the recycling of construction and demolition (C&D) waste stream were published. Up until now however, many countries worldwide have been unable to meet the demands of environmental legislation and achieve the extremely high (in terms of quantities) targets set for the recycling of waste produced from the construction sector. As a result, environmentally harmful treatment methods such as landfilling and illegal dumping are still in use in the management of this specific waste stream.

The high recovery potential of these materials, which at the moment remains unexploited, has focused the most recent research efforts on the development and study of new composite materials embedding construction and demolition wastes as filler in the form of micro-powder.

The purpose of this dissertation is to investigate the possibility of manufacturing polymer matrix composite materials in which processed C&D waste of different granular sizes and % w/w proportions in form of powder are embedded as fillers, via the study of their mechanical and thermal characteristics.

The degree of innovation of this research work is important considering that the introduction of C&D waste powder in thermoset polymers results in the production of materials with good mechanical and thermal insulating properties. In addition, through the manufacture of the above composite materials, an alternative and innovative way of exploiting the by-products of the construction sector is introduced, which are produced in very large quantities worldwide every year. In terms of processing and exploitation, the best scenario for the utilization of these materials, if not dumped in landfills or in illegal areas of uncontrolled disposal, is their recovery through the rehabilitation of quarries and the formation of substrates in rural road projects, mainly.

The results of this study will lead to useful conclusions about the possibility of exploiting waste of similar type as fillers in the development of new construction materials such as marble mining and processing residues, concrete and cement industry waste, brick construction waste, etc.

In the present study, thermosetting polymer composites of epoxy resin (ER), unsaturated polyester (UP), and novolac resin (N) embedding pulverized C&D waste in micro-scale sizes were developed using manufacturing techniques that have been described in previously mentioned studies. More specifically, composite materials of polymeric matrix were made by adding demolition waste (as a filler) with flexural strength values (σ_b) in the range between 20-60 MPa, shear strength (τ_b) with values between 1-8 MPa and thermal conductivity coefficients (λ), between 0.27-1.20 W /m K. The materials developed incorporate AKK in percentages of 30-50% by weight and in correspondence with the resin used as a matrix.

Through Scanning Electron Microscopy (SEM) X-Ray Diffraction (XRD), the morphological characterization of these materials was performed and conclusions about the dispersion of the filling material in each of the three different polymeric matrices mentioned above were

drawn. At the same time the identification of possible defective locations such as voids, bubbles, etc. in the resulting composites was also carried out.

All the composites that were made and studied presented a brittle-type fracture. Besides that they were characterized by reduced bending and shear strengths compared to these of pure polymeric materials, as a consequence of the increase of the filling powder content in the composites.

On the contrary, the thermal properties of these materials and in particular their thermal insulation performance was improved in comparison to the materials made of 100% resin, as a result of the increasing content of C&D waste filler in the composites.

The results of the studies carried out indicate that these materials can be used as alternatives in various structural applications. Their low cost and easy curing process in combination with their adaptability to the conditions and requirements of many structural applications favors the composite materials of polymeric matrix with the addition of C&D waste as a reliable solution.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ..... - 4 -
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ..... - 6 -
ABSTRACT ..... - 10 -

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΚΕΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ..... - 16 -

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ..... - 16 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ..... - 25 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο}- ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ Ε.Ε.- ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ - 26 -

1.1. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ-ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ..... - 27 -
1.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΕΚΚ-ΕΘΝΙΚΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ..... - 29 -
1.2.1. Ορισμοί ..... - 32 -
1.3. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ..... - 35 -
1.4. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ- ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ Ε.Ε. ..... - 38 -
1.5. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΤΗΝ Ε.Ε. ..... - 38 -
1.5.1. Σουηδία ..... - 38 -
1.5.2. Γερμανία ..... - 43 -
1.5.3. Δανία ..... - 44 -
1.5.4. Ολλανδία ..... - 46 -
1.5.5. Ηνωμένο Βασίλειο ..... - 47 -
1.5.6. Γαλλία ..... - 48 -
1.5.7. Ιρλανδία ..... - 49 -
1.5.8. Ιταλία ..... - 50 -
1.5.9. Πορτογαλία ..... - 52 -
1.5.10. Ισπανία ..... - 53 -
1.5.11. Βουλγαρία ..... - 55 -
1.5.12. Ρουμανία ..... - 56 -
1.5.13. Κροατία ..... - 57 -
1.5.14. Ουγγαρία ..... - 60 -
1.5.15. Εσθονία ..... - 62 -
1.5.16. Κύπρος ..... - 63 -
1.5.17. Λιθουανία ..... - 65 -
1.6. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΕΚΤΟΣ Ε.Ε. ..... - 66 -
1.6.1. Κίνα ..... - 66 -
1.6.2. Ηνωμένες Πολιτείες ..... - 67 -
1.6.3. Αυστραλία ..... - 67 -
1.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΠΙ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΕ ΚΑΙ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ ..... - 68 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 70 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο}-ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΚΚ ..... - 76 -

2.1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΕΚΚ ..... - 77 -
2.2. ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ (ΘΡΑΥΣΗ) ..... - 77 -
2.3. ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ..... - 80 -
2.4. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ ..... - 81 -
2.5. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ-ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΕΚΚ- ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ..... - 83 -
2.5.1. Δομικά Απόβλητα (Απόβλητα Κατεδαφίσεων): ..... - 85 -
2.5.2. Απόβλητα Κατασκευαστικών και Οικοδομικών εργασιών: ..... - 85 -
2.5.3 Απόβλητα Εκσκαφών: ..... - 86 -
2.5.4. Απόβλητα Έργων Οδοποιίας: ..... - 86 -

2.5.5. Σύσταση ΑΕΚΚ ..... *- 86 -*
2.6. ΒΑΘΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΕΚΚ ..... - 87 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 2ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 88 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{Ο}- ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ..... - 89 -

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ..... - 90 -
3.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ..... - 91 -
3.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ..... - 97 -
3.3.1. Κατηγοριοποίηση βάσει χημικής σύστασης ..... *- 99 -*
3.3.2. Κατηγοριοποίηση βάσει του τομέα εφαρμογής ..... *- 99 -*
3.3.3. Κατηγοριοποίηση βάσει της προέλευσης ..... *- 100 -*
3.3.4. Κατηγοριοποίηση βάσει φυσικών ή άλλων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων ..... *- 100 -*
3.3.5. Κατηγοριοποίηση βάσει της μεθόδου μορφοποίησης ..... *- 103 -*
3.4. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ..... - 106 -
3.4.1. Εισαγωγή ..... *- 106 -*
3.4.2. Σύνθετα Υλικά Πολυμερικής Μήτρας (θερμοσκληρυνόμενα) ..... *- 108 -*
3.4.3. Κοκκώδη Σύνθετα Υλικά Πολυμερικής Μήτρας ..... *- 108 -*
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 3^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 111 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{Ο}- ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ..... - 113 -

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 4^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 121 -

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΣΚΕΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ..... - 123 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{Ο}- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ ..... - 124 -

5.1. ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ (ΑΚΚ) ..... - 125 -
5.2. ΟΠΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΑΚΚ ..... - 126 -
5.3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ..... - 126 -
5.4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ..... - 127 -
5.4.1. Προσδιορισμός βάρους ..... *- 127 -*
5.4.2. Ά Θραύση-αρχική δειγματοληψία-χειροκίνητη κοσκίνιση ..... *- 128 -*
5.4.3.΄Β Θραύση και δεύτερη χειροκίνητη κοσκίνιση υλικού-Προσδιορισμός εμπεριεχόμενης υγρασίας ... - 130 -
5.4.4.΄Γ Θραύση- Δεύτερο στάδιο δειγματοληψίας ..... *- 132 -*
5.4.5. Κοκκομετρική ανάλυση υλικού προ-άλεσης ..... *- 133 -*
5.4.6. Λειοτρίβηση (άλεση) υλικού ..... *- 135 -*
5.4.7. Κοκκομετρική Ανάλυση 1^{ου} Αλεσμένου Δείγματος-Παρασκευή 1^{ης} κατηγορίας προσθέτου (κοκκομετρία 500μm) ..... *- 136 -*
5.4.8. Κοκκομετρική Ανάλυση 2^{ου} Αλεσμένου Δείγματος-Παρασκευή 2^{ης} κατηγορίας προσθέτου (κοκκομετρία 300μm) ..... *- 140 -*
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 144 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{Ο}- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ..... - 145 -

6.1. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗ ΡΗΤΙΝΗ ..... - 146 -
6.1.1. Πρώτες ύλες ..... *- 146 -*
6.1.2. Ιδιότητες επιλεχθείσας εποξειδικής ρητίνης ..... *- 146 -*
6.1.3. Μελέτη συμπεριφοράς του συστήματος εποξειδικής ρητίνης ..... *- 147 -*
6.1.4. Δοκίμια καθαρής εποξειδικής ρητίνης (μήτρα) ..... *- 151 -*
6.1.5. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων εποξειδικής ρητίνης – Αποτελέσματα μετρήσεων - Σχολιασμός - 157 -

6.1.6. Σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ ..... - 162 -
6.1.7. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με προσθήκη ΑΚΚ- Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός ..... - 166 -
6.2. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ ..... - 170 -
6.2.1. Πρώτες ύλες ..... - 170 -
6.2.2. Ιδιότητες επιλεχθέντος συστήματος πολυεστέρα ..... - 171 -
6.2.3. Δοκίμια καθαρού πολυεστέρα (μήτρα) ..... - 171 -
6.2.4. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων καθαρού πολυεστέρα-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός. - 175 -
6.2.5. Σύνθετα πολυεστέρα με προσθήκη ΑΚΚ ..... - 178 -
6.2.6. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων ακόρεστου πολυεστέρα με προσθήκη σκόνης ΑΚΚ-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός ..... - 185 -
6.3. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΡΗΤΙΝΗ ΝΕΟΛΑΚΗ ..... - 188 -
6.3.1. Πρώτες ύλες ..... - 188 -
6.3.2. Ιδιότητες ρητίνης νεολάκης ..... - 189 -
6.3.3. Σύνθετα υλικά από νεολάκη ..... - 190 -
6.3.4. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων νεολάκης-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός ..... - 195 -
6.3.5. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ-Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων ..... - 197 -
6.3.6. Σύγκριση μηχανικών αντοχών συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ με σύνθετα υλικά με άλλα ανόργανα πρόσθετα. ..... - 199 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 203 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^{ο}- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ..... - 205 -

7.1. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΚΚ ..... - 206 -
7.1.1. Μελέτη θερμικής συμπεριφοράς συνθέτων υλικών ..... - 206 -
7.1.2. Θερμικές ιδιότητες συνθέτων πολυμερικής μήτρας με προσθήκη ΑΚΚ- Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός ..... - 210 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 7ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 215 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^{ο}- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΟΜΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ (SEM) ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (EDX) ΚΑΙ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD) ..... - 216 -

8.1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ..... - 217 -
8.1.1. Ανάλυση μεθοδολογίας Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης ..... - 217 -
8.1.2. Προετοιμασία δειγμάτων ..... - 218 -
8.1.3. Αποτελέσματα SEM-Σχολιασμός ..... - 220 -
8.1.4. Αποτελέσματα EDX-Σχολιασμός ..... - 233 -
8.2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ..... - 238 -
8.2.1. Ανάλυση μεθοδολογίας Περίθλασης Ακτίνων Χ ..... - 238 -
8.2.2. Προετοιμασία δειγμάτων ..... - 240 -
8.2.3. Αποτελέσματα XRD-Σχολιασμός ..... - 241 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 8ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ ..... - 249 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^{ο}- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΠΕΔΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ..... - 252 -

9.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ..... - 253 -
9.2. ΠΕΔΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ..... - 260 -

Β Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Κ Ο Σ Η Μ Ε Ι Ω Μ Α ..... - 262 -

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΣΚΕΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

i. Εισαγωγή

Η διαχείριση των στερεών αποβλήτων ανέκαθεν αποτελούσε και συνεχίζει να είναι ένα από τα πλέον πολυδιάστατα και πολύπλοκα ζητήματα που καλούνται να επιλύσουν οι σύγχρονες κοινωνίες παγκοσμίως.

Σε αυτό συντελεί το γεγονός ότι η αντιμετώπιση του ως άνω «προβλήματος», απαιτεί να ληφθούν υπόψη ένα πλήθος διαφορετικών παραμέτρων ώστε να σχεδιαστεί και να εφαρμοστεί ορθολογικά η οποιαδήποτε στρατηγική διαχείρισης.

Ως το βασικό «παράγωγο» πληθώρας ανθρωπογενών κατά βάση δραστηριοτήτων (έργα υποδομής, κατασκευαστικές/οικιστικές δραστηριότητες, υπολείμματα συσκευασίας προϊόντων, απόβλητα υγιεινής κλπ) τα απορρίμματα θεωρούνται ως ένας από τους πρωταρχικούς παράγοντες που συντελούν στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος [1].

Ο ιλιγγιώδης ρυθμός ανάπτυξης των τελευταίων 40-50 ετών σε κοινωνικό, οικονομικό και τεχνολογικό επίπεδο και η διαμόρφωση νέων συνθηκών και προτύπων διαβίωσης, είχαν ως αποτέλεσμα την ανάλογη αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων στερεών αποβλήτων.

Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την έντονη ευαισθητοποίηση και ενημέρωση των πάσης φύσεως εμπλεκόμενων φορέων αλλά και των πολιτών σε ατομικό επίπεδο επί ζητημάτων περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος οδήγησε στον επανακαθορισμό του τρόπου διαχείρισης των αποβλήτων.

Η διαχείριση των αποβλήτων εξετάζεται πλέον από μία περισσότερο εναλλακτική και ορθολογικότερη σκοπιά. Το πλαίσιο αυτό βασιζόμενο στις αρχές της αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης αντιμετωπίζει τα έως τώρα θεωρούμενα «άχρηστα» απόβλητα σαν αξιοποιήσιμες πρώτες ύλες οι οποίες μέσω της εφαρμογής συγκεκριμένων πρακτικών διαχείρισης μπορούν να επαναπροωθηθούν στο ρεύμα της αγοράς.

Η εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας της χώρας μας με το πλαίσιο της αντίστοιχης ευρωπαϊκής, αποτέλεσε το έναυσμα για την υιοθέτηση αντίστοιχων στρατηγικών και πρακτικών και στη χώρα μας.

Η εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων, πέραν από τη συμβολή της στην προστασία του περιβάλλοντος και τη διασφάλιση των πόρων αποτελεί στρατηγικό τομέα στο πλαίσιο του οποίου δημιουργούνται σημαντικές επενδυτικές ευκαιρίες που μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την οικονομία σε κρατικό και ενδεχομένως και σε διακρατικό επίπεδο.

Μέσω του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου, ορίζονται τα ρεύματα (κατηγορίες, είδη) των αποβλήτων η ανάκτηση των οποίων μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εναλλακτικής διαχείρισης. Τα εναλλακτικώς διαχειριζόμενα απόβλητα μπορούν να ανακτηθούν και να αξιοποιηθούν ως δευτερογενή προϊόντα σε πλήθος εφαρμογών και δραστηριοτήτων. Παράλληλα από την έναρξη ισχύος των διαταγμάτων του ανωτέρω νομοθετικού πλαισίου, καθορίζονται οι προϋποθέσεις και οι επιμέρους ποσοτικοί στόχοι διαχείρισης και αξιοποίησης για την κάθε μία από τις κατηγορίες αποβλήτων που εμπίπτουν στο πλαίσιο της εναλλακτικής διαχείρισης [2, 3].

Σε ότι αφορά στο ρεύμα των αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ), αυτά αποτελούν το 25%-30% περίπου της συνολικής ποσότητας παραγόμενων αποβλήτων στην Ε.Ε. και θεωρούνται ως τα πλέον βαρύτερα και ογκωδέστερα απόβλητα. Συνήθως σε αυτά συμπεριλαμβάνονται κυρίως δομικά υλικά όπως σκυρόδεμα, σίδηρο, τούβλα, γύψο, χώματα, πέτρες, διάφορα άλλα υλικά (πλαστικό, γυαλί, μέταλλα, ξύλο) κλπ, τα οποία μπορούν προωθούμενα διαμέσου των κατάλληλων πρακτικών της εναλλακτικής διαχείρισης να επαναχρησιμοποιηθούν [4]. Παράγονται κυρίως από δραστηριότητες όπως:

- Οι πάσης φύσεως οικοδομικές εργασίες
- Τα τεχνικά έργα
- Οι φυσικές ή άλλες καταστροφές

Τα ΑΕΚΚ έχουν αναγνωριστεί και χαρακτηριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως ρεύμα αποβλήτων ιδιόμορφο και ιδιαίτερο το οποίο χρήζει ιδιαιτέρως υψηλής προτεραιότητας σε ότι αφορά τη διαχείρισή του. Αυτό οφείλεται στο εξαιρετικά υψηλό δυναμικό ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης από το οποίο χαρακτηρίζονται τα ΑΕΚΚ λαμβάνοντας υπόψη ότι μεγάλο μέρος των υλικών που εμπεριέχονται στα απόβλητα αυτά έχουν υψηλή αξία μεταπώλησης [2, 3], αποτελούν παράγωγα της διαδικασίας επεξεργασίας των ΑΕΚΚ εντός

εξειδικευμένων εγκαταστάσεων επεξεργασίας και αξιοποιούνται σε ποικίλες κατασκευαστικές εφαρμογές όπως έργα οδοποιίας, παραγωγή σκυροδέματος κλπ. Αν και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των ΑΚΚ είναι στις μέρες μας πλήρως ανεπτυγμένη, συγκεκριμένη, απλή και εύκολη στην εφαρμογή της και οικονομικά προσοδοφόρα, τα ποσοστά αξιοποίησης των ΑΕΚΚ που επιτυγχάνονται (ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης), εμφανίζουν τεράστιες διαφοροποιήσεις στις ευρωπαϊκές χώρες (Πίνακας i-1) κυμαινόμενα από 10% έως και πάνω από 90% [4, 7].

Πίνακας i-1. Ποσοστά Ανακύκλωσης ΑΕΚΚ σε χώρες-μέλη της Ε.Ε. (Πηγή: ETC/RWM, 2009)

Χώρα	Έτος αναφοράς	Ποσότητα (εκατ. tn)	% Ανακύκλωσης
Αυστρία	2006	6,7	60
Βέλγιο	2004	11	68
Βουλγαρία	2004	3	-
Κύπρος	2004	0,4	1
Τσεχία	2006	11,8	23
Δανία	2004	21,7	94
Εσθονία	2006	0,7	92
Φινλανδία	2004	20,8	26
Γαλλία	2004	342,6	62
Γερμανία	2006	192,3	86
Ελλάδα	2004	4,1	-
Ουγγαρία	2006	5,4	16
Ιρλανδία	2006	16,6	80
Ιταλία	2004	46,3	-
Λετονία	2006	0,1	46
Λιθουανία	2006	0,6	60
Λουξεμβούργο	2004	2,7	-
Μάλτα	2004	0,8	-
Ολλανδία	2005	25,8	98
Πολωνία	2006	16,8	28
Πορτογαλία	2004	11,4	-
Ρουμανία	2005	0,4	-
Σλοβακία	2004	1,4	-
Σλοβενία	-	-	-
Ισπανία	2006	38,5	14
Σουηδία	2004	10,2	-
Μ. Βρετανία	2006	114,2	65

Έως και σήμερα οι συνηθέστερες πρακτικές διάθεσής τους σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες (όπως φαίνεται κι από τα ποσοστά ανακύκλωσης των πινάκων i-1, i-2, i-3) είναι η ανεξέλεγκτη απόρριψη και η διάθεση σε ΧΥΤΑ η οποία συνεχίζει να ακολουθείται για τη διαχείριση και άλλων κατηγοριών αποβλήτων [9].

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι με βάση τα επίσημα στοιχεία της Eurostat, στις χώρες μέλη της Ε.Ε. (Πίνακες i-2 και i-3), η συνολική παραγωγή ΑΕΚΚ ανέρχεται σε 180 εκατομμύρια

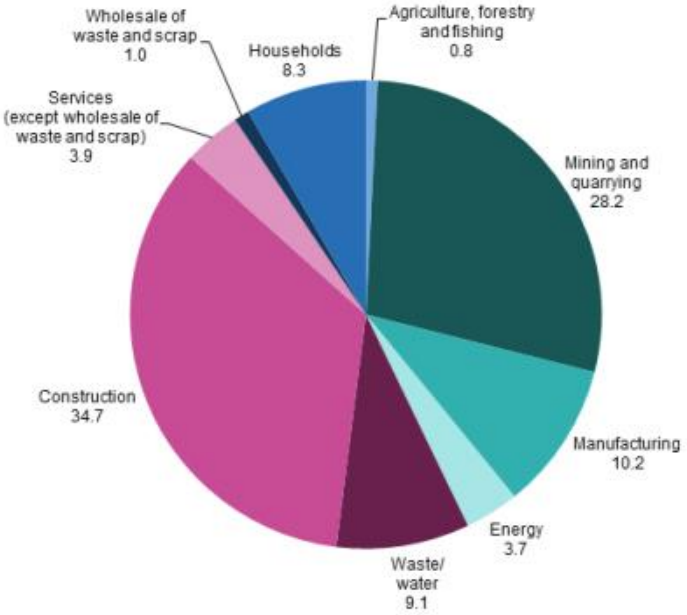
τόνους ετησίως. Από την ποσότητα αυτή, το 28% ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται ενώ το υπόλοιπο 72% οδηγείται προς τελική διάθεση (8), με τη συγκεκριμένη μέθοδο διαχείρισης να απαιτεί τη δέσμευση επιπλέον εδαφικής έκτασης με αποτέλεσμα τον περιορισμό των εντός των ΧΥΤΑ διαθέσιμων χώρων.

Σε νεώτερη μελέτη της Eurostat στην οποία καταγράφεται η εξέλιξη της παραγωγής αποβλήτων στις 28 χώρες-μέλη της Ε.Ε. (Πίνακας i-3) αναφέρεται ότι οι παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων ΑΕΚΚ ανέρχονται σε 868 εκατ. τόνους, επί συνόλου παραγωγής αποβλήτων 2.319 εκατ. τόνων.

Από τα συνολικώς παραγόμενα απόβλητα ποσοστό 36.2% ανακυκλώνεται, 1.5% διατίθεται μέσω καύσης, 4.7% αξιοποιείται ως πρώτη ύλη σε εφαρμογές ανάκτησης ενέργειας και 47.2% διατίθεται σε ΧΥΤΑ. Όσο αφορά στα ΑΕΚΚ, ποσοστό 10.2% της παραγωγής του συγκεκριμένου ρεύματος, αξιοποιείται σε επιχώσεις, επιχωματώσεις και σε πολλές περιπτώσεις ως υλικό διάστρωσης σε ΧΥΤΑ (Σχήμα i-1).

Πίνακας i-2. Ποσοστά ανακύκλωσης και τελικής διάθεσης ΑΕΚΚ στην Ε.Ε. των 15 (Πηγή:European Commission).

Figure 1.1: C&DW Arisings and Recycling (Summary Table)			
Member State	**'Core' C&DW Arisings (m tonnes, rounded)**	**% Re-Used or Recycled**	**% Incinerated or Landfilled**
Germany	59	17	83
UK	30	45	55
France	24	15	85
Italy	20	9	91
Spain	13	<5	>95
Netherlands	11	90	10
Belgium	7	87	13
Austria	5	41	59
Portugal	3	<5	>95
Denmark	3	81	19
Greece	2	<5	>95
Sweden	2	21	79
Finland	1	45	55
Ireland	1	<5	>95
Luxembourg	0	n/a	n/a
EU-15	180	28	72



Σχήμα i-1. Παραγωγή αποβλήτων για κάθε παραγωγικό τομέα και νοικοκυριά-2012 (Πηγή: Eurostat).

Πίνακας i-3. Στατιστικά Διαχείρισης αποβλήτων στην Ε.Ε. των 28 (Πηγή: Eurostat).

	Total	Landfill	Incineration	Energy recovery	Backfilling	Recycling
	(million tonnes)	(%)				
EU-28	2 319,5	47,4	1,5	4,7	10,2	36,2
Belgium	42,8	8,2	4,3	13,6	0,0	73,9
Bulgaria	175,7	97,9	0,0	0,1	0,0	2,0
Czech Republic	19,9	17,3	0,4	5,1	29,1	48,1
Denmark	17,7	21,7	0,0	20,7	0,0	57,6
Germany	370,7	19,2	2,3	10,5	25,3	42,7
Estonia	20,7	65,6	0,0	2,5	11,9	20,0
Ireland	10,0	42,6	0,1	7,2	37,4	12,7
Greece	67,1	88,4	0,0	0,2	8,1	3,2
Spain	103,4	47,9	0,0	3,4	12,6	36,1
France	299,7	29,3	2,0	4,5	10,7	53,6
Croatia	3,5	51,1	0,0	1,4	2,0	45,5
Italy	129,2	16,0	5,2	1,6	0,2	76,9
Cyprus	1,8	58,9	0,0	1,7	25,9	13,5
Latvia	1,9	34,8	0,0	8,7	0,9	55,5
Lithuania	4,5	67,6	0,1	4,1	2,5	25,8
Luxembourg	8,5	38,3	0,0	2,5	16,0	43,3
Hungary	13,7	39,4	0,7	8,9	3,7	47,3
Malta	1,6	28,9	0,4	0,0	37,5	33,3
Netherlands	130,6	45,4	1,0	7,9	0,0	45,7
Austria	53,9	38,6	0,2	6,5	20,1	34,7
Poland	182,4	24,9	0,4	2,7	21,5	50,5
Portugal	9,9	31,8	10,0	3,1	0,0	55,0
Romania	172,2	94,4	0,0	1,3	0,6	3,7
Slovenia	5,4	9,2	0,6	4,9	33,5	51,8
Slovakia	7,1	53,8	0,8	4,4	0,0	40,9
Finland	93,3	80,9	0,5	4,8	0,0	13,8
Sweden	163,3	84,4	0,1	4,7	1,6	9,3
United Kingdom	209,0	41,5	3,6	0,9	10,4	43,6
Iceland (1)	0,5	30,7	0,0	2,7	0,6	66,0
Norway	11,7	17,9	0,5	35,8	5,3	40,5
Montenegro	1,0	98,8	0,0	0,1	0,0	1,0
Former Yugoslav Republic of Macedonia	1,5	98,7	1,3	0,0	0,0	0,0
Albania	1,2	74,8	3,1	0,5	0,0	21,6
Serbia	49,4	97,3	0,0	0,1	0,0	2,6
Turkey	79,3	70,2	0,0	0,7	:	29,0

Σε εθνικό επίπεδο, με βάση τα επίσημα στοιχεία της Eurostat εκτιμάται ότι κατά το έτος 2012 παρήχθησαν 815.300 τόνοι ΑΕΚΚ εκ των οποίων μόνο 2.700 τόνοι συμπεριλαμβανόμενων και των υλικών που διατέθηκαν για επιχωματώσεις, ανακτήθηκαν. Η ποσότητα αυτή μέχρι και το 2016 έβαινε σταδιακά μειούμενη εξαιτίας της γενικότερης οικονομικής κρίσης στην Ευρώπη η οποία επηρέασε και τη χώρα μας. Ως αποτέλεσμα αυτής της κρίσης, οι επιπτώσεις στον κατασκευαστικό τομέα ήταν τεράστιες. Η κατάσταση αυτή αντιστρέφεται όμως όπως δείχνουν τα στοιχεία που ακολουθούν στους Πίνακες i-4, i-5, i-6, i-7 και i-8.

Η αυξητικές τάσεις στην οικοδομική δραστηριότητα δημιουργούν όπως είναι αναμενόμενο αυξημένες ανάγκες σε ότι αφορά στη διαχείριση των αποβλήτων που παράγονται από αυτές. Τα τελευταία στοιχεία του Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ) τα οποία βρίσκονται αναρτημένα στην ιστοσελίδα του οργανισμού από τον Νοέμβρη του 2020 και συμπεριλαμβάνονται στην απολογιστική έκθεση του φορέα για τα έτη 2017-2018 επιβεβαιώνουν τον παραπάνω ισχυρισμό.

Οι ποσότητες που αναφέρονται στον Πίνακα i-9 αποτελούνται από τα ΑΕΚΚ που οδηγούνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Η συγκεκριμένη έκθεση δεν περιλαμβάνει στοιχεία σε ότι αφορά στις εξερχόμενες από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ποσότητες δευτερογενών υλικών. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τις εκθέσεις πεπραγμένων των φορέων που οργανώνουν κι εποπτεύουν την εναλλακτική διαχείριση των εν λόγω αποβλήτων [10-15]. Οι συλλεχθείσες ποσότητες αν και αξιοσημείωτες δεν επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την αποδοτικότητα της εφαρμοζόμενης μεθόδου τη στιγμή που δεν υπάρχουν στοιχεία της συνολικά παραγόμενης ποσότητας ΑΕΚΚ. Επιπρόσθετα όπως ήδη αναφέρθηκε η απουσία ή/και η ελλιπής καταγραφή των δευτερογενών παραγώγων, δηλαδή των εξερχομένων από την επεξεργασία των αποβλήτων αυτών υλικών, μαρτυρά ότι πολλά εκ των υλικών που οδηγούνται σε μονάδες διαχείρισης, σε συνέχεια της ολοκλήρωσης της επεξεργασίας τους ενδεχομένως παραμένουν αναξιοποίητα και τελικά καταλήγουν να διατίθενται ως απόβλητα σε εγκαταστάσεις ΧΥΤΑ κλπ. Η αναζήτηση νέων οδών αξιοποίησης των εν λόγω υλικών διαφαίνεται πλέον επιτακτική.

Πίνακας i-4. Συνολική οικοδομική δραστηριότητα ανά περιφέρεια στην Ελλάδα περίοδος 2015-2016 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

Περιφέρεια	Αριθμός αδειών			Επιφάνεια (σε χιλ. m^2)			Όγκος (σε χιλ. m^3)		
	Ιανουάριος - Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος - Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος - Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)
	2015	2016		2015	2016		2015	2016	
Ανατ. Μακεδονία & Θράκη	572	527	-7,9	111,4	104,4	-6,2	445,0	459,2	3,2
Κεντρική Μακεδονία	1.875	1.798	-4,1	424,7	400,0	-5,8	2.161,0	2.280,8	5,5
Δυτική Μακεδονία	281	278	-1,1	344,6	57,8	-83,2	4.139,9	262,0	-93,7
Θεσσαλία	712	654	-8,1	197,1	161,9	-17,9	1.184,2	768,6	-35,1
Ήπειρος	476	410	-13,9	86,4	87,3	1,0	354,4	338,5	-4,5
Ιόνια Νησιά	601	673	12,0	100,5	136,5	35,8	346,4	491,0	41,8
Δυτική Ελλάδα	1.112	1.005	-9,6	194,6	159,7	-17,9	835,2	629,0	-24,7
Στερεά Ελλάδα	1.025	1.093	6,6	216,0	157,1	-27,3	1.092,6	736,3	-32,6
Πελοπόννησος	1.452	1.325	-8,7	237,4	226,6	-4,6	966,3	953,2	-1,4
Αττική	2.397	2.400	0,1	361,5	434,1	20,1	1.557,3	1.879,0	20,7
Βόρειο Αιγαίο	522	324	-37,9	78,5	40,1	-48,9	303,1	139,9	-53,8
Νότιο Αιγαίο	1.221	1.088	-10,9	187,3	185,3	-1,1	654,0	678,5	3,7
Κρήτη	1.011	951	-5,9	231,7	265,8	14,7	826,3	951,8	15,2
Σύνολο Χώρας	**13.257**	**12.526**	**-5,5**	**2.771,7**	**2.416,6**	**-12,8**	**14.865,6**	**10.567,6**	**-28,9**

**Προσωρινά Στοιχεία*

Επισημαίνεται ότι οι διαφοροποιήσεις στην αύξηση ή τη μείωση του αριθμού των εκδοθεισών αδειών και της επιφάνειας - όγκου μπορεί να οφείλονται σε μεμονωμένες άδειες μεγάλης επιφάνειας και όγκου ή σε οικοδομικές άδειες που δε μεταβάλλουν την επιφάνεια και τον όγκο, όπως αναθεωρήσεις, επισκευές, κατεδαφίσεις κλπ.

Πίνακας i-5. Συνολική οικοδομική δραστηριότητα ανά περιφέρεια στην Ελλάδα περίοδος 2016-2017 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

Περιφέρεια	Αριθμός αδειών			Επιφάνεια (σε χιλ. m^2)			Όγκος (σε χιλ. m^3)		
	Ιανουάριος - Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος - Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος - Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)
	2015	2016		2015	2016		2015	2016	
Ανατ. Μακεδονία & Θράκη	572	527	-7,9	111,4	104,4	-6,2	445,0	459,2	3,2
Κεντρική Μακεδονία	1.875	1.798	-4,1	424,7	400,0	-5,8	2.161,0	2.280,8	5,5
Δυτική Μακεδονία	281	278	-1,1	344,6	57,8	-83,2	4.139,9	262,0	-93,7
Θεσσαλία	712	654	-8,1	197,1	161,9	-17,9	1.184,2	768,6	-35,1
Ήπειρος	476	410	-13,9	86,4	87,3	1,0	354,4	338,5	-4,5
Ιόνια Νησιά	601	673	12,0	100,5	136,5	35,8	346,4	491,0	41,8
Δυτική Ελλάδα	1.112	1.005	-9,6	194,6	159,7	-17,9	835,2	629,0	-24,7
Στερεά Ελλάδα	1.025	1.093	6,6	216,0	157,1	-27,3	1.092,6	736,3	-32,6
Πελοπόννησος	1.452	1.325	-8,7	237,4	226,6	-4,6	966,3	953,2	-1,4
Αττική	2.397	2.400	0,1	361,5	434,1	20,1	1.557,3	1.879,0	20,7
Βόρειο Αιγαίο	522	324	-37,9	78,5	40,1	-48,9	303,1	139,9	-53,8
Νότιο Αιγαίο	1.221	1.088	-10,9	187,3	185,3	-1,1	654,0	678,5	3,7
Κρήτη	1.011	951	-5,9	231,7	265,8	14,7	826,3	951,8	15,2
Σύνολο Χώρας	**13.257**	**12.526**	**-5,5**	**2.771,7**	**2.416,6**	**-12,8**	**14.865,6**	**10.567,6**	**-28,9**

**Προσωρινά Στοιχεία*

Επισημαίνεται ότι οι διαφοροποιήσεις στην αύξηση ή τη μείωση του αριθμού των εκδοθεισών αδειών και της επιφάνειας - όγκου μπορεί να οφείλονται σε μεμονωμένες άδειες μεγάλης επιφάνειας και όγκου ή σε οικοδομικές άδειες που δε μεταβάλλουν την επιφάνεια και τον όγκο, όπως αναθεωρήσεις, επισκευές, κατεδαφίσεις κλπ.

Πίνακας i-6. Συνολική οικοδομική δραστηριότητα ανά περιφέρεια στην Ελλάδα περίοδος 2017-2018 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

Περιφέρεια	Αριθμός αδειών			Επιφάνεια (σε χιλ. m^2)			Όγκος (σε χιλ. m^3)		
	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)
	2017	2018		2017	2018		2017	2018	
Ανατ. Μακεδονία & Θράκη	485	483	-0,4	112,9	104,2	-7,7	488,9	414,0	-15,3
Κεντρική Μακεδονία	1.851	2.219	19,9	452,1	572,6	26,7	2.521,8	2.970,5	17,8
Δυτική Μακεδονία	285	246	-13,7	72,2	72,8	0,9	385,6	420,0	8,9
Θεσσαλία	754	874	15,9	189,9	225,6	18,8	937,0	1.162,1	24,0
Ήπειρος	474	548	15,6	125,8	158,5	26,0	646,2	623,3	-3,5
Ιόνια Νησιά	812	1.014	24,9	196,5	272,8	38,9	634,6	926,3	46,0
Δυτική Ελλάδα	1.193	1.232	3,3	199,4	192,9	-3,3	802,1	725,1	-9,6
Στερεά Ελλάδα	1.105	1.054	-4,6	175,9	233,0	32,4	896,5	1.159,5	29,3
Πελοπόννησος	1.330	1.348	1,4	250,8	247,0	-1,5	1.110,2	974,9	-12,2
Αττική	2.737	3.090	12,9	532,7	696,3	30,7	2.312,4	3.437,1	48,6
Βόρειο Αιγαίο	438	446	1,8	52,8	52,7	-0,1	184,2	194,9	5,8
Νότιο Αιγαίο	1.379	1.603	16,2	233,3	375,2	60,8	840,4	1.261,4	50,1
Κρήτη	1.048	1.168	11,5	266,1	326,0	22,5	918,7	1.172,5	27,6
Σύνολο Χώρας	**13.891**	**15.325**	**10,3**	**2.860,3**	**3.529,7**	**23,4**	**12.678,6**	**15.441,6**	**21,8**

** Τα στοιχεία για το μήνα Δεκέμβριο του 2018 είναι προσωρινά.*
Επισημαίνεται ότι η αύξηση ή η μείωση του αριθμού των εκδοθεισών αδειών δεν συνεπάγεται αύξηση ή μείωση στην επιφάνεια και τον όγκο. Αυτό οφείλεται σε μεμονωμένες άδειες μεγάλης επιφάνειας και όγκου ή σε οικοδομικές άδειες που δε μεταβάλλουν την επιφάνεια και τον όγκο.

Πίνακας i-7 Συνολική οικοδομική δραστηριότητα ανά περιφέρεια στην Ελλάδα περίοδος 2018-2019 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

Περιφέρεια	Αριθμός αδειών			Επιφάνεια (σε χιλ. m^2)			Όγκος (σε χιλ. m^3)		
	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)
	2018	2019		2018	2019		2018	2019	
Ανατ. Μακεδονία & Θράκη	483	907	87,8	104,3	201,9	93,6	414,0	781,4	88,8
Κεντρική Μακεδονία	2.219	2.565	15,6	572,6	553,9	-3,3	2.970,4	2.957,5	-0,4
Δυτική Μακεδονία	246	223	-9,3	72,8	63,6	-12,6	420,0	363,8	-13,4
Θεσσαλία	877	1.038	18,4	226,0	242,7	7,3	1.163,6	1.278,1	9,8
Ήπειρος	548	586	6,9	158,5	164,5	3,8	623,3	685,0	9,9
Ιόνια Νησιά	1.013	1.240	22,4	272,8	220,5	-19,2	926,3	719,1	-22,4
Δυτική Ελλάδα	1.233	1.061	-13,9	193,0	190,0	-1,5	725,1	793,2	9,4
Στερεά Ελλάδα	1.054	922	-12,5	233,0	146,3	-37,2	1.159,5	773,1	-33,3
Πελοπόννησος	1.349	1.325	-1,8	247,0	191,6	-22,4	974,8	771,3	-20,9
Αττική	3.091	3.643	17,9	696,3	965,1	38,6	3.440,2	4.338,1	26,1
Βόρειο Αιγαίο	446	434	-2,7	52,7	58,5	11,0	194,9	218,1	11,9
Νότιο Αιγαίο	1.613	1.771	9,8	376,7	383,4	1,8	1.261,8	1.356,6	7,5
Κρήτη	1.170	1.567	33,9	326,9	396,6	21,3	1.173,9	1.516,1	29,1
Σύνολο Χώρας	**15.342**	**17.282**	**12,6**	**3.532,7**	**3.778,7**	**7,0**	**15.447,9**	**16.551,4**	**7,1**

** Τα στοιχεία για τον μήνα Δεκέμβριο του 2019 είναι προσωρινά.*
- Επισημαίνεται ότι η αύξηση ή η μείωση του αριθμού των εκδοθεισών αδειών δεν συνεπάγεται αύξηση ή μείωση στην επιφάνεια και τον όγκο. Αυτό οφείλεται σε μεμονωμένες άδειες μεγάλης επιφάνειας και όγκου ή σε οικοδομικές άδειες που δε μεταβάλλουν την επιφάνεια και τον όγκο.
- Τυχόν διαφορές είτε μεταξύ του αθροίσματος των επιμέρους ποσών και των ποσών που αναγράφονται ως σύνολα είτε στα ποσοστά μεταβολής, οφείλονται στη στρογγυλοποίηση.

Πίνακας i-8. Συνολική οικοδομική δραστηριότητα ανά περιφέρεια στην Ελλάδα περίοδος 2019-2020 (Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

Περιφέρεια	Αριθμός αδειών			Επιφάνεια (σε χιλ. m^2)			Όγκος (σε χιλ. m^3)		
	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)	Ιανουάριος – Δεκέμβριος		Μεταβολή (%)
	2019	2020		2019	2020		2019	2020	
Ανατ. Μακεδονία & Θράκη	909	956	5,2	201,7	206,5	2,4	780,8	828,3	6,1
Κεντρική Μακεδονία	2.565	2.676	4,3	554,1	593,6	7,1	2.957,9	2.875,6	-2,8
Δυτική Μακεδονία	223	253	13,5	63,6	57,3	-9,9	363,8	277,4	-23,8
Θεσσαλία	1.038	1.198	15,4	242,5	299,3	23,4	1.277,7	1.543,5	20,8
Ήπειρος	587	675	15,0	164,5	180,7	9,8	685,0	804,9	17,5
Ιόνια Νησιά	1.242	1.276	2,7	220,5	278,4	26,3	718,9	952,7	32,5
Δυτική Ελλάδα	1.069	1.248	16,7	190,2	199,0	4,6	793,1	839,9	5,9
Στερεά Ελλάδα	918	1.068	16,3	146,9	217,2	47,8	773,2	1.286,6	66,4
Πελοπόννησος	1.327	1.493	12,5	192,2	232,5	20,9	773,0	865,4	11,9
Αττική	3.643	3.965	8,8	965,0	1.122,1	16,3	4.337,7	4.714,7	8,7
Βόρειο Αιγαίο	434	416	-4,1	58,4	57,9	-0,9	217,9	204,4	-6,2
Νότιο Αιγαίο	1.787	1.891	5,8	385,4	323,1	-16,2	1.367,0	1.067,1	-21,9
Κρήτη	1.566	1.792	14,4	396,0	361,9	-8,6	1.514,0	1.325,8	-12,4
Σύνολο Χώρας	**17.308**	**18.907**	**9,2**	**3.781,0**	**4.129,4**	**9,2**	**16.559,9**	**17.586,2**	**6,2**

** Τα στοιχεία για τον μήνα Δεκέμβριο του 2020 είναι προσωρινά.*
- Επισημαίνεται ότι η αύξηση ή η μείωση του αριθμού των εκδοθεισών αδειών δεν συνεπάγεται αύξηση ή μείωση στην επιφάνεια και τον όγκο. Αυτό οφείλεται σε μεμονωμένες άδειες μεγάλης επιφάνειας και όγκου ή σε οικοδομικές άδειες που δε μεταβάλλουν την επιφάνεια και τον όγκο.
- Τυχόν διαφορές είτε μεταξύ του αθροίσματος των επιμέρους ποσών και των ποσών που αναγράφονται ως σύνολα είτε στα ποσοστά μεταβολής, οφείλονται στη στρογγυλοποίηση.

Πίνακας i-9. Συνολικές ποσότητες ΑΕΚΚ που οδηγήθηκαν σε μονάδες επεξεργασίας για την περίοδο 2016 - 2018 (Πηγή: https://www.eoan.gr).

Έτος	Απόβλητα Εκσκαφών	Απόβλητα Κατασκευών - Κατεδαφίσεων	Σύνολο ΑΕΚΚ	Ενεργά ΣΕΔ ΑΕΚΚ	% γεωγραφικής κάλυψης
2016	370.930	154.346	525.276	9	40%
2017	457.448	527.581	985.029	9	60%
2018	1.513.976	1.052.930	2.566.906	9	63%

Βιβλιογραφία

1. Α. Αραβαντινός, *Πολεοδομικός σχεδιασμός για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου*, Εκδόσεις Συμμετρία , Αθήνα 2007.

2. European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production: http://scp.eionet.europa.eu/themes/waste

3. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, ΕΟΑΝ, 2017: https://www.eoan.gr/el/content/30/nomothesia

4. European Commission, DG, Environment, Waste Policies, Construction and Demolition Waste: http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm

5. European Commission, DG Environment, Policies, Waste: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/files/swd_lmi_mideterm_progress.pdf

6. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, ΕΟΑΝ, 2017 URL: https://www.eoan.gr/el/content/7/sustimata

7. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, ΕΟΑΝ, 2017 URL:http://www.eoan.gr/el/content/14/apovlita-ekskafon-kataskeyon-katedafiseon-aekk

8. European Commission, DG, Environment, Waste Policies, «Construction and Demolition Waste Management and their Economic Impacts», Report to DGXI, European Commission, Symonds, ARGUS, COWI and PRC Bowcentrum,1999.

9. F. Hendricks, A. Nijkerk, A. Van Koppen, 2000, The Building Cycle, Aeneas, The Netherlands.

10. https://www.aanel.gr/

11. http://anabe.gr/

12. https://www.sanke.gr/

13. https://www.anakem.gr

14. https://anaekk.gr/

15. http://www.sedpekat.gr/

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο- ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΕΚΚ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ Ε.Ε.- ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

1.1. Εναλλακτική διαχείριση αποβλήτων-Βασικές αρχές

Η διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί μια πολύπλοκή διαδικασία που συνίσταται από πολλά επιμέρους στάδια στα οποία συνήθως συμπεριλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- η εκτίμηση της σύστασης (ποσότητας/ποιότητας) των αποβλήτων
- η προσωρινή αποθήκευση
- η συλλογή από τους χώρους παραγωγής
- η μεταφορά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας/διάθεσης
- η μέθοδος και τα επιμέρους στάδια επεξεργασίας
- η τελική διάθεση

Η εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης μεθόδου διαχείρισης προϋποθέτει την καταγραφή στοιχείων σχετικά με την ακριβή προέλευση, την παραγωγή, τις παραγόμενες ποσότητες και τη σύσταση των αποβλήτων [1].

Οι πολιτικές όσον αφορά στην διαχείριση των αποβλήτων (Εικόνα 1.1), εξαρτώνται άμεσα αλλά και έμμεσα από ποικίλους παράγοντες.

Η οποιαδήποτε διαχειριστική στρατηγική αποτελεί μια αμφίδρομη και συνεχώς εξελισσόμενη διαδικασία η οποία θα πρέπει να έχει ως βασικό σκοπό τον κατά το δυνατό εφικτό περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων που προκαλούνται από την παραγωγή και τη διαχείριση των αποβλήτων στο φυσικό περιβάλλον (νερά, έδαφος, ατμόσφαιρα) και τη δημόσια υγεία.

Επιπλέον των παραπάνω μέσω της υιοθέτησης και υλοποίησης της οποιασδήποτε μεθόδου διαχείρισης θα πρέπει να προωθείται η διασφάλιση και η εξοικονόμηση των φυσικών πόρων.

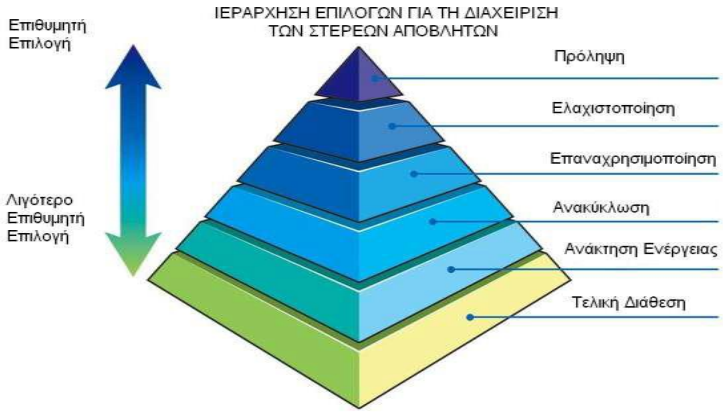
Σε επίπεδο στρατηγικού σχεδιασμού, αυτό επιτυγχάνεται με την ιεράρχηση των στόχων και την υιοθέτηση κατάλληλων στρατηγικών πρόληψης στη διαχείριση των αποβλήτων, οι οποίες θα πρέπει να βασίζονται στα ακόλουθα [2]:

- <u>Αρχή της Πρόληψης – Ελαχιστοποίησης</u>: Παράγοντα κομβικής σημασίας, όσον αφορά στην πρόληψη παραγωγής αποβλήτων, αποτελεί η συνολική εκτίμηση των επιπτώσεων που προκαλούνται σε κάθε ένα από τα επιμέρους στάδια της ωφέλιμης

ζωής (από τη δημιουργία ως την τελική διάθεση του ως απόβλητο) ενός προϊόντος. Εκτιμήσεις και προγνώσεις για τη σύσταση και την ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων πραγματοποιούνται κυρίως μέσω της μεθόδου Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) αλλά και με τη χρήση ποικίλων άλλων παρεμφερών (ή μη), μεθόδων και πρακτικών.

- Αρχή της Επαναχρησιμοποίησης: Η ευθύνη για τον περιορισμό των παραγόμενων αποβλήτων, τη διασφάλιση ορθολογικότερης αξιοποίησης των φυσικών πόρων, την ενσωμάτωση και αξιοποίηση μεγαλύτερης ποσότητας επαναχρησιμοποιήσιμων υλικών, την κατασκευή προϊόντων που διευκολύνουν την πρόληψη, την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την ανάκτηση των αποβλήτων που παράγονται από την χρήση των προϊόντων ή από κατασκευαστικές δραστηριότητες, μεταφέρεται πλέον στον παραγωγό ή στον κατασκευαστή στην περίπτωση των ΑΕΚΚ.
- Αρχή της ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών: Στις περιπτώσεις που η δημιουργία αποβλήτων (από παραγωγικές/ κατασκευαστικές δραστηριότητες), είναι αδύνατο να αποφευχθεί, θα πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα ενίσχυσης της επαναχρησιμοποίησης και ανάκτησης των συμπεριλαμβανόμενων σε αυτά υλικών και να εφαρμόζονται στο πλαίσιο μιας ολιστικής (συνολικής) πολιτικής διαχείρισής των αποβλήτων. Η ανάκτηση των υλικών ως στάδιο της επεξεργασίας προϋποθέτει τον προ-διαχωρισμό τους στην πηγή παραγωγής και την εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών για την ανάπτυξη αγορών μέσω των οποίων θα είναι δυνατή η απορρόφηση των ανακτώμενων υλικών.
- Αρχή της ασφαλούς διάθεσης: Ως ύστατη επιλογή σε ότι αφορά στη διαχείριση των στερεών αποβλήτων είθισται να επιλέγεται η τελική διάθεση. Οι συνέπειες της συγκεκριμένης πρακτικής στο περιβάλλον αλλά κατεπέκταση και στον άνθρωπο είναι σοβαρότατες ή/και ανεπανόρθωτες. Η τελική διάθεση αποβλήτων βάσει νομοθεσίας επιτρέπεται αυστηρά και μόνο εάν αυτά έχουν προηγουμένως υποστεί κατάλληλη

επεξεργασία (ουδετεροποίηση και αδρανοποίηση) και επίσης εάν πρόκειται για υπολείμματα της επεξεργασίας των παραπάνω.



Σχήμα 1.1 Η ιεράρχηση των στόχων στη διαχείριση των ΣΑ (Πηγή: Ευρωπαϊκή Νομοθεσία 2008/98).

1.2. Εναλλακτική διαχείριση ΑΕΚΚ-Εθνικό Νομοθετικό Πλαίσιο διαχείρισης

Σε εθνικό επίπεδο το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την εναλλακτική διαχείριση αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων αποτελείται από το **ν.2939/2001** όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει με το **ν.4496/2017**, την **ΚΥΑ36259/1757/Ε103/2010** *«Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ)»,* όπως αυτή συμπληρώθηκε με το **άρθρο 181** *«Μεταλλευτικές – Λατομικές εργασίες εντός δασών – δασικών εκτάσεων»* το **ν. 4001/2011,** *«Θέματα σχετικά με απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις»* το **ν.4030/2011**, όπως τροποποιήθηκε και αντικαταστάθηκε με το **άρθρο 51** του **ν.4280/2014,** «Περιβαλλοντική αναβάθμιση και ιδιωτική πολεοδόμηση − Βιώσιμη ανάπτυξη οικισμών - Ρυθμίσεις δασικής νομοθεσίας και άλλες διατάξεις», το **άρθρο 17** του **ν.4067/2012** *«Νέος Οικοδομικός Κανονισμός»*, το **ν.4495/2017** *«Έλεγχος και προστασία του Δομημένου Περιβάλλοντος και άλλες διατάξεις»* και το άρθρο 89 του **ν.4685/2020** *«Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις».*

Εντός του πλαισίου της **Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2008/98/ΕΚ** *«για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων Οδηγιών»,* γίνεται προσδιορισμός των στόχων ανακύκλωσης για τα παραγόμενα απόβλητα από δραστηριότητες εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων

(ΑΕΚΚ) που έχουν τεθεί προς επίτευξη ως το 2020. Παράλληλα στην **Απόφαση 2011/753/ΕΕ** «*περί θεσπίσεως κανόνων και μεθόδων υπολογισμού για τον έλεγχο της συμμόρφωσης ως προς τους στόχους του άρθρου 11 παράγραφος 2 της οδηγίας 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου*», περιγράφεται η μέθοδος ποσοτικοποίησης (υπολογισμού) των ως άνω στόχων.

Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι της συλλογής και αξιοποίησης των ΑΕΚΚ βάσει του άρθρου 12 της ΚΥΑ 36259/1757/Ε103 μέχρι πρότινος ήταν οι εξής:

- Ως την 1/1/2012, το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης άλλων υλικών αποβλήτων και η αξιοποίηση αυτών πρέπει να ανέρχεται κατ' ελάχιστον στο 30%, σε σχέση με το συνολικό βάρος των παραγομένων ΑΕΚΚ της χώρας.
- Ως την 1/1/2015, το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης άλλων υλικών αποβλήτων και η αξιοποίηση αυτών πρέπει να ανέρχεται κατ' ελάχιστον στο 50% σε σχέση με το συνολικό βάρος των παραγομένων ΑΕΚΚ της χώρας.
- Ως την 1/1/2020 το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και ανάκτησης άλλων υλικών αποβλήτων και αξιοποίηση πρέπει να ανέρχεται κατ' ελάχιστον στο 70% σε σχέση με το συνολικό βάρος των παραγομένων ΑΕΚΚ της χώρας.

Τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται μέχρι στιγμής στην ευρεία εφαρμογή του παραπάνω θεσμικού πλαισίου και εν συνεχεία όπως είναι προφανές στην ορθή διαχείριση του συγκεκριμένου ρεύματος είναι τα παρακάτω:

- Δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα καταγεγραμμένα ποσοτικά στοιχεία όσον αφορά στις παραγόμενες ποσότητες και στη σύσταση των ΑΕΚΚ.
- Οι παραγωγοί/διαχειριστές των αποβλήτων αυτών δεν κατέχουν τις κατάλληλες γνώσεις ή δεν έχουν λάβει επαρκή ενημέρωση με αποτέλεσμα να μην εφαρμόζουν ορθολογικές διαχειριστικές πρακτικές.

- Εντοπίζονται αρκετά συχνά φαινόμενα άγνοιας, καθυστέρησης ή ακόμα και άρνησης της εφαρμογής της ισχύουσας νομοθεσίας από μεγάλο μέρος των εμπλεκόμενων και των αρμοδίων υπηρεσιών, με αποτέλεσμα τη σημαντική υστέρηση στην επίτευξη των προσδοκώμενων αποτελεσμάτων (επίτευξη στοχοθεσίας) και την αδυναμία δραστηριοποίησης των αρμόδιων για την οργάνωση της εναλλακτικής διαχείρισης φορέων (ΣΕΔ ΑΕΚΚ) βάσει των επιχειρησιακών τους σχεδίων σε όλη την επικράτεια.

- Η υπάρχουσα αγορά δεν έχει τη δυνατότητα απορροφήσει το σύνολο των δευτερογενών υλικών της επεξεργασίας των ΑΕΚΚ, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος αυτών να διατίθεται σε δραστηριότητες περιορισμένου εύρους (επιχώσεις, κατασκευή υποστρωμάτων οδοποιίας κλπ).

Η σημαντική καθυστέρηση στην ολοκλήρωση του νέου Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ), ο οποίος τελικά εγκρίθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος στα τέλη του 2016 [61] και τροποποιήθηκε εντός του 2020, έπαιξε σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της σημερινής κατάστασης στη διαχείριση των ΑΕΚΚ.

Μερίδιο στην διατήρηση της προβληματικής διαχείρισης των αποβλήτων αναλογεί και στους κατά τόπους αρμόδιους φορείς, η καθυστερημένη ανταπόκριση των οποίων στις απαιτήσεις της νομοθεσίας δημιούργησε και συνεχίζει να δημιουργεί τεράστιες αγκυλώσεις στην εφαρμογή σε εθνικό επίπεδο, οποιουδήποτε σχεδιασμού και πολιτικής στην διαχείριση των αποβλήτων.

Η αδυναμία των φορέων τοπικής αυτοδιοίκησης να ανανεώσουν και να προσαρμόσουν τα εφαρμοζόμενα-στις περιοχές αρμοδιότητας τους-σχέδια διαχείρισης στις απαιτήσεις της Οδηγίας 2008/98ΕC και του ν.4042/2012 αναφορικά με τη διαχείριση των αποβλήτων εν γένει και των ΑΕΚΚ ειδικότερα, είχε ως αποτέλεσμα την εδραίωση της εφαρμογής λανθασμένων και ζημιογόνων κυρίως για το περιβάλλον διαχειριστικών πρακτικών [25].

1.2.1. Ορισμοί

Για την πληρέστερη και ορθή κατανόηση των θεμάτων που αφορούν στην εφαρμογή της νομοθεσίας και την εναλλακτική διαχείριση των ΑΕΚΚ, έχουν προσδιοριστεί εντός της ΚΥΑ 36259/2010 και παρατίθενται οι παρακάτω ορισμοί:

1. «Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ)»: κάθε υλικό ή αντικείμενο από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις που θεωρείται ως απόβλητο κατά την έννοια του άρθρου 2 (στοιχείο α) της υπ' αριθ. 50910/2003 (ΦΕΚ Β΄ 1909) κοινής υπουργικής απόφασης σε συνδυασμό με την παράγραφο 4 του άρθρου 2 του ν. 2939/2001 και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Ι του άρθρου 17 της παρούσας απόφασης.

2. «Αδρανή απόβλητα»: τα μη επικίνδυνα απόβλητα που δεν υφίστανται καμία σημαντική φυσική, χημική ή βιολογική μετατροπή. Τα αδρανή απόβλητα δεν διαλύονται, δεν καίγονται ούτε συμμετέχουν σε άλλες φυσικές ή χημικές αντιδράσεις, δεν βιοδιασπώνται ούτε επιδρούν δυσμενώς σε άλλα υλικά με τα οποία έρχονται σε επαφή κατά τρόπο ικανό να προκαλέσει ρύπανση του περιβάλλοντος ή να βλάψει την υγεία του ανθρώπου. Η συνολική αποπλυσιμότητα και περιεκτικότητα σε ρύπους των αποβλήτων και η οικοτοξικότητα των στραγγισμάτων πρέπει να είναι σύμφωνη με την απόφαση 2003/33/ΕΚ του Συμβουλίου Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕL 11/27/2003) και την υπ' αριθ. 29407/3508/02 κοινή υπουργική απόφαση και να μη θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των επιφανειακών ή και υπογείων υδάτων.

3. «Οικοδομικές εργασίες»: ανεγέρσεις, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις, επισκευές, περιφράξεις και περιτοιχίσεις ατομικών κατοικιών ή/και κτιριακών συγκροτημάτων.

4. «Έργα τεχνικών υποδομών»: κατεδαφίσεις, κατασκευές ή/και επιδιορθώσεις δρόμων, γεφυρών, σηράγγων, αποχετευτικών δικτύων, πεζοδρομίων και αναπλάσεις χώρων.

5. «Πρόληψη»: τα μέτρα που αποσκοπούν στη μείωση της παραγόμενης ποσότητας των αποβλήτων που προέρχονται από εκσκαφές, κατεδαφίσεις, οικοδομικές εργασίες και τεχνικά έργα, καθώς και των υλικών και των ουσιών που περιέχουν και στον περιορισμό των κινδύνων που συνεπάγονται για το περιβάλλον.

6. «Διαχείριση υλικών για οικοδομικές εργασίες και έργα τεχνικών υποδομών»: α) η παραγωγή ή/και διάθεση υλικών από τα οποία κατασκευάζονται άμεσα προϊόντα που προορίζονται για οικοδομικές εργασίες (προμήθεια πρωτογενών και δευτερογενών υλικών) όπως ορίζονται στις παραγράφους 25 και 26 του άρθρου 3 του ν. 2939/2001 όπως ισχύει, εφεξής «προμήθεια»

β) η παραγωγή προϊόντων για οικοδομικές εργασίες «κατασκευή» γ) διάθεση στην αγορά (εμπορία συμπεριλαμβανομένης και της εισαγωγής) προϊόντων για να χρησιμοποιηθούν από τους χρήστες για οικοδομικές εργασίες «διακίνηση». Στην διακίνηση δεν συμπεριλαμβάνονται οι εργασίες μεταφοράς καθαυτές.

7. «Διαχείριση ΑΕΚΚ»: η συλλογή, μεταφορά, μεταφόρτωση, προσωρινή αποθήκευση, αξιοποίηση και διάθεση των ΑΕΚΚ, συμπεριλαμβανομένης της εποπτείας των εργασιών αυτών και της αποκατάστασης των χώρων αποθήκευσης, μεταφόρτωσης, αξιοποίησης και διάθεσης των ΑΕΚΚ μετά την παύση λειτουργίας τους.

8. «Εναλλακτική διαχείριση»: οι εργασίες συλλογής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας και αξιοποίησης των ΑΕΚΚ ώστε με την επαναχρησιμοποίηση ή αξιοποίησή τους να επιστρέφουν στο ρεύμα της αγοράς ή να προωθούνται σε άλλες χρήσεις.

9. «Σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης»: η οργάνωση σε ατομική ή συλλογική βάση υπό την οποιαδήποτε νομική μορφή των εργασιών συλλογής, μεταφοράς, προσωρινής αποθήκευσης, επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας και αξιοποίησης των ΑΕΚΚ.

10.«Επαναχρησιμοποίηση»: οποιαδήποτε ενέργεια μέσω της οποίας τα υλικά που προέρχονται από κατεδαφίσεις, ανεγέρσεις οικοδομών, φυσικές ή άλλες καταστροφές χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς που σχεδιάστηκαν με ή χωρίς την υποστήριξη βοηθητικών προϊόντων που υπάρχουν στην αγορά.

11. «Επεξεργασία»: η διαλογή και θραύση, καθώς και οποιαδήποτε άλλη ενέργεια για την αξιοποίηση ή/και τη διάθεσή των ΑΕΚΚ, που πραγματοποιείται μετά την παράδοση τους σε εγκεκριμένη εγκατάσταση.

12. «Ανακύκλωση»: η επανεπεξεργασία σε διαδικασία παραγωγής των ανακυκλώσιμων υλικών που περιέχονται στα απόβλητα υλικά προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τον αρχικό τους σκοπό ή για άλλους σκοπούς, πλην της ανάκτησης ενέργειας.

13. «Ανάκτηση ενέργειας»: η χρήση των καυσίμων υλικών των εν λόγω αποβλήτων ως μέσου παραγωγής ενέργειας, με άμεση καύση, μαζί ή χωρίς άλλα απόβλητα, αλλά με ανάκτηση της θερμότητας, τηρουμένων των διατάξεων της κείμενης νομοθεσίας για την προστασία του περιβάλλοντος.

14. «Αξιοποίηση»: κάθε εργασία από τις αναφερόμενες στο Παράρτημα IV.Β (εργασίες αξιοποίησης) του άρθρου 17 της κοινής υπουργικής απόφασης 50910/2727/2003, συμπεριλαμβανομένων επιπλέον των επιχωματώσεων, αποκαταστάσεων ανενεργών και ενεργών λατομείων και ανεξέλεγκτων χωματερών, επικαλύψεων χώρων υγειονομικής ταφής και εν γένει αναμόρφωση υποβαθμισμένων τοπίων ή αναπλάσεων χώρων.

15.«Διάθεση»: κάθε εργασία από τις αναφερόμενες στο Παράρτημα IV.Α (εργασίες διάθεσης) του άρθρου 17 της κοινής υπουργικής απόφασης 50910/2727/2003.

16. «Συλλογή»: όπως ορίζεται στο άρθρο 2 (παρ. η) της υπ' αριθ. 50910/2727/2003 κοινής υπουργικής απόφασης.

17. «Μεταφορά»: όπως ορίζεται στο άρθρο 2 (παρ. θ) της υπ' αριθ. 50910/2727/2003 κοινή υπουργική απόφαση.

18. «Προσωρινή αποθήκευση»: όπως ορίζεται στο άρθρο 2 (παρ. ια) της υπ' αριθ. 50910/2727/2003 κοινής υπουργικής απόφασης.

19. «Προϊόν δομικών κατασκευών»: κάθε προϊόν το οποίο κατασκευάζεται για να ενσωματωθεί κατά τρόπο διαρκή, σε δομικά έργα εν γένει, που καλύπτουν τόσο τα κτίρια όσο και τα έργα υποδομής.

20.«Οικονομικοί παράγοντες»: είναι οι κατασκευαστές ή οι εργολήπτες τεχνικών και οικοδομικών έργων, οι προμηθευτές προϊόντων του τομέα δομικών κατασκευών, οι φορείς εκμίσθωσης εξοπλισμού και παροχής υπηρεσιών προσωρινής αποθήκευσης, συλλογής και μεταφοράς των ΑΕΚΚ, οι οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης, άλλοι δημόσιοι και ιδιωτικοί οργανισμοί και ο κύριος του έργου.

21.«Διαχειριστές ΑΕΚΚ»: είναι οι ανάδοχοι των δημόσιων ή ιδιωτικών έργων (κατασκευαστές, εργολήπτες τεχνικών και οικοδομικών έργων, φορείς εκμίσθωσης εξοπλισμού και παροχής υπηρεσιών προσωρινής αποθήκευσης, συλλογής και μεταφοράς των ΑΕΚΚ) ή ο κύριος του έργου εφόσον δεν έχει αναθέσει το έργο σε ανάδοχο.

22.«Αρμόδια αρχή»: για την εφαρμογή της παρούσας απόφασης είναι ο Εθνικός Οργανισμός Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και νυν Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ) όπως ορίζεται στις παραγράφους 1, 2 και 3 του άρθρου 24 του ν. 2939/2001 (Α΄157), όπως ισχύει.

1.3. Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης ΑΕΚΚ στην Ελλάδα

Η διαχείριση των αποβλήτων από τις δραστηριότητες και τις υπο-δραστηριότητες του κατασκευαστικού τομέα δεν έχει έως και σήμερα αναπτυχθεί στον βαθμό που προέβλεπε ο σχεδιασμός λαμβάνοντας υπόψη την σχετική ευρωπαϊκή οδηγία. Σε αυτό σημαντικό ρόλο έπαιξε κυρίως η ελλιπής μέχρι πρότινος εφαρμογή του θεσμοθετημένου και εν ισχύ από το 2010 νομοθετικού πλαισίου γεγονός που είχε και συνεχίζει να έχει ως συνέπεια την λανθασμένη και πολλές φορές προβληματική διαχείριση τους. Επίσης η σημαντική καθυστέρηση εναρμόνισης της εθνικής νομοθεσίας με την αντίστοιχη (σε θέματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος) ευρωπαϊκή έπαιξε σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της υφιστάμενης κατάστασης.

Η απουσία μέτρων και πρακτικών οι οποίες να προωθούν και να ενισχύουν την εναλλακτική διαχείριση των ΑΕΚΚ (επιδοτήσεις συναφών επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, επιβολή τελών διάθεσης, επιβολή προστίμων σε περιπτώσεις μη τήρησης της νομοθεσίας, ελλιπής στελέχωση των αρμόδιων υπηρεσιών και φορέων κλπ) διατηρούν παγιωμένη τη μη ορθολογική και περιβαλλοντικά ζημιογόνα εφαρμοζόμενη αυτή διαχειριστική πρακτική.

Έως και το 2010 όταν θεσπίστηκαν και τέθηκαν σε ισχύ τα πρώτα σχετικά νομοθετήματα, οι επικρατούσες και ευρέως εφαρμοζόμενες μέθοδοι διαχείρισης των αποβλήτων αυτών ήταν η απόρριψη σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης ή σε ΧΥΤΑ και η αξιοποίηση τους ως υλικά επιχώσεων και υποβάσεων σε εργασίες οδοποιίας.

Δέκα και πλέον χρόνια από την έναρξη της ισχύος του εν λόγω νομοθετικού πλαισίου, η πλήρης εφαρμογή της και κατ' επέκταση η ολοκληρωμένη διαχείριση του εν λόγω ρεύματος αποβλήτων-εξαιτίας των παραγόντων που αναλύθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο-δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί πλήρως.

Τα παραπάνω συντελούν σημαντικά στην αδυναμία καταγραφής της συνολικά παραγόμενης ποσότητας των ΑΕΚΚ εξαιτίας κυρίως της ανεξέλεγκτης και παράνομης διάθεσης η οποία δεν επιτρέπει τον προσδιορισμό των ποσοτήτων αυτών. Οι προαναφερθείσες ποσότητες αποβλήτων δεν υπόκεινται σε διαχείριση μέσω της υπαρκτής οδού όπως αυτή ορίζεται στην κείμενη νομοθεσία. Απορρίπτονται (ή και αποτίθενται με την ανοχή σε κάποιες περιπτώσεις της πολιτείας) παράνομα σε χώρους υγειονομικής ταφής, σε ΧΑΔΑ, σε λατομικές εγκαταστάσεις, σε κοίτες λιμνών/λιμένων, παρόχθιες παραποτάμιες εκτάσεις, γεωργικές εκτάσεις, σε τοποθεσίες πλησίον του οδικού δικτύου κλπ.

Όσο αφορά στην δυνατότητα διάθεσης τους σε αποκαταστάσεις ανενεργών λατομείων, παρά την ύπαρξη σχετικής νομοθεσίας και τις τροποποιήσεις αυτής οι οποίες έχουν τεθεί σε ισχύ από το 2011 και εντεύθεν, οι πρώτες εργασίες αποκατάστασης λατομικών εγκαταστάσεων εκκίνησαν το έτος 2020.

Στα πλαίσια αυτά από το 2011 ως το 2021, έχουν εγκριθεί από τον Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ) και λειτουργούν στην Ελλάδα δέκα (10) Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης ΑΕΚΚ (Πίνακας 1-1) [3]. Στα δεδομένα των ετήσιων εκθέσεων αλλά και στην ιστοσελίδα του ΕΟΑΝ, έχουν ενσωματωθεί νεότερα στοιχεία σχετικά με τις πρόσφατες τροποποιήσεις των αποφάσεων έγκρισης των παραπάνω ΣΣΕΔ ΑΕΚΚ οι οποίες αφορούν σε επεκτάσεις της γεωγραφικής τους εμβέλειας σε νέες περιφερειακές ενότητες.

Παρόλα αυτά η επίτευξη των στόχων που είχαν τεθεί αναφορικά με το βαθμό κάλυψης της χώρας από συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ έως την 1/1/2014 και την επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση άλλων υλικών αποβλήτων σε ποσοστό τουλάχιστον 70% ως προς το συνολικό βάρος των παραγομένων ΑΕΚΚ στη χώρα ως το 2020, γίνεται σαφές λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση που αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους ότι παραμένει σε εκκρεμότητα. Σε ότι αφορά στην κάλυψη της ελληνικής

επικράτειας από ΣΕΔ ΑΕΚΚ ανέρχεται περίπου στο 90.54%, 8 χρόνια μετά τον αρχικό (βάσει νομοθεσίας) προγραμματισμό.

Πίνακας 1-1. Σ.Σ.Ε.Δ. ΑΕΚΚ και γεωγραφική εμβέλεια αυτών (Πηγή: www.eoan.gr).

Επωνυμία Σ.Σ.Ε.Δ.	Αριθ. Απόφασης Έγκρισης ΕΟΑΝ	Γεωγραφική Εμβέλεια Συστήματος (Καλυπτόμενες Περιφερειακές ενότητες)
Ανακύκλωση Αδρανών Βορείου Ελλάδος Α.Ε. (ΑΝ.Α.Β.Ε. Α.Ε.)	717/7-12-2011 1949/19-11-2014 174/27-1-2017 1429/3-7-2017	Θεσσαλονίκης, Πέλλας, Πιερίας, Κιλκίς, Ημαθίας, Χαλκιδικής, Δράμας, Καβάλας, Ηρακλείου, Σερρών, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου, Νάξου, Καστοριάς, Λάρισας, Λήμνου, Λέσβου, Σάμου, Φλώρινας, Τρικάλων, Μαγνησίας, Κοζάνης
Σύστημα Ανακύκλωσης Κεντρικής Ελλάδας Ε.Π.Ε. (Σ.ΑΝ.Κ.Ε. Ε.Π.Ε.)	66/18-01-2012 426/26-04-2012 873/5-5-2017	Περιφερειακές Ενότητες: Εύβοιας, Βοιωτίας, Μαγνησίας, Αρκαδίας, Αχαΐας, Κορίνθου, Κύθνου, Φωκίδας, Όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής, Αιτωλοακαρνανίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Ηλείας, Θήρας, Λακωνίας, Μήλου, Ρεθύμνου, Ροδόπης
Εναλλακτική Διαχείριση Προϊόντων Εκσκαφών, Κατεδαφίσεων Α.Ε. (Σ.Ε.Δ.Π.Ε.ΚΑΤ. Α.Ε.)	427/26-04-2012	Όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής, Κως
Ι. ΚΟΥΦΙΔΗΣ - Ι. ΚΤΕΝΙΔΗΣ & ΣΙΑ Ο.Ε. (ΣΣΕΔ Χαλκιδικής Ο.Ε.)	1050/28-09-2012	Όλες οι Π.Ε. Χαλκιδικής
Ανακύκλωση Α.Ε.Κ.Κ. Κεντρικής Μακεδονίας Α.Ε. (ΑΝ.Α.ΚΕ.Μ. Α.Ε.)	1183/19-10-2012 924/30-04-2015 175/27-1-2017	Αχαΐας, Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Πέλλας, Πιερίας, Σερρών, Δράμας, Καβάλας, Ξάνθης, Χανίων, Ροδόπης, Έβρου, Λέσβου, Καστοριάς, Κεφαλληνίας, Λάρισας, Φλώρινας, Χαλκιδικής, Αιτωλοακαρνανίας, Ζακύνθου, Κοζάνης, Ιωαννίνων, Λασιθίου, Φωκίδας, Χίου, Κέρκυρας, Ηρακλείου, Ρεθύμνου, Μυκόνου, Όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής, Γρεβενών, Εύβοιας, Κέρκυρας, Αργολίδας, Βοιωτίας, Θεσπρωτίας, Κω, Λήμνου, Πρέβεζας, Ρόδου
Ψάρρας - Εναλλακτική Διαχείριση Α.Ε.Κ.Κ. Α.Μ.Κ.Ε.	2174/09-12-2013	Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Πέλλας, Πιερίας, Σερρών, Χαλκιδικής
Ανακύκλωση Αδρανών Νότιας Ελλάδας Α.Μ.Κ.Ε. (Α.Α.Ν.ΕΛ.)	2204/12-12-2013 2186/11-12-2014 858/4-5-2017	Λακωνίας, Λάρισας, Μαγνησίας, Σποράδων, Μεσσηνίας, Κέρκυρας, Κεφαλληνίας, Όλες οι Π.Ε. του Νομού Κυκλάδων
Αποστολάκης Εμμ. & ΣΙΑ Ο.Ε. «ΔΙΑΣ Σύστημα Ανακύκλωσης ΑΕΚΚ»	535/1-4-2014	Ηρακλείου, Λασιθίου
ΣΣΕΔ Αποβλήτων Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων Ανακύκλωση Α.Ε.Κ.Κ. ΑΤΤΙΚΗΣ Α.Ε.	633/15-4-2014	Όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής, Ιωαννίνων

1.4. Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης- χώρες της Ε.Ε.

Με το κοινοτικό νομοθετικό πλαίσιο έχουν καθοριστεί οι γενικοί όροι και προϋποθέσεις της διαχείρισης των αποβλήτων. Επιπλέον καθορίζονται τα χρονικά περιθώρια εντός των οποίων οι χώρες που ανήκουν στην Ε.Ε. οφείλουν να προσαρμόσουν και να εναρμονίσουν την νομοθεσία που εφαρμόζουν σε εθνικό επίπεδο στις απαιτήσεις του εν λόγω πλαισίου, λαμβάνοντας υπόψη σε κάθε περίπτωση τις κατά περίπτωση ιδιαίτερες συνθήκες (γεωγραφικές, οικονομικές, κοινωνικές κλπ).

Αρκετές χώρες μέλη της Ε.Ε. έχουν ήδη θεσπίσει και εφαρμόζουν κατά την τελευταία 10ετία, σαφές πλαίσιο σε ότι αφορά στη διαχείριση των ΑΕΚΚ. Η εφαρμογή του (νομοθετικού πλαισίου) σε κάθε περίπτωση προϋποθέτει και βασίζεται στη χρήση ποικίλων σχεδιαστικών/ μελετητικών εργαλείων και διαφόρων ειδών διαχειριστικών πρακτικών [7]. Απώτερος σκοπός του είναι ο περιορισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που ενδεχομένως να προκαλούνται από την παραγωγή και διάθεση των ΑΕΚΚ, διαμέσου της εφαρμογής των βέλτιστων πρακτικών ολοκληρωμένης και αποδοτικότερης διαχείρισής τους η οποία έχει ως προσδοκώμενο αποτέλεσμα την μείωση των παραγόμενων αποβλήτων από δραστηριότητες του κατασκευαστικό κλάδου.

1.5. Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης ΑΕΚΚ στην Ε.Ε.

1.5.1. Σουηδία

Η συνολική αναθεώρηση και κωδικοποίηση της Περιβαλλοντικής νομοθεσίας της χώρας ολοκληρώθηκε το 1999, με την έκδοση του Περιβαλλοντικού Κώδικα. Το συγκεκριμένο νομοθετικό πόνημα ενσωμάτωσε όλους τους εν ισχύ (κατά την περίοδο της έκδοσής του) νόμους, διατάγματα και κανονισμούς που αφορούσαν τη ρύθμιση περιβαλλοντικών θεμάτων [6]. Διέπεται στο σύνολο του από αρχές που προωθούν την αειφορία, την κυκλική οικονομία και την βιώσιμη ανάπτυξη. Απώτερος σκοπός του είναι να:

- Διασφαλίσει τη δημόσια υγεία, να προστατεύσει το φυσικό (βιοποικιλότητα, οικοσυστήματα κλπ) και ανθρωπογενές περιβάλλον και τα διάφορα φυσικά και πολιτισμικά μνημεία που εντάσσονται σε αυτό από πιθανές ζημιογόνες επιπτώσεις.
- Διασφαλίσει την επάρκεια των πρωτογενών πόρων διαμέσου μιας ορθολογικότερης χρήσης αυτών.
- Προωθήσει και να ενισχύσει την ανακύκλωση ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υλικών που προέρχονται από απόβλητα.

Ο νέος αυτός Περιβαλλοντικός Κώδικας εισάγει κάποιες επιπλέον αρχές προκειμένου να ενισχύσει ακόμα περισσότερο την δυνατότητα επίτευξης των βασικών του στόχων. Πιο συγκεκριμένα, η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», η αρχή πρόληψης στην παραγωγή αποβλήτων και η αρχή προώθησης της χρήσης περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον υλικών και προϊόντων υιοθετούνται στην εν λόγω νομοθετική έκδοση. Αναλυτικές προδιαγραφές των παραπάνω δεν συμπεριλαμβάνονται στην κωδικοποιημένη έκδοση, καθορίζονται όμως όπου είναι αναγκαίο από σχετικούς κανονισμούς και διατάγματα. Ως μια από της ελλείψεις του συγκεκριμένου Κώδικα μπορεί να επισημανθεί το γεγονός ότι δεν συμπεριλαμβάνει κάποιο νόμο, κανονισμό η διάταγμα μέσω του οποίου να καθορίζεται επακριβώς η ευθύνη του παραγωγού και επίσης το ότι δεν λαμβάνεται κάποια μέριμνα για την επιδότηση από την Σουηδική πολιτεία, δραστηριοτήτων σχετικών με την επεξεργασία των ΑΕΚΚ [9].

Στα θετικά και καινοτόμα στοιχεία του αξίζει να τονιστεί η θέσπιση ποιοτικών προτύπων για το περιβάλλον, η εισαγωγή μεθοδολογίας επιβολής κυρώσεων και προστίμων σε περιπτώσεις πρόκλησης περιβαλλοντικής βλάβης/υποβάθμισης και η θέσπιση Κριτηρίων Αξιολόγησης Περιβαλλοντικής Ποιότητας. Μέσω των κριτηρίων αυτών παρέχεται η δυνατότητα σύνταξης περιβαλλοντικών αναλύσεων και αναφορών βάσει των απαιτήσεων που έχουν τεθεί από τους διεθνείς αρμόδιους οργανισμούς (European Commission, European Environmental Agency κ.α.). Επιπρόσθετα η επεξεργασία των στοιχείων που προκύπτουν από τις διάφορες περιβαλλοντικές μετρήσεις απλουστεύεται, καθιστώντας πλέον «μετρίσιμο» τον βαθμό επίτευξης για τον εκάστοτε τιθέμενο στόχο.

Αναφορικά με τη διαχείριση των ΑΕΚΚ, η Σουηδική Βουλή στα τέλη της δεκαετίας του ’90 αποφάσισε την απαγόρευση της τελικής διάθεσης όλων των κατηγοριών αποβλήτων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν μέσω της καύσης για ανάκτηση ενέργειας. Η συγκεκριμένη απόφαση τέθηκε σε εφαρμογή το 2002.

Η σύνταξη σχεδίου διαχείρισης ΑΚΚ επισυναπτόμενου στην Ειδοποίηση Κατεδάφισης όπου και αναλύεται λεπτομερώς ο τρόπος διαχείρισης των αποβλήτων που θα παραχθούν και υποβάλλεται στις αρμόδιες υπηρεσίες, αποτελεί υποχρέωση για τους εμπλεκόμενους σε τέτοιου τύπου δραστηριότητες και προκύπτει ως προϋπόθεση για την εκτέλεση αυτού του τύπου των εργασιών από τη σχετική νομοθεσία περί Σχεδιασμού και Κατασκευής [8].

Παρά το γεγονός ότι οι ποσότητες ΑΕΚΚ που παράγονται στη χώρα δεν είναι μεγάλες, η επιχειρηματική δραστηριοποίηση γύρω από τη διαχείριση τους είναι αξιοσημείωτη.

Σε αυτό συντελούν η ύπαρξη θεσμοθετημένου πλαισίου διαχείρισης, η προώθηση (μέσω της περιβαλλοντικής νομοθεσίας) πρότασης για την επιβολή ειδικού τέλους χρήσης πρωτογενών υλικών ως αποτέλεσμα της οποίας επήλθε η αύξηση της χρήσης ανακυκλωμένων δευτερογενών υλικών σε κατασκευαστικές εφαρμογές και δημιουργήθηκαν οι συνθήκες εκτροπής των αποβλήτων αυτών από την τελική διάθεση τελική σε ΧΥΤΑ [5].

Σημαντικά επίσης συνέβαλε σε αυτό η συγκρότηση του Συμβούλιου Περιβάλλοντος της Κατασκευαστικής Βιομηχανίας (BIEC) το 1994. Βασικός σκοπός της ίδρυσης του εν λόγω οργάνου, είναι να λειτουργεί ως ενδιάμεσος μεταξύ των φορέων του κατασκευαστικού τομέα και της κυβέρνησης, έχοντας στην ουσία το ρόλο του αντιπροσώπου των επιχειρήσεων αυτών επί ζητημάτων περιβαλλοντικής φύσεως. Στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων του, παρέχει στα μέλη του υπηρεσίες συμβουλευτικού χαρακτήρα με γνώμονα την διεύρυνση των γνώσεων γύρω από τις περιβαλλοντικές συνέπειες της «λανθασμένης» (μη ορθολογικής) διαχείρισης των ΑΕΚΚ και την εφαρμογή πιο φιλικών προς το περιβάλλον πρακτικών διαχείρισης.

Σύμφωνα με το σχέδιο δράσης του Συμβούλιου Περιβάλλοντος της Κατασκευαστικής Βιομηχανίας οι φορείς του κατασκευαστικού κλάδου οφείλουν να:

- διευρύνουν και να προωθήσουν τη γνώση και την εκπαίδευση των εμπλεκόμενων στην εναλλακτική διαχείριση σε θέματα περιβάλλοντος, να επανακαθορίσουν και να αναθεωρήσουν τα πρότυπα και συμφωνίες, βάσει περιβαλλοντικών κριτηρίων,
- προωθούν τη διαλογή υλικών στην πηγή με απώτερο σκοπό τη διευκόλυνση της ανακύκλωσης,
- ταυτοποιούν τα επικίνδυνα απόβλητα και να προωθούν την προδιαλογή τους στην πηγή διασφαλίζοντας παράλληλα την ασφαλή μεταφορά και επεξεργασία τους
- λαμβάνουν τα απαιτούμενα μέτρα ώστε τα απόβλητα που οδηγούνται για τελική διάθεση μέσω υγειονομικής ταφής να ελαττωθούν τουλάχιστον κατά 50%,
- επιδιώκουν την πιστοποίηση των επιχειρήσεων που διαχειρίζονται τα ΑΕΚΚ βάσει των οριζόμενων στην Περιβαλλοντική Νομοθεσία.

Τα χαρακτηριστικά (τεχνικές προδιαγραφές) των ανακυκλωμένων υλικών πρέπει να προσομοιάζουν με αυτά των αντίστοιχων πρωτογενών υλικών. Στην προσπάθεια αυτή δημιουργήθηκαν νέα πρότυπα σε ότι αφορά:

- στη χρήση ανακυκλωμένου τσιμέντου, τούβλων και ασφάλτου στα διάφορα στάδια εργασιών κατασκευής οδών
- στην επαναχρησιμοποίηση υλικών όπως το ξύλο, τα τούβλα και ο σίδηρος σε νέες κατασκευές.

Κατά το έτος αναθεώρησης της Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας (1999), υπήρχαν εν λειτουργία 8 κινητές και 2 σταθερές μονάδες ανακύκλωσης ΑΕΚΚ. Λειτουργούν επίσης μονάδες διαλογής εντός των οποίων γίνεται διαχωρισμός των ανάμεικτων αποβλήτων σε αυτά που μπορούν να αξιοποιηθούν για ανάκτηση ενέργειας (μέσω καύσης) και σε αυτά που δεν είναι δυνατόν να υποστούν θερμική επεξεργασία [5].

Υπό την αιγίδα του Ινστιτούτου Εκπαίδευσης και της Ένωσης Εργολάβων Κατεδαφίσεων διοργανώνονται εκπαιδευτικά σεμινάρια τα οποία απευθύνονται κυρίως σε εργολάβους. Σε αυτά παραδίδονται μαθήματα επί της ισχύουσας νομοθεσίας, της επιλεκτικής κατεδάφισης και της ανακύκλωσης. Η συγκεκριμένη δράση είναι μια εκ των αποτελεσματικότερων που πραγματοποιείται στο πλαίσιο της διάδοσης της εναλλακτικής διαχείρισης στη Σουηδία.

Μέσω του Εθνικό Συμβούλιου Κατοικίας Κατασκευών και Σχεδιασμού έχει αναπτυχθεί σχετικό εκπαιδευτικό υλικό που ο κάθε ενδιαφερόμενος μπορεί να προμηθευτεί σε προσιτή τιμή. Με τον τρόπο αυτό οι δραστηριοποιούμενοι αλλά και οι ενδιαφερόμενοι να δραστηριοποιηθούν στην εναλλακτική διαχείριση φορείς αποκτούν γνώσεις όσο αφορά στα ζητήματα της περιβαλλοντικής ορολογίας και του σχετικού νομοθετικού πλαισίου ώστε να είναι σε θέση να ενστερνίζονται ή/και να βελτιώνουν κάποιες βασικές αρχές περιβαλλοντικής συνείδησης.

Η αγορά προϊόντων από ανακυκλωμένα ΑΕΚΚ είναι επαρκώς ανεπτυγμένη με αρκετά τέτοια προϊόντα να διατίθενται στην αγορά ακόμα και μέσω του διαδικτύου από τους εργολάβους κατεδαφίσεων.

Πληροφορίες σχετικά με μελλοντικές κατεδαφίσεις μπορούν να αναζητηθούν μέσω των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης για τις περιοχές αρμοδιότητας του κάθε ενός εξ' αυτών των οργανισμών.

Με την οικονομική στήριξη κρατικών και λοιπών φορέων (Σουηδικό Συμβούλιο Έρευνας Αποβλήτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος κ.α.), διεξάγονται στο πλαίσιο προγραμμάτων, έρευνες και μελέτες πάνω σε ζητήματα που αφορούν την εναλλακτική διαχείριση των ΑΕΚΚ, την προώθηση και εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών επεξεργασίας του συγκεκριμένου ρεύματος αποβλήτων και τρόποι αντιμετώπισης των προβλημάτων που εντοπίζονται κατά τη διαχείρισή τους.

Η επίσημα καταγεγραμμένη παραγόμενη ποσότητα ΑΕΚΚ το 2012 στη Σουηδία, ανήλθε σε 7.7 εκατομμύρια τόνους, παρουσιάζοντας μείωση σε σύγκριση με την αντίστοιχη ποσότητα για το έτος 2010 (Πίνακας 1-5-1). Το ποσοστό ανακύκλωσης που επιτεύχθηκε κάλυψε σε αρκετά μεγάλο βαθμό το 70% του αρχικού στόχου και υπολογίζεται περίπου σε 60% για το 2010 και 50% για το 2012 αντίστοιχα (Πίνακας 1-5-2). Το επικαιροποιημένο σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων που θεσπίστηκε από τον αρμόδιο οργανισμό προστασίας περιβάλλοντος (SEPA), δίνει έμφαση στην δημιουργία βάσης δεδομένων (καταγραφή ποσοτήτων) όπως και στη βελτίωση της διαχείρισης των ΑΕΚΚ [27].

Πίνακα 1.5.1-1. Παραγόμενες ποσότητες ΑΕΚΚ 2010 και 2012.

Κατηγορία	2010 (εκατ. τόνοι)	2012 (εκατ. τόνοι)
Μη επικίνδυνα ΑΕΚΚ		
Απόβλητα κατασκευών/ κατεδαφίσεων	1.24	1.2
Απόβλητα εκσκαφών	4.00	3.5
Απόβλητα βυθοκορήσεων	3.5	2.07
Επικίνδυνα ΑΕΚΚ		
Απόβλητα κατασκευών/ κατεδαφίσεων	0.19	0.17
Απόβλητα εκσκαφών	0.45	0.72
Απόβλητα βυθοκορήσεων	0	0
Σύνολο	**9.38**	**7.67**

Πίνακας 1.5.1-2. Εθνική επίδοση Σουηδίας στη διαχείριση των ΑΕΚΚ.

Έτος (ποσότητες σε εκατ. τόνους)	2010	2012
Παραγόμενα ΑΕΚΚ	1.22	1.31
Ανακυκλωμένα ΑΕΚΚ	0.12	0.18
Προς επιχώσεις/επιχωματώσεις	0.61	0.48
Προς ΧΥΤΑ (τελική διάθεση)	0.021	0.015
Προς Ανάκτηση ενέργειας	0.24	0.41
Άγνωστος τρόπος διαχείρισης	0.23	0.23
(%) Ποσοστό Ανακύκλωσης	**59.9**	**49.9**

1.5.2. Γερμανία

Το νομικό και τεχνικό πλαίσιο της διαχείρισης των ΑΕΚΚ, τέθηκε σε εφαρμογή το 2003. Κατά τα οριζόμενα σε αυτό, προς τελική διάθεση οδηγούνται μόνο τα πλήρως επεξεργασμένα και προδιαλεγμένα στην πηγή παραγωγής τους ΑΕΚΚ. Το εν λόγω νομοθετικό πλαίσιο, υιοθέτησε τον ευρωπαϊκό κατάλογο αποβλήτων του ευρωπαϊκού συμβουλίου [10-12]. Στον κατάλογο αυτό, όπως έχει διαμορφωθεί κατόπιν των κατά καιρούς τροποποιήσεων τα

απόβλητα κατηγοριοποιούνται σε αδρανή και επικίνδυνα. Τα επικίνδυνα επισημαίνονται με την τοποθέτηση ενός αστερίσκου δίπλα στον χαρακτηριστικό κωδικό.

Σε περιπτώσεις που η τελική διάθεση ακολουθείται ως πρακτική, ο «παραγωγός» επιβαρύνεται με ειδικό τέλος το ύψος του οποίου αυξάνεται σημαντικά σε περίπτωση διάθεσης ανάμεικτων/ ανεπεξέργαστων αποβλήτων. Η συγκεκριμένη πρακτική, αποτέλεσε το κίνητρο εκτροπής μέρους του συγκεκριμένου είδους αποβλήτων από την τελική διάθεση με αποτέλεσμα να προωθείται επιπλέον η ανάκτηση και επαναπροώθηση τους ως δευτερογενή υλικά στην αγορά επιφορτίζοντας παράλληλα τους εμπλεκόμενους σε κατασκευαστικές δραστηριότητες, με την μέριμνα της τελικής διάθεσης των παραπροϊόντων που δεν επιδέχονται περαιτέρω επεξεργασία και δεν είναι κατάλληλα προς αξιοποίηση, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση [5, 7,13].

Μέτρα σχετικά με το σχεδιασμό και τη διαχείριση των ΑΕΚΚ έχουν ληφθεί και εφαρμόζονται ανά ομοσπονδιακό κρατίδιο. Οι αρμόδιες υπηρεσίες κάθε κρατιδίου έχουν προχωρήσει στην έκδοση οδηγιών και αναλυτικών κατευθύνσεων αναφορικά με τη διαχείρισή των αποβλήτων αυτών, στοχεύοντας στην ενίσχυση της ανάκτησης και της ανακύκλωσης υλικών μέσω της εφαρμογής «καλών» πρακτικών κατά τη διαχείριση (επιλεκτική κατεδάφιση, προδιαλογή κλπ). Συγκεκριμένες κατευθυντήριες οδηγίες έχουν εκδοθεί και για τα δημόσια έργα. Σε αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία που αφορούν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της χρήσης συγκεκριμένων υλικών κατά την υλοποίηση οικοδομικών και κατασκευαστικών εργασιών.

1.5.3. Δανία

Σύμφωνα με το εν ισχύ ρυθμιστικό πλαίσιο (Νόμος Προστασίας του Περιβάλλοντος), ο απώτερος σκοπός της επιλεχθείσας στρατηγικής διαχείρισης για το ρεύμα των αποβλήτων εκσκαφών κατασκευών και κατεδαφίσεων είναι ο περιορισμός της παραγόμενης (κατ' όγκο) ποσότητας αυτών και παράλληλα των αρνητικών επιπτώσεων που δημιουργούνται στο περιβάλλον (ανθρωπογενές αλλά και φυσικό) εξαιτίας της παραγωγής και διάθεσης τους. Το συγκεκριμένο στρατηγικό πλαίσιο διαχείρισης αποτέλεσε κομμάτι του κυβερνητικού προγράμματος στον τομέα του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα στην ανακύκλωση των αποβλήτων για την περίοδο 1993-2000. Η στοχοθεσία που τέθηκε κατά την εφαρμογή των

αρχικών δράσεων του ως άνω πλαισίου, ανερχόταν σε 60% ως προς την ανακύκλωση των ΑΕΚΚ.

Θετική συνεισφορά στην ανάπτυξη και εδραίωση του παραπάνω στρατηγικού σχεδιασμού και των πολιτικών που εφαρμόσθηκαν μέσω αυτού, είχε η εισαγωγή και ενσωμάτωση ενός νεώτερου αναθεωρημένου εθνικού περιβαλλοντικού προγραμματικού πλαισίου (Waste21-Waste Management Plan 1998-2004) [16], για τα έτη 1998-2004. Μέσω της επικαιροποιημένης έκδοσης παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των συστημάτων διαχείρισης σε εθνικό επίπεδο και παράλληλα παρουσιάζονται και αναλύονται στοιχεία σχετικά με την υπάρχουσα κατάσταση στον τομέα της διαχείρισης αποβλήτων. Πέραν των παραπάνω γίνεται μια πρώτη αναφορά σε πιθανά παρεχόμενα κίνητρα στους εν δυνάμει εμπλεκόμενους στις διαδικασίες εναλλακτικής διαχείρισης.

Στις θεμελιώδεις αρχές που εισάγονται μέσου του Waste21 συμπεριλαμβάνονται, η ενεργοποίηση της συμμετοχής σε ατομικό επίπεδο (πολίτης) και παράλληλα η ενεργός συμμετοχή και δραστηριοποίηση των εμπλεκόμενων φορέων μέσω της συμμετοχής τους σε Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης αποβλήτων. Το στρατηγικό πλαίσιο της διαχείρισης αποβλήτων της περιόδου 2005-2008 καθορίστηκε προγενέστερα (2004). Μέσω αυτού τίθενται με χρονικό ορίζοντα υλοποίησης το 2008 οι εξής επιπλέον στόχοι: i.) ανακύκλωση του 90% των παραγόμενων ΑΕΚΚ ii.) καθορισμός διαδικασιών ανακύκλωσης αποβλήτων και υπολειμμάτων του κατασκευαστικού τομέα λαμβάνοντας υπόψη κατά το μέγιστο δυνατόν τη διασφάλιση της προστασίας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και iii.) Εισαγωγή της έννοιας των δεικτών περιβαλλοντικής επίδοσης μέσω των οποίων μπορούν να χαρακτηριστούν και να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις διαφόρων ειδών κατασκευαστικές δραστηριότητες [17].

Το 2013 περίπου 3 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ (Πίνακας 1.5.3-1) εξαιρουμένων των χωμάτων εκσκαφής οδηγήθηκαν σε αδειοδοτημένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας βάσει των αναφορών του Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Τροφίμων της Δανίας (DEPA). Ο σχεδιασμός της περιόδου 2013-2018 επικεντρώθηκε στην ποιοτική αξιολόγηση των εφαρμοζόμενων πρακτικών ανακύκλωσης για τα ΑΕΚΚ. Πιο

συγκεκριμένα εστίασε στο να εντοπίσει το αν και κατά πόσο διασφαλίζεται ότι μέσω της ανακύκλωσης των ΑΕΚΚ δεν προκαλείται κάποιας μορφής περιβαλλοντική ρύπανση και ταυτόχρονα ότι το ποσοστό ανακύκλωσης που επιτυγχάνεται διατηρείται σε υψηλά επίπεδα [26]. Εντός του 2015 η δανική κυβέρνηση δημοσίευσε νέο στρατηγικό σχέδιο για την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων. Σύμφωνα με αυτό τα ΑΕΚΚ μπορεί εμπεριέχουν ιδιόμορφα (επικίνδυνα) υλικά, η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των οποίων πρέπει να πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η αποφυγή ενδεχόμενων δυσμενών επιπτώσεων για τη δημόσια υγεία και παράλληλα την ασφάλεια των κτιρίων [26].

Πίνακας 1.5.3-1. Παραγόμενες ποσότητες ΑΕΚΚ (Πηγή: DEPA).

Κατηγορία Αποβλήτου	2011	2012	2013[1]
Μη επικίνδυνα ΑΕΚΚ	(Εκατ. τόνοι)	(Εκατ. τόνοι)	(Εκατ. τόνοι)
– **Απόβλητα κατασκευών/κατεδαφίσεων**	2.42	2.69	2.89
– **Απόβλητα εκσκαφών***	2.00	2.34	4.18
– **Απόβλητα βυθοκορήσεων****	0.004	0.0001	0.0001
Επικίνδυνα ΑΕΚΚ***	0.76	0.54	0.99
Σύνολο	**5.19**	**5.57**	**8.06**

*Εξαιρουμένων των αποβλήτων εκσκαφής που κατατάσσονται στα επικίνδυνα
** Εξαιρουμένων των αποβλήτων βυθοκόρησης που κατατάσσονται στα επικίνδυνα
*** Εξαιρουμένων των αποβλήτων που κατατάσσονται στον κωδικό 17 06 06
[1] **Ανεπίσημα στοιχεία**

1.5.4. Ολλανδία

Με γνώμονα την απαίτηση για σταδιακή μείωση των παραγόμενων ΑΕΚΚ, η ολλανδική πολιτεία εκπόνησε και έθεσε σε εφαρμογή στρατηγικό σχέδιο διαχείρισης «Αποβλήτων Κτιριακών Εγκαταστάσεων» με χρονικό πλαίσιο υλοποίησης την περίοδο 1995-2010. Σε αυτό συμπεριελήφθησαν μέτρα και προϋποθέσεις για τον περιορισμό και την σταδιακή παύση λειτουργίας των χώρων ανεξέλεγκτης διάθεσης και παράλληλα την αύξηση του ποσοστού των ανακυκλώσιμων αποβλήτων. Θεσπίστηκε η υποχρέωση καταβολής ειδικού τέλους για την απόρριψη ΑΕΚΚ σε ΧΥΤΑ. Σε κάποιες περιοχές της χώρας το τέλος αυτό ανέρχεται [18] στα 114 ευρώ/τόνο ΑΕΚΚ, γεγονός που συμβάλει σημαντικά στην προώθηση της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης και ανάκτησης των εν λόγω αποβλήτων. Από την εφαρμογή των συγκεκριμένων μέτρων σε συνδυασμό με τον αρκετά φιλόδοξο στόχο

(90%) επαναχρησιμοποίησης που τέθηκε από την ολλανδική πολιτεία, προσδοκώμενο αποτέλεσμα ήταν να περιοριστεί σε μεγάλο βαθμό η εκμετάλλευση πρωτογενών υλικών.

Στο πλαίσιο αυτά τέθηκαν επίσης σε εφαρμογή προγράμματα προώθησης φιλικότερων προς το περιβάλλον μεθόδων διαχείρισης ΑΕΚΚ (επιλεκτική κατεδάφιση, διαλογή στην πηγή, χρήση φιλικότερων περιβαλλοντικά υλικών στις κατασκευές, αύξηση χρήσης ανακυκλωμένων υλικών σε κατασκευές/οικοδομές κ.α.) [7].

Η σοβαρότητα με την οποία αντιμετώπισε τα περιβαλλοντικά ζητήματα η ολλανδική πολιτεία, αποτυπώνεται και στα φορολογικά νομοσχέδια που έχουν ψηφιστεί και αφορούν στην λειτουργία των Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

1.5.5. Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο βρίσκεται σε ισχύ ένα σύνολο μέτρων για τη μείωση της παραγωγής αποβλήτων από οικοδομικές δραστηριότητες, κατεδαφίσεις και εξορύξεις με στόχο την ενίσχυση της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης αυτών των υλικών [5]. Στις αρχές της περασμένης 20ετίας (2000), οι κυβερνήσεις Αγγλίας και Ουαλίας συνέταξαν από κοινού στρατηγικό πρόγραμμα διαχείρισης αποβλήτων (Waste strategy 2000), το οποίο διαμέσου της αποτύπωσης, ανάλυσης και εφαρμογής των προαναφερθέντων μέτρων, σκόπευε να εισαγάγει και να αναπτύξει σε εθνικό επίπεδο μια πιο ορθολογική και ολιστική διαδικασία διαχείρισης των αποβλήτων [23]. Μερικές από τις προτεινόμενες ρυθμίσεις που εισήγαγε το εν λόγω προγραμματικό πλαίσιο ήταν:

1. Η χρήση τυποποιημένων υλικών στον κατασκευαστικό τομέα, ώστε να είναι ευκολότερη η μελλοντική επαναχρησιμοποίηση αυτών
2. Η σύσταση φορέα με αρμοδιότητα τη διεύρυνση της γνώσης γύρω από την επαναχρησιμοποίηση και αξιοποίηση αδρανών υλικών ως δευτερογενή δομικά/κατασκευαστικά υλικά
3. Η δημιουργία και τήρηση βάσης δεδομένων με στοιχεία που αφορούν τις παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων. Βασικό λόγο για τη δημιουργία της συγκεκριμένης πλατφόρμας αποτέλεσε η ανάγκη παροχής πληροφόρησης στους εμπλεκόμενους φορείς στην εναλλακτική διαχείριση (κατασκευαστικές

εταιρείες, εργολάβους, κ.λπ.) και στην προώθηση ως καλής πρακτικής της ανταλλαγής υλικών (waste exchange) μεταξύ αυτών.

4. Η χρηματοδότηση ερευνητικών δράσεων και μελετών εναλλακτικών κατασκευαστικών μεθόδων πεζοδρομίων.
5. Η θέσπιση ειδικού τέλους διάθεσης αδρανών αποβλήτων σε ΧΥΤΑ.
6. Η επιβολή ειδικών τελών επί των τιμών αγοράς οικοδομικών υλικών με σκοπό την ανάπτυξη και ενίσχυση της αγοράς δευτερογενών υλικών που προέρχονται από τις διαδικασίες της επεξεργασία ΑΕΚΚ.

Από τα επίσημα στοιχεία του 2012 προκύπτει ότι στο Ηνωμένο Βασίλειο παρήχθησαν 100.23 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ εκ των οποίων τα μη επικίνδυνα (εξαιρουμένων των αποβλήτων εκσκαφής) υπολογίζονται σε 44.8 εκατομμύρια τόνους εκ των 38.8 εκατομμύρια τόνοι ανακτήθηκαν, ήτοι ανάκτηση της τάξεως του 86.5%.

1.5.6. Γαλλία

Το περιβαλλοντικό νομοθετικό πλαίσιο της χώρας επιτρέπει την τελική διάθεση των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις, απαγορεύοντας αποκλειστικά την τελική διάθεση μόνο των αποβλήτων συσκευασίας των υλικών αυτών. Μέσω της εφαρμογής συγκεκριμένου προεδρικού διατάγματος της γαλλικής δημοκρατίας καθορίζονται τα κατ' ελάχιστον απαιτούμενα μέτρα έτσι ώστε τα απόβλητα συσκευασιών των οικοδομικών υλικών να επαναχρησιμοποιούνται, να ανακυκλώνονται ή να καίγονται με σκοπό την ανάκτηση ενέργειας. Επιπλέον μέσω των σχετικών με την εφαρμογή του εν λόγω προεδρικού διατάγματος εγκυκλίων, καθορίζονται οι ελάχιστες προδιαγραφές επεξεργασίας, μεταφοράς και τελικής διάθεσης των αμιαντούχων ΑΕΚΚ. Η παροχή πληροφοριών αναφορικά με τα επιμέρους χαρακτηριστικά των υλικών αυτών αποτελεί υποχρέωση των παραγωγών και είναι επιτακτική ώστε να μπορούν να καθοριστούν οι όροι διαχείρισης των αποβλήτων της συγκεκριμένης κατηγορίας [5, 7].

1.5.7. Ιρλανδία

Οι επιμέρους προϋποθέσεις και όροι βάσει των οποίων πραγματοποιείται η διαχείριση των αποβλήτων ρυθμίστηκαν με την έκδοση νομοθετικής πράξης από την ιρλανδική κυβέρνηση, το 1996. Οι αλλαγές που επήλθαν στην περιβαλλοντική νομοθεσία και κατά συνέπεια στην περιβαλλοντική πολιτική της χώρας ήταν τεράστιες. Ο εθνικός στρατηγικός σχεδιασμός διαχείρισης των αποβλήτων, δίνει έμφαση σε παραμέτρους και πρακτικές που αφορούν και προάγουν την πρόληψη, την ελαχιστοποίηση, την ανάκτηση και την ασφαλή διάθεση των αποβλήτων για τα οποία δεν υπάρχει δυνατότητα περαιτέρω αξιοποίησης (υπολείμματα), ενσωματώνοντας στο πλαίσιο της πολιτικής διαχείρισης αρχές όπως «η διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού» και ο «ρυπαίνων πληρώνει». Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή της πολιτικής που ακολουθείται (στη διαχείριση των αποβλήτων) πραγματοποιείται από τους τοπικούς φορείς αυτοδιοίκησης για το σύνολο των κατηγοριών των μη επικίνδυνων απόβλητων που παράγονται εντός του χωρικού τομέα αρμοδιότητάς του καθενός εξ' αυτών [19].

Με γνώμονα τη σταθεροποίηση της παραγωγής αποβλήτων και την επιτακτική ανάγκη της μείωσης της σε βάθος χρόνου, κρίθηκε απαραίτητη η υιοθέτηση δραστικών μέτρων σε επίπεδο αρμόδιων υπηρεσιών, παραγωγών και καταναλωτών. Μέσω του σχετικού νομοθετικού πλαισίου και αποσκοπώντας στην στήριξη του κρατικού μηχανισμού ώστε να μπορέσει να ανταποκριθεί στις ολοένα αυξανόμενες ανακύπτουσες ανάγκες της διαχείρισης των αποβλήτων, τέθηκαν με 15ετή ορίζοντα επίτευξης, οι ακόλουθοι στόχοι [19, 24]:

- Το 50% της συνολικής παραγωγής οικιακών αποβλήτων θα πρέπει μέσω εφαρμογής κατάλληλων πρακτικών να εκτρέπεται από την τελική διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής
- Μείωση της διατιθέμενης ποσότητας βιοαποδομήσιμων αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής κατά 65% τουλάχιστον
- Ανάπτυξη δικτύου υποδομών και εγκαταστάσεων αξιοποίησης και ανάκτησης υλικών από απόβλητα με χρήση περιβαλλοντικά ωφέλιμων τεχνολογιών
- Ανακύκλωση του 35% της συνολικά παραγόμενης ποσότητας αστικών απόβλητων

- Ανακύκλωση τουλάχιστον του 50% της συνολικής παραγωγής ΑΕΚΚ σε βάθος πενταετίας, με προοπτική σταδιακής αύξησης στο 85% σε βάθος δεκαπενταετίας
- Εξορθολογισμός των χώρων υγειονομικής ταφής με σταδιακή μείωση του αριθμού τους και μέσω εκσυγχρονισμού τους με σύγχρονες τεχνολογικά και περιβαλλοντικά ασφαλής εγκαταστάσεις διάθεσης
- Περιορισμός βάσει της ευρωπαϊκής νομοθεσίας των εκπομπών μεθανίου από ΧΥΤΑ σε ποσοστό 80%.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα ΑΕΚΚ αποτελούν για την ευρωπαϊκή ένωση ρεύμα αποβλήτων υψηλής προτεραιότητας ως προς τη διαχείρισή τους, επισημαίνεται ότι στην Ιρλανδία δεν έχουν τεθεί μέχρι σήμερα σε εθνικό επίπεδο ποσοτικοί στόχοι ως προς την ανακύκλωσή τους.

Στην προσπάθεια ενίσχυσης της ανακύκλωσης των ΑΕΚΚ επιδοτούνται από τα αρμόδια υπουργεία σε συνεργασία με τις κατά τόπους υπηρεσίες σχετικές επιχειρηματικές δραστηριότητες (π.χ. επιδότηση δημιουργίας μονάδων επεξεργασίας ΑΕΚΚ κ.α.).

1.5.8. Ιταλία

Σύμφωνα με μελέτη που διεξήχθη από το Ιταλικό Εθνικό Ινστιτούτο Προστασίας και Έρευνας του Περιβάλλοντος τα αποτελέσματα της οποίας ανακοινώθηκαν επίσημα τον Οκτώβριο του 2015, εκτιμάται ότι το 2012 παρήχθησαν συνολικά σε εθνικό επίπεδο περίπου 39 εκατ. τόνοι μη επικίνδυνων ΑΕΚΚ (Πίνακας 1.5.8-1) καταγράφοντας μείωση στην παραγωγή αποβλήτων του συγκεκριμένου ρεύματος κατά 10% σε σχέση με το 2010.

Παρόλο που η καταγραφή της παραγωγής ΑΕΚΚ σε ορισμένες περιοχές τις χώρας πραγματοποιείται σε ικανοποιητικό βαθμό σε ότι αφορά στην ανάλυση και λεπτομέρεια των δεδομένων δεν υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης των στοιχείων αυτών με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από τις εθνικές αναφορές των αρμόδιων υπηρεσιών. Αυτό οφείλεται στις διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της παραγωγής ΑΕΚΚ στην κάθε περιοχή [21].

Πίνακα 1.5.8-1. Παραγωγή αποβλήτων- Ιταλία 2012 (Πηγή: ISPRA).

Κατηγορία	Παραγόμενες ποσότητες για το 2012 (τόνοι)
Σιδηρούχα μέταλλα και σκραπ	4.153.033
Μη σιδηρούχα μέταλλα και σκραπ	499.442
Ανάμεικτα μέταλλα	140.422
Γυαλί	60.325
Πλαστικό	34.112
Ξύλο	151.407
ΑΕΚΚ	33.756.796
Σύνολο μη επικίνδυνων ΑΕΚΚ	**38.795.447**
Σύνολο επικίνδυνων ΑΕΚΚ	**854.526**

Βάσει της ίδιας έρευνας το 76% (Πίνακας 1.5.8-2) της προαναφερθείσας ποσότητας αποβλήτων ανακυκλώθηκε. Το μεγαλύτερο μέρος των μεταλλικής φύσεως υλικών που εμπεριέχονται στα ΑΕΚΚ ανακτώνται με μια μικρή απώλεια της τάξεως του 3% ποσότητα η οποία διατίθεται επίσης σε ΧΥΤΑ [21].

Στην Ιταλία δεν υπάρχει θεσμοθετημένο σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των πολιτικών διαχείρισης των αποβλήτων και κατεπέκταση των ΑΕΚΚ συγκαταλέγεται στις αρμοδιότητες των κατά τόπους περιφερειακών αρχών. Επειδή το θεσμικό πλαίσιο που εφαρμόζεται σε κάθε περιφερειακή ενότητα είναι πολύ γενικό και αφορά αρκετούς και διαφορετικούς τύπους αποβλήτων, έχουν καθοριστεί συγκεκριμένα κριτήρια για τη διαχείριση του ρεύματος των ΑΕΚΚ. Η συνολική αποτύπωση και ανάλυση των προγραμμάτων που έχουν υιοθετηθεί και τεθεί σε εφαρμογή σε κάθε μία από τις 20 περιφερειακές ενότητες της Ιταλίας δεν κατέστη εφικτή έως σήμερα [22]. Τα κριτήρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως ωστόσο, καθορίζονται στο Άρθρο 199 του νομοθετικού διατάγματος 152/2006. Μεταξύ αυτών προβλέπεται:

- Η θέσπιση μέτρων για τη μείωση της ποσότητας, του όγκου και της επικινδυνότητας των αποβλήτων
- Η θέσπιση μέτρων προστασίας του εδάφους και των υδάτων από την περιβαλλοντική ρύπανση που μπορεί να προκληθεί από την ταφή των αποβλήτων

- Ο καθορισμός όρων και προϋποθέσεων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή θέσεων κατασκευής υποδομών επεξεργασίας/ διάθεσης αποβλήτων
- Η καταμέτρηση και πλήρης καταγραφή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας που πρέπει να κατασκευαστούν σε κάθε περιφερειακή ενότητα, ώστε να διασφαλίζεται η ορθή εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων
- Η θέσπιση κίνητρων για την ενίσχυση και προώθηση της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και της ανάκτησης και ταυτόχρονα την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων
- Η θέσπιση μέτρων και κινήτρων προώθησης της συλλογής και διαχείρισης των αποβλήτων

Πίνακας 1.5.8-2. Ποσοστά Ανάκτησης/ Ανακύκλωσης αποβλήτων- Ιταλία 2012 (Πηγή: ISPRA)

Κατηγορία	Παραγόμενες ποσότητες (τόνοι)	Ανακτώμενες ποσότητες (τόνοι)	(%) Ποσοστό ανάκτησης
Σιδηρούχα μέταλλα και σκραπ	4.153.033	3.490.709	84%
Μη σιδηρούχα μέταλλα και σκραπ	499.442	343.546	69%
Ανάμεικτα μέταλλα	140.422	90.516	64%
Γυαλί	60.325	42.409	70%
Πλαστικό	34.112	7.082	21%
Ξύλο	151.407	78.533	52%
ΑΕΚΚ	33.756.796	25.245.403	75%
Σύνολο μη επικίνδυνων ΑΕΚΚ για τον υπολογισμό της στοχοθεσίας	**38.795.447**	**29.298.198**	**76%**

1.5.9. Πορτογαλία

Με το νομοθετικό διάταγμα 73/2011, τροποποιήθηκε και επανεκδόθηκε το εθνικό πλαίσιο της διαχείρισης αποβλήτων (διάταγμα 178/2006).

Μέσω του ανωτέρω ενσωματώνεται στην εθνική νομοθεσία το σύνολο των κατευθυντήριων οδηγιών που αφορούν στη διαχείριση των ΑΕΚΚ συμπεριλαμβανομένου του ποσοστού ανάκτησης 70% επί της συνολικής παραγωγής των εν λόγω αποβλήτων με ορίζοντα υλοποίησης το έτος 2020. Αντίστοιχες νομοθετικές ρυθμίσεις σχετικά με τις λεπτομέρειες της

διαχείρισης του ρεύματος των ΑΕΚΚ έγιναν και το 2009 (διάταγμα 46/2008) αποσκοπώντας στην προώθηση της ανακύκλωσης σε εναρμόνιση με τους στόχους που είχαν τεθεί μέσω του εθνικού σχεδίου διαχείρισης και παράλληλα στην δημιουργία κατάλληλων συνθηκών για την ορθή διαχείριση των αποβλήτων του κατασκευαστικού τομέα με γνώμονα κυρίως την προστασία του περιβάλλοντος από τη διάθεση επικινδύνων αποβλήτων. Με την ψήφιση των παραπάνω νομοθετημάτων δημιουργήθηκαν οι απαιτούμενες προϋποθέσεις μέσω της παροχής κινήτρων για (25):

- Την ιεράρχηση των δράσεων της διαχείρισης μέσω της προώθησης της επαναχρησιμοποίησης και της προ-διαλογής των ΑΕΚΚ στην πηγή
- Την προώθηση του διαχωρισμού των επιβλαβών και λοιπών μη αποδεκτών σε ΧΥΤΑ αποβλήτων πριν την τελική διάθεση
- Τη δημιουργία και εφαρμογή καινοτόμων διαχειριστικών πρακτικών
- Την εναρμόνιση με τα εθνικά και ευρωπαϊκά πρότυπα ανακύκλωσης

Παρόλα αυτά, εξαιτίας ποικίλων παραγόντων (π.χ. παγκόσμια οικονομική κρίση, μη επιβολή της εφαρμογής του νομοθετικού πλαισίου από τις αρμόδιες αρχές, περιορισμένη χρήση ανακυκλωμένων υλικών στις κατασκευές και τα έργα, υψηλό κόστος ορθής διαχείρισης των ΑΕΚΚ, απουσία νομοθετικού πλαισίου και τεχνικών προδιαγραφών για την επιλεκτική κατεδάφιση κλπ), ως αποτέλεσμα επήλθε η περιορισμένη και προβληματική εφαρμογή της εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΕΚΚ.

1.5.10. Ισπανία

Σύμφωνα με την εθνική στατιστική υπηρεσία της Ισπανίας εντός του 2012 παρήχθησαν 27 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ, όπως επιβεβαιώνεται και από τα δεδομένα της EUROSTAT. Σχεδόν το σύνολο αυτών αποτελείται από αδρανή απόβλητα με ένα μικρό ποσοστό της τάξεως του 1% αυτών να συγκαταλέγονται στα επικίνδυνα.

Εκ του συνόλου των παραγόμενων ΑΕΚΚ το 69% περίπου ανακυκλώθηκε ενώ το υπόλοιπο 21% κατά το ήμισυ επαναχρησιμοποιήθηκε σε εφαρμογές επιχώσεων/επιχωματώσεων ενώ το υπόλοιπο διατέθηκε σε ΧΥΤΑ (28). Παρά την εκ του νόμου θεσπισμένη υποχρέωση των

περιφερειακών αρχών να στέλνουν ετήσιες αναφορές με τα ποσοτικά δεδομένα παραγωγής και διαχείρισης ΑΕΚΚ στην εθνική στατιστική υπηρεσία με σκοπό την επαλήθευση των στοιχείων, προς το παρόν κάτι τέτοιο δεν έχει καταστεί εφικτό για ποικίλους λόγους. Μερικά από τα προβλήματα που εντοπίζονται σε ότι αφορά στη διαχείριση των ΑΕΚΚ είναι [28]:

- Η έλλειψη κανονιστικού πλαισίου ελέγχου των διαδικασιών επιλεκτικής κατεδάφισης και παροχής κινήτρων στους εμπλεκόμενους στην παραγωγή και στη διαχείριση των ΑΕΚΚ
- Η έλλειψη αγοραστικού ενδιαφέροντος για τα παράγωγα της επεξεργασίας των ΑΕΚΚ
- Η έλλειψη γνώσεων σχετικά με τα πλεονεκτήματα της χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών υλικών
- Το χαμηλό κόστος διάθεσης των ΑΕΚΚ σε ΧΥΤΑ.

Τα βασικά νομοθετήματα που καθορίζουν τις λεπτομέρειες της διαχείρισης των ΑΕΚΚ είναι, ο νόμος 10/1998 για τα απόβλητα που τροποποιήθηκε με τον νόμο 22/2011 «Περί αποβλήτων και μολυσμένου εδάφους», μέσω του οποίου εναρμονίστηκε η εθνική νομοθεσία με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2008/98 περί διαχείρισης αποβλήτων και το Βασιλικό Διάταγμα 105/2008, που πραγματεύεται ζητήματα σχετικά με την παραγωγή και τη διαχείριση των ΑΕΚΚ και συγκεκριμένα των αποβλήτων που προέρχονται από κατασκευές/κατεδαφίσεις/επισκευές. Βασικός σκοπός του ανωτέρω διατάγματος είναι να τονιστεί πως η πρόληψη, η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση των ΑΕΚΚ προσδίδει επιπλέον αξία στα υλικά αυτά, διασφαλίζοντας παράλληλα την πραγματοποίηση της διαχείρισης του συνόλου των αποβλήτων βάσει των αρχών της βιώσιμης ανάπτυξης και της διατήρησης των πόρων [29, 30]. Σε εθνικό επίπεδο όσο αφορά τη διαχείριση των ΑΕΚΚ εφαρμόζεται το Εθνικό Σχέδιο 2007-2015 στο οποίο καθορίζονται οι επιμέρους στόχοι σχετικά με την πρόληψη, την επαναχρησιμοποίηση και παράλληλα προτείνονται μεθοδολογίες και στρατηγικές ανάκτησης και τελικής διάθεσης των ΑΕΚΚ (31).

1.5.11. Βουλγαρία

Το 2012, ψηφίστηκε στη Βουλγαρία ένας νέος νόμος που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων. Με αυτόν ενσωματώθηκαν οι απαιτήσεις της Οδηγίας 2008/98 στο ήδη ισχύον (από το 1997) νομοθετικό πλαίσιο. Μετά την αναθεώρηση μέσω νομοθετικής πράξης το 2003, η πολιτεία της Βουλγαρίας εισήγαγε τον ορισμό την διαχείρισης αποβλήτων, αναδιατυπώνοντας αυτόν που είχε καθοριστεί με το παλαιότερο νομοθετικό πλαίσιο [49]. Η τελική διαμόρφωση του προαναφερθέντος πλαισίου πραγματοποιήθηκε το 2012 [50]. Κατά το ίδιο έτος, εκδόθηκε κυβερνητική διάταξη σχετική με την διαχείριση αποβλήτων ΕΚΚ, η οποία αποτέλεσε ουσιαστικά την πρώτη επίσημη νομοθετική πράξη της χώρας για την διαχείριση των συγκεκριμένων αποβλήτων. Με τη διάταξη αυτή καθορίζεται συγκεκριμένο πλαίσιο για τη διαχείριση των ΑΕΚΚ λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της συλλογής και επαναχρησιμοποίησης τους σε συνδυασμό με τις υποχρεώσεις των εμπλεκόμενων φορέων στην παραγωγή και διαχείριση τους.

Πριν το παραπάνω νομοθετικό πλαίσιο τεθεί σε ισχύ, οι φορείς του κατασκευαστικού κλάδου της χώρας δεν κατέγραφαν τις παραγόμενες εκ των δραστηριοτήτων τους ποσότητες ΑΕΚΚ εξαιτίας του ότι δεν υφίστατο υποχρέωση ενημέρωσης των αρμόδιων αρχών/υπηρεσιών σχετικά με την παραγωγή ΑΕΚΚ. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει επίσημη καταγραφή στοιχείων σχετικά με τις παραγόμενες ποσότητες ως το έτος αναφοράς [48].

Κατά το έτος 2013 σύμφωνα με την εθνική στατιστική αρχή τη Βουλγαρίας παρήχθησαν 1.543.900 τόνοι ΑΕΚΚ (Πίνακας 1.5.11-1). Παρατηρούνται ωστόσο στην καταγραφή αυτών των δεδομένων ανακρίβειες, που ενδεχομένως οφείλονται στον τρόπο με τον οποίο διαμορφώνονται τα τελικά στοιχεία σε εθνικό επίπεδο, ο οποίος βασίζεται σε παραδοχές κατά την υιοθέτηση των οποίων λαμβάνεται υπόψη πλήθος δεικτών (εισοδηματικοί δείκτες, πληθυσμιακοί δείκτες κλπ) με αποτέλεσμα να εμπεριέχεται σημαντικός βαθμός σφάλματος στα αποτελέσματα [48], καθιστώντας ανέφικτο τον ακριβή προσδιορισμό του ανακτώμενου ποσοστού.

Σημαντικά ζητήματα συνεχίζουν να υπάρχουν όσο αφορά στην ορθή περιβαλλοντική διαχείριση των ΑΕΚΚ στη χώρα. Τα κυριότερα από αυτά είναι [48]:

- Οι λανθασμένες πρακτικές διαχείρισης συμπεριλαμβανομένης και της παράνομής απόρριψης που εφαρμόζονται έως σήμερα
- Η ασάφεια και ανεπάρκεια του νομοθετικού και θεσμικού πλαισίου της διαχείρισης αποβλήτων και η έλλειψη σχετικών στρατηγικών, προγραμμάτων και εργαλείων διαχείρισης
- Η αδυναμία συντονισμού των εμπλεκόμενων φορέων (κυρίως αυτών του ιδιωτικού τομέα) στα θέματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ
- Η μη θέσπιση κινήτρων για την προώθηση της ανάκτησης των ΑΕΚΚ
- Η έλλειψη σχετικών οδηγιών και τεχνικών προδιαγραφών για την εκτίμηση των παραγόμενων ΑΕΚΚ κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός έργου (κατασκευής, επισκευής ή κατεδάφισης)
- Η περιορισμένη δυνατότητα ανακύκλωσης/ανάκτησης κυρίως λόγω του περιορισμένου αριθμού εγκαταστάσεων/υποδομών επεξεργασίας.

Πίνακας 1.5.11-1. Παραγόμενες ποσότητες ΑΕΚΚ στη Βουλγαρία 2013 (Πηγή: http://www.nsi.bg/en)

Κατηγορία	Παραγόμενες ποσότητες (τόνοι)
Γαιώδη ΑΕΚΚ	1.344.100
Μη επικίνδυνα ΑΕΚΚ	198.500
Επικίνδυνα γαιώδη υλικά	0.4
Επικίνδυνα ΑΕΚΚ	0.4
Σύνολο Επικινδύνων αποβλήτων	0.8
Σύνολο ΑΕΚΚ (συμπερ. Γαιωδών)	**1.543.900**

1.5.12. Ρουμανία

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί μέσω των σχετικών αναλύσεων και αναφορών [39], η διαθεσιμότητα (δεν υπάρχουν στοιχεία) ποσοτικών δεδομένων για τα απόβλητα ΕΚΚ, αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στη Ρουμανία (Πίνακας 1.5.12-1). Σε αυτό συμβάλουν μεταξύ άλλων η έλλειψη των απαραίτητων υποδομών και εγκαταστάσεων, τα πολύ χαμηλά τέλη διάθεσης των ΑΕΚΚ σε χώρους υγειονομικής ταφής, το μειωμένο αγοραστικό ενδιαφέρον για τα ανακυκλωμένα υλικά, τα κενά και οι ελλείψεις του εν ισχύ νομοθετικού πλαισίου διαχείρισης [36].

Σε νομοθετικό επίπεδο η διαχείριση των αποβλήτων διέπεται από τις διατάξεις της Απόφασης με αριθμό 856/2002 [36] της κυβέρνησης. Βάσει αυτής, γίνεται ο διαχωρισμός των αποβλήτων σε κατηγορίες συμπεριλαμβανομένης σε αυτές ειδικής χωριστής κατηγορίας για τα επικίνδυνα απόβλητα. Επιπροσθέτως με την Απόφαση με αριθμό 349/2005 [37] καθορίζεται το πλαίσιο της ταφής ήτοι, της τελικής διάθεσης αυτών των αποβλήτων. Συγκεκριμένα καθορίζονται τα κριτήρια επιλογής του τρόπου διάθεσης ανά κατηγορία αποβλήτου και προσδιορίζονται οι ελάχιστες υποχρεώσεις των παραγωγών/διαχειριστών ως προς την διάθεση αποβλήτων. Εισάγεται για πρώτη φορά πλαίσιο κυρώσεων για τις περιπτώσεις των παραγωγών που δεν συμμορφώνονται με τα ανωτέρω.

Οι δυο παραπάνω αποφάσεις τροποποιήθηκαν και συμπληρώθηκαν με την απόφαση 210/2007 με την οποία ενσωματώθηκε σε αυτές η κεκτημένη γνώση και εμπειρία των αρμόδιων φορέων της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος.

Πίνακας 1.5.12-1. Παραγωγή και ανάκτηση ΑΕΚΚ στη Ρουμανία (Πηγή: http://www.anpm.ro/).

Έτος	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Παραχθείσα ποσότητα ΑΕΚΚ (Τόνοι)	-	NOT AVAILABLE	-	952.668	-	1.330.069
Συλλεχθείσα ποσότητα ΑΕΚΚ (Τόνοι)	733.720	812.820	673.940	497.510	531.780	Υπό εξέλιξη
Ανάκτηση	6.820	23.150	84.150	145.900	253.550	Υπό εξέλιξη
Ανακύκλωση	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ανάκτηση μέσω επίχωσης	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Διάθεση σε ΧΥΤΑ	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Ανάκτηση Ενέργειας	NA	NA	NA	NA	NA	NA

1.5.13. Κροατία

Η διαχείριση των ΑΕΚΚ στην Κροατία πραγματοποιείται βάσει μιας γενικής ρυθμιστικής νομοθετικής πράξης (*Νομοθετική πράξη σχετικά με τη βιώσιμη διαχείριση αποβλήτων OG 94/13*), στο Άρθρο 53 της οποίας τα ΑΕΚΚ καθορίζονται ως ρεύμα αποβλήτων που χρίζει ειδικής μεταχείρισης. Επιπλέον στο Άρθρο 58 αυτής καθορίζεται το ύψος του τέλους απόθεσης των αποβλήτων αυτών σε χώρους τελικής διάθεσης και στο Άρθρο 59

καθορίζονται οι αρμοδιότητες και οι ευθύνες των εμπλεκομένων στην παραγωγή και διαχείριση των αποβλήτων του κατασκευαστικού τομέα [32]. Άλλες κανονιστικές νομοθετικές πράξεις (OG 38/08, OG 27/07, OG 89/08) ρυθμίζουν τις λεπτομέρειες επιμέρους ζητημάτων (πχ μέθοδοι διαχείρισης αποβλήτων που περιέχουν αμίαντο).

Η εθνική στρατηγική διαχείρισης αποβλήτων θεσπίστηκε από το Κροατικό Κοινοβούλιο το 2005 και αφορά στην περίοδο 2005-2025 (ορίζοντας εφαρμογής). Η στρατηγική αυτή συμπεριλαμβάνει την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης, τους προτεινόμενους ποσοτικούς στόχους και τα παρεχόμενα κίνητρα για την επίτευξη αυτών των στόχων, τον καθορισμό μεθόδων για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων και τις κατευθυντήριες οδηγίες για την ανάκτηση και διάθεση των αποβλήτων εν γένει. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνονται προτάσεις και κίνητρα σχετικά με [33]:

- Την Εκπαίδευση και ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων στις διαδικασίες της διαχείρισης ΑΕΚΚ,
- Μέτρα για την πρόληψη και τον περιορισμό της ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων από κατασκευαστικές δραστηριότητες σε ΧΥΤΑ και σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης,
- Τη βελτίωση των διαδικασιών ελέγχου της ροής των ΑΕΚΚ,
- Την εφαρμογή κανόνων για τη διαχείριση των αποβλήτων και ειδικότερα, όσο αφορά στην υποχρέωση του σχεδιασμού και της διαχείρισης των ΑΕΚΚ στις περιπτώσεις κατεδάφισης και ανακαίνισης αντίστοιχα (επιλεκτική κατεδάφιση, προδιαλογή κ.α.),
- Τη διεξαγωγή ελέγχου στους χώρους διάθεσης ΑΕΚΚ, ο οποίος θα βασίζεται στην ανάλυση στοιχείων για τις χωματερές, τους παράνομους χώρους διάθεσης αδρανών υλικών και όλους τους κλειστούς και αποκατεστημένους ΧΑΔΑ,
- Την εισαγωγή συστημάτων ανάκτησης για όλες τις κατηγορίες ΑΕΚΚ σε ποσοστό 80 % της συνολικής παραγωγής,
- Την ενίσχυση και προώθηση της χρήσης περιβαλλοντικά φιλικών δομικών υλικών,
- Τη διασφάλιση της ανάκτησης και της ανακύκλωσης της κατά το δυνατό μεγαλύτερης ποσότητας μέσω της παραγωγής δευτερογενών υλικών,

- Τη βελτίωση των διαδικασιών ξεχωριστής συλλογής και ανακύκλωσης συγκεκριμένων κατηγοριών ΑΕΚΚ και την κατασκευή υποδομών ανάκτησης και διάθεσης των αποβλήτων του ρεύματος αυτού που δεν επιδέχονται επιπλέον επεξεργασία (υπολείμματα επεξεργασίας).

Το 2007 υιοθετήθηκε το εθνικό σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων με χρονικό ορίζοντα υλοποίησης την περίοδο 2007-2015 [34], που εν συνεχεία τροποποιήθηκε το Νοέμβριο του 2010 και το Μάρτιο του 2011. Σε αυτό τέθηκαν ως επιμέρους στόχοι:

1. Η δημιουργία δικτύου διαχείρισης αποβλήτων που να καλύπτει συνολικά την επικράτεια της Κροατίας,
2. Η αύξηση της συλλεγόμενης ποσότητας μέσω διαχωρισμού,
3. Η αύξηση του ποσοστού επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης των υλικών που εμπεριέχονται στα ΑΕΚΚ,
4. Η προώθηση της προεπεξεργασίας των αποβλήτων πριν την τελική διάθεση,
5. Ο περιορισμός της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που διατίθενται μαζί με τα οικιακά απόβλητα,
6. Η εξαγωγή RDF από την διαχείριση των αποβλήτων,
7. Η σταδιακή ελάττωση των διατιθέμενων αποβλήτων σε ΧΥΤΑ,
8. Ο περιορισμός των δυσμενών επιπτώσεων που προκαλούνται από την διάθεση αποβλήτων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον,
9. Η αυτοχρηματοδότηση συστημάτων διαχείρισης για τα δημοτικά απόβλητα στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης.

Την 5 Ιανουαρίου του 2017 ψηφίστηκε από την Κροατική Κυβέρνηση το αναθεωρημένο σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων για την περίοδο 2017-2022 [35]. Η υιοθέτηση αυτού, αποτελεί βασική προϋπόθεση μεταξύ άλλων, για την απορρόφηση κονδυλίων σε δράσεις σχετικές με τη διαχείριση αποβλήτων μέσω Επιχειρησιακών Προγραμμάτων (λ.χ. Ανταγωνιστικότητα και Συνοχή 2014-2020).

1.5.14. Ουγγαρία

Τα συλλεχθέντα ΑΕΚΚ στην Ουγγαρία το 2013 ανήλθαν περίπου σε 3.8 εκατομμύρια τόνους (Πίνακας 1.5.14-1). Από την προαναφερθείσα ποσότητα, ποσοστό της τάξης του 63% ανακτήθηκε μέσω της επανάχρησης του σε εργασίες επιχώσεων/επιχωματώσεων. Η βασική αιτία που οδηγεί στην επιλογή της συγκεκριμένης πρακτικής οφείλεται στο γεγονός ότι, η χώρα δεν διαθέτει την απαιτουμένη κάλυψη σε μονάδες επεξεργασίας ΑΕΚΚ. Αυτό σε συνδυασμό με τα παραπάνω οδήγησε την ουγγρική κυβέρνηση στη διαπίστωση ότι απαιτείται η θέσπιση αυστηρότερων κανόνων και πλαισίου διαχείρισης για το συγκεκριμένο ρεύμα αποβλήτων [40]. Το τέλος ταφής που εισήχθη μέσω του εθνικού σχεδιασμού διαχείρισης αποβλήτων το 2013 με την Πράξη Νομοθετικού περιεχομένου CLXXXVI2012 [41], συνετέλεσε στην αύξηση της εκτρεπόμενης από την τελική διάθεση ποσότητας αποβλήτων. Έτσι από το συνολικό 91% των μη επικινδύνων ΑΕΚΚ που οδηγούνταν σε ΧΥΤΑ το 2004 πλέον μόνο το 19% καταλήγει σε αυτούς τους τελικούς αποδέκτες μετά την εφαρμογή του εν λόγω μέτρου. Η επικαιροποίηση του ορισμού και της κατηγοριοποίησης των αποβλήτων που είχε γίνει με προγενέστερες νομοθετικές και κανονιστικές πράξεις αποτυπώθηκε στον κανονισμό 2000XLIII περί διαχείρισης των αποβλήτων ο οποίος και εναρμονίστηκε πλήρως με τις απαιτήσεις της σχετικής ευρωπαϊκής οδηγίας. Ο συγκεκριμένος κανονισμός επικαιροποιήθηκε το 2012 και εν συνεχεία αντικαταστάθηκε με την Νομοθετική πράξη CLXXXVI.

Οι ειδικότεροι όροι και κανονισμοί της διαχείρισης των ΑΕΚΚ καθορίζονται μέσω του προεδρικού διατάγματος 45/2004 [43], νεότερη έκδοση του οποίου βρίσκεται υπό διαβούλευση.

Το εθνικό σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων 2014-2020 στο οποίο ενσωματώθηκαν τα συμπεράσματα, η τεχνογνωσία και η εμπειρία από την αντιμετώπιση των προβλημάτων που εντοπίστηκαν κατά την υλοποίηση του σχεδίου της προηγούμενης περιόδου (2003-2008) σε συνδυασμό με το εν ισχύ νομοθετικό πλαίσιο ρυθμίζει τις λεπτομέρειες της διαχειριστικής διαδικασίας [46] και έχει κυρωθεί από το ουγγρικό κοινοβούλιο με την ψήφιση της Κυβερνητικής διάταξης 2055/2013.

Οι επιμέρους στόχοι της εθνικής στρατηγικής διαχείρισης καθορίζονται από το Εθνικό Σχέδιο Πρόληψης Αποβλήτων το οποίο αποτελεί ξεχωριστό τμήμα του εθνικού σχεδίου διαχείρισης στο οποίο τίθενται μέτρα για την επίτευξη των στόχων αναφορικά με την πρόληψη παραγωγής αποβλήτων.

Ο ποσοτικός στόχος που τίθεται στον εθνικό σχεδιασμό πρόληψης και διαχείρισης αποβλήτων για τα ΑΕΚΚ που επαναχρησιμοποιούνται, ανακυκλώνονται και ανακτώνται ορίζεται σε ποσοστό 70% τουλάχιστον (επί των παραγόμενων) έως το 2020. Τα μέτρα που έχει αποφασιστεί να τεθούν σε εφαρμογή προς την κατεύθυνση αυτή είναι:

- Η προώθηση και αύξηση της χρήσης προϊόντων που έχουν ως βασικό υλικό τα ΑΕΚΚ μέσω της δημιουργίας των κατάλληλων συνθηκών στην ευρύτερη αγορά,
- Η θέσπιση/εφαρμογή οδηγιών και προτύπων για την προώθηση της επιλεκτικής κατεδάφισης,
- Η αύξηση της δυναμικότητας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας ΑΕΚΚ μέσω της παροχής κατάλληλων κινήτρων (επιδότηση κατασκευής νέων εγκαταστάσεων, επέκταση υφιστάμενων),
- Η θέσπιση και υποχρεωτική εφαρμογή νέου θεσμικού και νομοθετικού πλαισίου διαχείρισης,
- Η δημιουργία οικονομικών και νομικών εργαλείων μέσω των οποίων θα υποστηρίζεται και θα προωθείται η χρήση ανακυκλωμένων ΑΕΚΚ στις κατασκευαστικές εφαρμογές [40, 46].

Πίνακας 1.5.14-1. Παραγωγή και ανάκτηση ΑΕΚΚ στη Ουγγαρία (Πηγή: http://ec.europa.eu/eurostat/).

Έτος	2009	2010	2011	2012	2013
Παραχθείσα ποσότητα ΑΕΚΚ (Τόνοι)	3.925.562	4.166.936	4.415.406	3.808.739	3.772.150
Διατιθέμενα ΑΕΚΚ σε ΧΥΤΑ (Τόνοι)	1.897.080	1.232.657	2.076.371	757.639	708.909
Ποσοστό (%) διατιθέμενων σε ΧΥΤΑ	**48**	**30**	**47**	**20**	**19**
Ανάκτηση (Τόνοι)	2.072.768	2.933.919	2.338.761	3.050.797	3.062.943
Ποσοστό (%) ανάκτησης	52	70	53	80	81
Αξιοποιήσιμα προς ανάκτηση ενέργειας (τόνοι)	332	182	75	134	58
Ποσοστό (%) πραγματικής αξιοποίησης προς ανάκτηση ενέργειας	0	0	0	0	0
Αξιοποιήσιμα προς καύση (τόνοι)	382	178	198	169	240
Ποσοστό (%) πραγματικής αξιοποίησης προς ανάκτηση ενέργειας	0	0	0	0	0

1.5.15. Εσθονία

Η Εσθονία είναι μια από τις λίγες χώρες που κατάφερε να επιτύχει υψηλά ποσοστά όσον αφορά στην ανακύκλωση των αποβλήτων ΕΚΚ και έχει ήδη καλύψει τις απαιτήσεις και κατά συνέπεια και το στόχο που τίθεται από την σχετική Ευρωπαϊκή Οδηγία. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 2011 επετεύχθη ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70% [44]. Εξ' αυτών βάσει στοιχείων του Υπουργείου Περιβάλλοντος σχεδόν το σύνολο των ανακτώμενων υλικών προωθήθηκαν σε εφαρμογές επιχώσεων/επιχωματώσεων.

Το νομικό πλαίσιο που διέπει την διαχείριση των αποβλήτων καθορίζεται από τη Νομοθετική Πράξη RTI 2004,52 [45] όπως αυτή έχει τροποποιηθεί και ισχύει. Σε αυτήν έχουν ενσωματωθεί όλες οι ισχύουσες περιβαλλοντικές οδηγίες που άπτονται θεμάτων της διαχείρισης και της διάθεσης αποβλήτων, της ελεύθερης πρόσβασης στην περιβαλλοντική πληροφορία και άλλες με τις οποίες ρυθμίζονται οι οιεσδήποτε επιμέρους λεπτομέρειες για όλα τα παραπάνω [44].

Ειδικότερα για τα ΑΕΚΚ το ως άνω θεσμικό πλαίσιο δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένους όρους και συγκεκριμένες μεθόδους σε ότι έχει να κάνει με την επεξεργασία τους. Καθορίζει όμως το γενικότερο πλαίσιο αυτής λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις της οδηγίας 2008/98

της ΕΕ σε ότι αφορά στην ιεράρχηση των δράσεων στο πλαίσιο των εφαρμοζόμενων στρατηγικών διαχείρισης [45].

Το νέο εθνικό σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων της Εσθονίας για την περίοδο 2014-2020 [47] θέτει ως κυρίαρχο στόχο την μείωση των τελικώς διατιθέμενων αποβλήτων κατά το μέγιστο δυνατό ποσοστό. Σχετικά με τη διαχείριση των ΑΕΚΚ εστιάζει στις δυνατότητες ανάκτησης του μεγαλύτερου μέρους της παραγόμενης ποσότητας αυτών [47].

1.5.16. Κύπρος

Παρά την ύπαρξη καθορισμένου θεσμικού πλαισίου για την διαχείριση των αποβλήτων, η ανακύκλωση των ΑΕΚΚ στην Κύπρο παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα που περιορίζουν σε χαμηλά επίπεδα την απόδοσή της ως προς την επίτευξη της στοχοθεσίας.

Τεράστιες ποσότητες αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις το ακριβές μέγεθος των οποίων δεν μπορεί να εκτιμηθεί λόγω της ελλιπούς καταγραφής απορρίπτονται σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης, χωρίς τον απαιτούμενο περιβαλλοντικό σχεδιασμό και σε κάποιες περιπτώσεις χωρίς την απαιτούμενη περιβαλλοντική αδειοδότηση.

Η ελλιπής παρακολούθηση της εφαρμογής των ορθών πρακτικών ανακύκλωσης έχει ως αποτέλεσμα οι αρμόδιοι φορείς να μην διαθέτουν ποσοτικά δεδομένα, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτός ο ακριβής προσδιορισμός των ΑΕΚΚ που επαναχρησιμοποιούνται σε διαμορφώσεις εδαφών στο χώρο παραγωγής τους, αφού βάσει της ευρωπαϊκής νομοθεσίας αυτά δεν συνυπολογίζονται στην σχετική στοχοθεσία [51].

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Eurostat το 2012 παρήχθησαν περίπου 142 χιλιάδες τόνοι ΑΕΚΚ, 62 χιλιάδες εκ των οποίων ανακτήθηκαν (Πίνακας 1.5.16-1) με την υπόλοιπη ποσότητα να οδηγείται προς διάθεση σε ΧΥΤΑ [51].

Και στην περίπτωση της Κύπρου, η οικονομική κρίση και οι συνέπειες της στον κατασκευαστικό τομέα, οδήγησαν στην μείωση της παραγωγής ΑΕΚΚ. Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία της Διεθνούς Στατιστικής Αρχής, το ποσοστό ανακύκλωσης για το συγκεκριμένο ρεύμα ανήλθε για το 2012 στο 59%. Ωστόσο τα αντίστοιχα στοιχεία που παρατίθενται στις ετήσιες εκθέσεις των συστημάτων ανακύκλωσης ΑΕΚΚ στη χώρα δεν επιβεβαιώνουν τα παραπάνω. Σύμφωνα με αυτές το ανωτέρω ποσοστό δεν ξεπερνά το 48%. Στην περίπτωση

δε που αφαιρεθούν οι ποσότητες των αποβλήτων που δεν συνυπολογίζονται στη στοχοθεσία (κωδικοί ΕΚΑ 17 05 06 και 17 05 04) βάσει της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, η ανάκτηση περιορίζεται σε ακόμη χαμηλότερο ποσοστό το οποίο μετά βίας αγγίζει το 15% [52].

Πίνακας 1.5.16-1. Παραγωγή και ανάκτηση ΑΕΚΚ στην Κύπρο (Πηγή: http://ec.europa.eu/eurostat/).

Κατηγορία	Παραγόμενες ποσότητες (τόνοι)	Ανακτώμενες ποσότητες (τόνοι)	(%) Ποσοστό ανάκτησης
Μη επικίνδυνα ΑΕΚΚ	142.200	83.400	59%

Σε αντιστοιχία με την Ελλάδα, οι φορείς του κατασκευαστικού κλάδου υποχρεούνται να συμβάλλονται με συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ για την διασφάλιση της ορθής επεξεργασίας και διάθεσης των αποβλήτων που παράγονται από τις δραστηριότητες τους. Οι αρμοδιότητες των εν λόγω συστημάτων είναι πανομοιότυπες με αυτές των ΣΣΕΔ ΑΕΚΚ που δραστηριοποιούνται στη χώρα μας.

Το νομικό πλαίσιο που διέπει την εναλλακτική διαχείριση των κατασκευαστικών αποβλήτων καθορίζεται από το Νόμο Περί Αποβλήτων του 2011 [53], η τελευταία τροποποίηση του οποίου πραγματοποιήθηκε με τον Νόμο Περί Αποβλήτων του 2016 [54]. Μέσω των νομοθετημάτων αυτών ενσωματώθηκαν σταδιακά οι απαιτήσεις της Οδηγίας 2008/98 στην κυπριακή νομοθεσία για το σύνολο των κατηγοριών των αποβλήτων.

Τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει η κυπριακή πολιτεία στην εφαρμογή και ανάπτυξη της εναλλακτικής διαχείρισης συνοψίζονται στην [51]:

- λανθάνουσα νοοτροπία των φορέων του κατασκευαστικού κλάδου εξαιτίας της ελλιπούς γνώσης, εκπαίδευσης και ενημέρωσης γύρω από τα ζητήματα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος,
- απουσία ολοκληρωμένου δικτύου μεταφοράς και εγκαταστάσεων επεξεργασίας
- έλλειψη παρεχόμενων κινήτρων ενίσχυσης και προώθησης της ανακύκλωσης, της επαναχρησιμοποίησης και της ανάκτησης των ΑΕΚΚ,
- έλλειψη πολιτικής βούλησης για την επίλυση των προβλημάτων της διαχείρισης των αποβλήτων και ειδικότερα των προερχόμενων από τον κλάδο των κατασκευών.

1.5.17. Λιθουανία

Η διαχείριση των ΑΕΚΚ στην Λιθουανία ενισχύθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια με την έκδοση της υπουργικής διάταξης με αριθμό D1-637 από το λιθουανικό Υπουργείο Περιβάλλοντος «για τους κανόνες διαχείρισης των αποβλήτων κατασκευών» [55], μέσω της οποίας καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται κατά την διαχείριση αυτών. Το εν γένει νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης διαμορφώθηκε με το Νόμο για τη Διαχείριση των Αποβλήτων [56] ο οποίος τροποποιήθηκε τελευταία φορά το 2014. Μέσω του ως άνω νομοθετήματος καθορίζονται οι επιμέρους λεπτομέρειες και ειδικότερες απαιτήσεις όσον αφορά στην πρόληψη παραγωγής αποβλήτων, στη συλλογή, στη μεταφορά, στην αποθήκευση κλπ με γνώμονα την διασφάλιση της δημόσιας υγείας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Παράλληλα με την θέσπιση (μέσω σχετικού νομοθετήματος) της επιβολής περιβαλλοντικών φόρων και προστίμων σε περιπτώσεις πρόκλησης περιβαλλοντικής μόλυνσης [57,58] οι εμπλεκόμενοι στον κατασκευαστικό κλάδο ενθαρρύνονται για την ανάπτυξη και εφαρμογή φιλικών προς το περιβάλλον διαχειριστικών πρακτικών. Επιπρόσθετα μέσω του κανονισμού διαχείρισης αποβλήτων που έχει εκδοθεί από την λιθουανική πολιτεία καθορίζονται ρητά τα πρόσθετα μέτρα που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τα διάφορα στάδια της επεξεργασίας των ΑΕΚΚ λαμβάνοντας υπόψη τις προϋποθέσεις διαχείρισης που έχουν καθοριστεί για τα απόβλητα αυτού του τύπου [59].

Τα μόνα επίσημα διαθέσιμα δεδομένα που υπάρχουν για την παραγωγή και την διαχείριση ΑΕΚΚ είναι αυτά που παρατίθενται από τη Eurostat στην επίσημη ιστοσελίδα της (Πίνακας 1.5.17-1).

Πίνακας 1.5.17-1 Ανάκτηση αποβλήτων-Λιθουανία 2012 (Πηγή: http://ec.europa.eu/eurostat/).

Κατηγορία	Παραγόμενες ποσότητες (τόνοι)	Ανάκτηση (%)	(%) Ανάκτησης	(%) Επανεπίχωση	(%) Καύση	(%) Τελική διάθεση
Μη επικίνδυνα ΑΕΚΚ	457.036	74	14.5	14.5	0	11.5
Επικίνδυνα ΑΕΚΚ	0.227	0	5	0	100	0
Σύνολο	**457.263**	**74**	**14.5**	**14.5**	**0**	**11.5**

1.6. Υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης ΑΕΚΚ σε χώρες εκτός Ε.Ε.

1.6.1. Κίνα

Η ετήσια παραγωγή ΑΚΚ της Κίνας αποτελεί περίπου το 30%-40% της αντίστοιχης παγκοσμίου παραγωγής ανερχόμενη σε 1.130 εκατομμύρια τόνους [67, 68]. Σύμφωνα με έρευνες, τα μη αξιοποιήσιμα υλικά των ΑΚΚ καταλήγουν συνήθως σε ΧΥΤΑ κατόπιν χειρο-διαλογής και ανακύκλωσης των μεταλλικών και των άθικτων δομικών υλικών (τούβλα, πλακάκια, σιδηρούς οπλισμός κλπ). Παρόλα αυτά μερίδα ιδιοκτητών, εργολάβων κατεδαφίσεων και συλλεκτών-μεταφορέων αποβλήτων, προβαίνουν σε ακατάλληλες μεθόδους σε ότι αφορά στη διάθεση αυτών σε παράνομους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης έτσι ώστε να αποφύγουν τα υψηλά κόστη μεταφοράς και νόμιμης απόθεσης τα οποία χρεώνονται από θεσμοθετημένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διάθεσης. Τα αντίμετρα σε ότι αφορά στη διαχείριση των ΑΚΚ στην Κίνα από την συλλογή ως την τελική διάθεση είναι ημιτελή σε σύγκριση με αυτά που έχουν θεσπιστεί και εφαρμόζονται για τα αστικά απόβλητα. Ελάχιστες πόλεις οι οποίες είναι ανεπτυγμένες οικονομικά (Πεκίνο, Σαγκάη) έχουν αναπτύξει δράσεις διαχείρισης των ΑΚΚ. Η ισχύουσα (επί της διαχείρισής αυτών) κανονιστική νομοθεσία ωστόσο εξαιτίας της περιορισμένης αυστηρότητας και της μη υποχρεωτικότητας ως προς την εφαρμογή της, θέτει σημαντικούς περιορισμούς στην περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση του συνόλου των ΑΕΚΚ [62]. Η πρώτη νομοθετική πράξη για την ρύθμιση θεμάτων διαχείρισης αποβλήτων κατασκευής και υπολειμμάτων κατασκευής τέθηκε σε ισχύ το 2003. Μέσω αυτού πέραν του προσδιορισμού των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων καθορίστηκαν και άλλα ζητήματα που σχετίζονται με αυτά. Εν συνεχεία το 2005, το αρμόδιο υπουργείο θέσπισε και ενεργοποίησε τον πρώτο νόμο με τίτλο Διαχείριση Αστικών Αποβλήτων Κατασκευής και έθεσε σε ισχύ το νομοθετικό πλαίσιο για την πρόληψη της μόλυνσης εκ των στερεών αποβλήτων [65]. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω εκτιμάται ότι τα ποσοστά ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων ΑΚΚ στην ασιατική χώρα μετά βίας πλησιάζουν σε κάποιες περιοχές της το 5% [63].

1.6.2. Ηνωμένες Πολιτείες

Οι Ηνωμένες Πολιτείες όπως και η Κίνα, εξαιτίας του τεράστιου οικονομικού μεγέθους τους ως χώρα αντιμετωπίζουν τεράστιες προκλήσεις στην διαχείριση των ΑΚΚ. Σε αυτό συντελεί η ραγδαία ανάπτυξη του κατασκευαστικού κλάδου και η έντονη αστικοποίηση από την οποία χαρακτηρίζονται οι δυο αυτές χώρες. Το 30% της ετήσιας παραγωγής ΑΚΚ παγκοσμίως βάσει εκτιμήσεων θεωρείται πως παράγεται στις ΗΠΑ και υπολογίζεται σε 569 εκατομμύρια τόνους [64]. Συγκριτικά με την Κίνα το ποσοστό ανακύκλωσης είναι υψηλό ανερχόμενο κατά προσέγγιση στο 70% επί της προαναφερθείσας παραγωγής.

Το νομικό πλαίσιο που διέπει την διαχείριση των αποβλήτων στις ΗΠΑ βασίζεται στην νομοθετική πράξη 165 περί «Διάθεσης στερεών αποβλήτων» που ψηφίστηκε από 8 πολιτείες του νότου και με την οποία εγκαθιδρύθηκε αρχικά το ισχύον καθεστώς της διάθεσης στερεών αποβλήτων και μετά από διαδοχικές τροποποιήσεις έλαβε την σημερινή του μορφή [65].

1.6.3. Αυστραλία

Η ταχεία ανάπτυξη του κλάδου των κατασκευών τα τελευταία χρόνια στην Αυστραλία οδήγησε όπως ήταν αναμενόμενο στην αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Σύμφωνα με τις τελευταίες στατιστικές καταγραφές η παραγωγή ΑΚΚ στην χώρα υπολογίζεται σε 20 εκατομμύρια τόνους εκ των οποίων το 33% διατίθεται σε ΧΥΤΑ. Η αποτυχία εφαρμογής ενός αποδοτικού σχεδιασμού διαχείρισης των αποβλήτων του κατασκευαστικού τομέα θα είχε ως αποτέλεσμα έμμεσες επιπτώσεις κοινωνικού, οικονομικού και περιβαλλοντικού χαρακτήρα. Κατά συνέπεια η ορθή διαχείριση τους αποτέλεσε και αποτελεί για την πολιτεία της Αυστραλία, ζήτημα υψίστης σημασίας. Η αποδοτικότητα της εφαρμοζόμενης διαχειριστικής πρακτικής είναι εξαρτημένη σε μεγάλο βαθμό από την σχετιζόμενη με αυτή νομοθεσία και ειδικότερα με την ομαλή και ορθή εφαρμογή της. Τα υπάρχοντα νομικά εργαλεία εφαρμόζονται με σκοπό να βελτιώσουν και παράλληλα να ενθαρρύνουν τους εμπλεκόμενους να συμμορφωθούν με το ρυθμιστικό περιβάλλον που έχει θεσπιστεί σε ότι αφορά στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων γενικά

αλλά και των αποβλήτων που προκύπτουν από οικοδομικές και κατασκευαστικές δραστηριότητες ειδικότερα [66].

1.7. Συμπεράσματα επί της διαχείρισης ΑΕΚΚ στις χώρες μέλη της ΕΕ και σε άλλες χώρες.

Παρά τις προσπάθειες που έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο σε ότι αφορά στη θέσπιση του απαιτούμενου νομικού πλαισίου, την ανάπτυξη κανόνων και την εφαρμογή στρατηγικών με σκοπό την προώθηση και ενίσχυση της εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΕΚΚ τα μέτρα που ελήφθησαν και εφαρμόζονται δεν έχουν προς το παρόν αποδώσει τα προσδοκώμενα αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις.

Σε αυτό κομβικό ρόλο έπαιξε, η έλλειψη και σε ορισμένες περιπτώσεις η παντελής απουσία θεσπισμένων κινήτρων τα οποία να ωθούν ουσιαστικά τους εμπλεκόμενους στην παραγωγή ΑΕΚΚ προς την υιοθέτηση διαχειριστικών μεθόδων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης και παράλληλα, η απουσία σαφούς και υποχρεωτικού θεσμικού πλαισίου μέσω του οποίου να είναι δυνατή η επιβολή σχετικών κυρώσεων στους παραβάτες εφαρμογής των προβλεπόμενων σε αυτό.

Εξίσου σημαντική παράμετρο αποτελεί το περιορισμένο αγοραστικό ενδιαφέρον που υπάρχει για τα υλικά αυτά, γεγονός που τεκμηριώνεται από τις εφαρμογές στις οποίες τελικά αξιοποιούνται (στην πλειοψηφία των περιπτώσεων σε επιχώσεις και επιχωματώσεις).

Τα τεράστια επίσης κοστολόγια συλλογής, μεταφοράς και διάθεσης των ΑΕΚΚ δεν κατάφεραν να στρέψουν προς την εναλλακτική διαχείρισή τους. Τουναντίον, εξώθησαν κατασκευαστές, εργολάβους και λοιπούς εμπλεκόμενους στην παραγωγή και διαχείριση των ΑΕΚΚ, στην παράνομή και περιβαλλοντικά ζημιογόνα για το περιβάλλον διάθεσή τους, αναιρώντας με αυτό τον τρόπο την κάθε προσπάθεια που επιχειρήθηκε μέσω της θέσπισης νομικών κατευθύνσεων και πλαισίων σε ότι αφορά τις διαδικασίες αυτές.

Η απουσία ελεγκτικών μηχανισμών και ελέγχων για την πιστή τήρηση κι εφαρμογή του σχετικού νομοθετικού πλαισίου διαχείρισης των ΑΚΚ αποτελεί την αιτία λόγω της οποίας το σύνολο των σχετικών νομοθετημάτων και ρυθμίσεων κατέστη ουσιαστικά σε πολλές χώρες ανεφάρμοστο.

Παρά την αξιοσημείωτη ελαχιστοποίηση των ΑΚΚ που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ, οι διατιθέμενες στους ανωτέρω χώρους ποσότητες συνεχίζουν να παραμένουν υψηλές. Σε αυτό συντελούν η ελλιπής ενημέρωση όλων όσων δραστηριοποιούνται σε επαγγέλματα που σχετίζονται με την παραγωγή και την διαχείριση των ΑΚΚ ως προς, την επιλεκτική κατεδάφιση, την προδιαλογή υλικών και άλλες μεθόδους οι οποίες θα μπορούσαν να μειώσουν δραστικά τον όγκο των αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής ή σε αντίστοιχους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης.

Ακόμα και σήμερα δεν έχουν διερευνηθεί οι δυνατότητες εναλλακτικής αξιοποίησης των ΑΚΚ όπως για παράδειγμα, η χρήση αυτών στην κατασκευή νέων δευτερογενών υλικών τα οποία να είναι κατάλληλα προς χρήση σε δομικές εφαρμογές. Η συγκεκριμένη εναλλακτική όπως φαίνεται ενδεχομένως αποτελεί προς ώρας την μόνη αποτελεσματική λύση μέσω της οποίας θα αναστραφεί η προαναλυθείσα κατάσταση, οδηγώντας σε κατακόρυφη αύξηση των ποσοστών ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των υλικών αυτών, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις απαιτήσεις εξόρυξης πρώτων υλών για την παραγωγή νέων δομικών και κατασκευαστικών υλικών συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος και στην αειφορική διαχείριση των πόρων.

Βιβλιογραφία 1ου Κεφαλαίου

1. Α. Ανδρεαδάκης, *Έργα διαχείρισης στερεών αποβλήτων - Σχεδιασμός Έργων Υποδομής και Προστασίας Περιβάλλοντος*, Τόμος Β, Πάτρα 2000, ΕΑΠ.

2. Ε. Νταρακάς*, Σημειώσεις στο μάθημα Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων* Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2013.

3. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης, EOAN, 2017URL: https://www.eoan.gr/el/content/364/etisia-ekthesi-eoan-2014

4. Ανατολική Αναπτυξιακή Α.Ε., *Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (Α.Ε.Κ.Κ.)*, Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης Αναπτυξιακή Εταιρία Θεσσαλονίκης, 2008.

5. European Commission, DG, Environment, Waste Policies, «Construction and Demolition Waste Management and their Economic Impacts», Report to DGXI, European Commission, Symonds, ARGUS, COWI and PRC Bowcentrum, 1999.

6. SEPA, Swedish Environmental Protection Agency, *«Evaluation of green taxes»*, 1997.

7. Α. Δημούδη, *Οικολογικά Δομικά Υλικά,* Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Περιβαλλοντικού και Ανθρωπογνωστικού Σχεδιασμού, Ξάνθη, 2010

8. Swedish National Board of Housing, Building and Planning, *Legislation Planning and Building Act (2010:900) Planning and Building Ordinance (2011:338)*, 2016

9. TuTech Innovation GmbH, 2006d, Construction and Demolition Waste Management in Sweden. Construction Waste Management in Sri Lanka (COWAM) Project Report, Hamburg, Germany, June 2006.

10. EuropeanCommission,2001a,Council Directive 2001/573/EC amending Decision 2000/532/EC as regards the list of wastes, Brussels, 16 January 2001.

11. European Commission, 2001c, Council Directive 2001/118/EC amending Decision 2000/532/EC as regards the list of wastes, Brussels, 23 July 2001.

12. Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2003 Ordinance on the Management of Municipal Wastes of Commercial Origin and Certain Construction and Demolition Wastes (Commercial Wastes Ordinance- CWO), Germany January 2003.

13. TuTech Innovation GmbH, 2006b. Construction and Demolition Waste Management in Germany, Construction Waste Management in Sri Lanka (COWAM) Project Report, Hamburg, Germany, October 2006.

14. Ελληνική Δημοκρατία, Νόμος 2939/2001, Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων, Εφημερίδα της Κυβέρνησης, ΦΕΚ 179/Α/6-8-2001

15. Ελληνική Δημοκρατία, ΚΥΑ 36259/2010, Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ), Εφημερίδα της Κυβέρνησης, ΦΕΚ 1313/Β/24-8-2010

16. DEPA 1999b, Waste 21, Waste management Plan 1998-2004, Danish Environmental Protection Agency

17. DEPA 2004. Waste Strategy 2005-08, Danish Environmental Protection Agency

18. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2001. Construction and Demolition Waste – Waste in the Netherlands. Directorate – General for Environment Protection, the Netherlands, June 2001.General for Environment Protection, the Netherlands, June 2001.

19. Department of the Environment and Local Government (DELG). 1998. «A Policy Statement: Waste Management, changing our ways», September 1998. http://www.environ.ie

20. Α.Δ. Σκορδίλης, *Τεχνολογίες Ανακύκλωσης Αποβλήτων*, Εκδόσεις Μπαρμπουνάκης Θεσσαλονίκη, 2017.

21. ISPRA 2014, Rapporto rifiuti specialie di zione 2014 – Capitolo monitoraggio di specificiflussi di rifiuti, http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-speciali-edizione2014/08_Capitolo%203_MonitoraggioFlussi.pdf

22. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Italy, V2-October 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Italy_Factsheet_Final.pdf

23. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in United Kingdom, V2-September 2015 (Revised 27-1-2016), http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_UK_Factsheet_Final.pdf

24. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Ireland, V2-September 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Ireland_Factsheet_Final.pdf

25. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Portugal, V2-September 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Portugal_Final.pdf

26. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Denmark, V2-September 2015,http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Denmark_Factsheet_Final.pdf

27. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Sweden, V2-September 2015,

http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Sweden_Factsheet_Final.pdf

28. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Spain, V2- 31/8/2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Spain_Factsheet_Final.pdf

29. Agencia Estatal Boletín Oficial Del Estado: Ley 22/2011, De 28 De Julio, De Residuos Y Suelos Contaminados, BOE.es. N.P., n.d. Web. 31 May 2015.http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-13046

30. Real Decreto 105/2008, De 1 De Febrero, Por El Que Se Regula La Producción Y Gestión De Los Residuos De Construcción Y Demolición, Noticias Jurídicas. N.P., 13 Feb. 2008.http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rd105-2008.html#a2

31. 2007-2015 PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (PNIR) (2007): n. pag. Web. http://www.icog.es/files/PNIR3.pdf

32. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Croatia, V2- September 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Croatia_Factsheet_Final.pdf

33. Croatian Parliament 2005, Croatian Waste Management Strategy, October 2005.

34. Government of the Republic of Croatia, Waste Management Plan of Croatia for the period from 2007-2015, 19 July 2007.

35. Government of the Republic of Croatia, Waste Management Plan of Croatia for the period 2017-2021, 5 January 2017.

36. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Romania, V2- September 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Romania_Factsheet_Final.pdf

37. Government of Romania decision no.349/2005 Legal framework for landfilling of waste, 2005, http://www.mmediu.ro/beta/wp-content/uploads/2012/05/2012-05-17_hg_349_2005.pdf

38. Government of Romania decision no. 210/2007 Amending and Completing some normative acts transposing EC legislative framework in the field of environmental protection environment , 2007,http://www.mmediu.ro/beta/wp-content/uploads/2012/05/2012-05-21_HG_210_2007.pdf

39. Ministerul Mediului, Agenția Națională pentru Protecția Mediului, 2013, http://www.anpm.ro/web/guest/acasa

40. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Hungary, V2- September 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Hungary_Factsheet_Final.pdf

41. Waste Law 2012 Act CLXXXVI, http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A1200185.TV#lbj0idae49

42. Parliament of the Republic Of Hungary (2000), Waste Management Law 2000 XLIII, http://www.szennyviztudas.bme.hu/files/2000i_43%20t%C3%B6rv%20hullad%C3%A9kgazd%C3%A1lkod%C3%A1sr%C3%B3l.pdf

43. 45/2004, (VII.26), BM-KvVM Joint Decree on the detailed rules for the management of construction and demolition waste,http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0400045.BM

44. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste management in Estonia, V3 – December 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Estonia_Factsheet_Final.pdf

45. Republic of Estonia State Gazette(RT), Waste Act (RT 2004, 9, 52), 2004, https://www.riigiteataja.ee/en/eli/ee/511032015001/consolide

46. Országos Hulla dé kgazdál kodási Terv 2014 -2020 http://videkstrategia.kormany.hu/download/c/96/90000/Orszagos%20Hulladekgazdalkodasi%20Terv%202014-2020.pdf

47. Republic of Estonia, National Waste Management Plan 2014-2020, http://www.envir.ee/sites/default/files/riigi_jaatmekava_2014-2020.pdf

48. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste management in Bulgaria, 2014,http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Bulgaria_Factsheet_Final.pdf

49. Republic of Bulgaria, Ministry of Energy, Waste Management Act 2003, https://www.me.government.bg/en/library/waste-management-act-342-c25-m258-1.html

50. Republic of Bulgaria, Ministry of Energy, Waste Management Act 2012, https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/pp/compliance/Communications/Bulgaria_NGO_DEN/Annex_1_Waste_Management_Act_eng.pdf

51. Deloitte S.A., Construction and Demolition Waste Management in Cyprus, V2-September 2015, http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Cyprus_Factsheet_Final.pdf

52. Cyprus Recycling Organization (2015), Annual Report 2014, http://www.oak.org.cy/index.php/2015-01-25-20-01-40/news/36-20150515report2014

53. Εφημερίδα της Κυπριακής Δημοκρατίας, Νόμος περί Αποβλήτων, (N. 185(I)/2011)2011, http://moi.gov.cy/moi/moi.nsf/all/49C7D97009AE4E64C2257B0500435197/$file/(4)-N.185(%CE%99)-2011.pdf?openelement

54. Εφημερίδα της Κυπριακής Δημοκρατίας, Νόμος περί Αποβλήτων, N. 120(I)/2016) 2016, http://www.cylaw.org/nomoi/arith/2016_1_120.pdf

55. Ministry of Environment of Republic of Lithuania (2014), Order no. D1-367 Rules of construction

wastemanagement,https://www.etar.lt/portal/lt/legalAct/2f26dbd02f5c11e4a83cb4f588d2ac1a

56. Ministry of Environment of Republic of Lithuania (1998), Law on Waste Management of the Republic of Lithuania, https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.8D38517814F1/zsyyeUpmmg

57. Ministry of Environment of Republic of Lithuania (2005), Law on pollution tax, http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=488105&p_tr2=2

58. Ministry of Environment of Republic of Lithuania (2014), LEGISLATION FOR ENVIRONMENTAL TAXES APPENDIXES 7 AND 8 TO THE AMENDMENTS TO ARTICLES 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 OF VIII-1183 LAW https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/ccb7f1606fdd11e4becb8c56b1259a0e

59. Ministry of Environment of Republic of Lithuania (2007), Rules of Waste Management

60. Απόφαση 343/2017 της Εκτελεστικής Επιτροπής του Ε.Δ.Σ.Ν.Α, Λήψη κατ' αρχήν απόφασης επί σχεδίου αποκατάστασης και αξιοποίησης των εξοφλημένων ανενεργών λατομείων – μεταλλείων (ΕΑΛΜ) Αττικής σε συνέργεια με τις προβλεπόμενες δομές διαχείρισης στερεών αποβλήτων του ΠΕΣΔΑ Αττικής (2017), http://www.edsna.gr/attachments/article/726/343,2017.pdf

61. Π.Υ.Σ., Πράξη 49/15-12-2015 (ΦΕΚ 174 Α/2015), Τροποποίηση και έγκριση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (Ε.Σ.Δ.Α.) και του Εθνικού Στρατηγικού Σχεδίου Πρόληψης Δημιουργίας Αποβλήτων που κυρώθηκαν με την 51373/4684/25−11−2015 κοινή απόφαση των Υπουργών Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης και Περιβάλλοντος και Ενέργειας, σύμφωνα με το άρθρο 31 του Ν. 4342/2015, http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/174a_2015.1468499723369.pdf

62. B. Huang, X. Wang, H. Kua, Y. Geng, R. Bleischwitz, J. Ren, *Construction and demolition waste management in China through the 3R principle,* Resources, Conservation and Recycling, 2018 129, 36–44.

63. X. W. Xiao, D.K. Feng, W. Tian, *Present situation and suggestions on recycling and utilization of construction waste in China*. *Constriction Technology*, 2015, 44, 6-8.

64. U.S. EPA, 2018. Construction and Demolition Debris Generation in the United States, 2015. U.S. Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery. https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-09/documents/construction_and_demolition_debris_generation_in_the_united_states_2015_final.pdf.

65. M.S. Aslam, B. Huang, L. Cui, *Review of construction and demolition waste management in China and USA*, Journal of Environmental Management*,* 2020, 264, 110445.

66. S. Shooshtarian, T. Maqsood, M. Khalfan, P. Wong, R. Yang, *Construction and Demolition Waste Management in Australia: Review of Differences in Jurisdictional Regulatory Frameworks*, CIB World Building Congress 2019 Hong Kong SAR, China 17 – 21 June 2019.

67. M. Menegaki, D. Damigos, *A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management.* Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*,* 2018, 13, 8–15.

68. W. Lu, C. Webster, Y. Peng, X. Chen, X. Zhang, *Estimating and calibrating the amount of building-related construction and demolition waste in urban China.* International Journal of Construction Management, 2016, 17(1), 13–24.

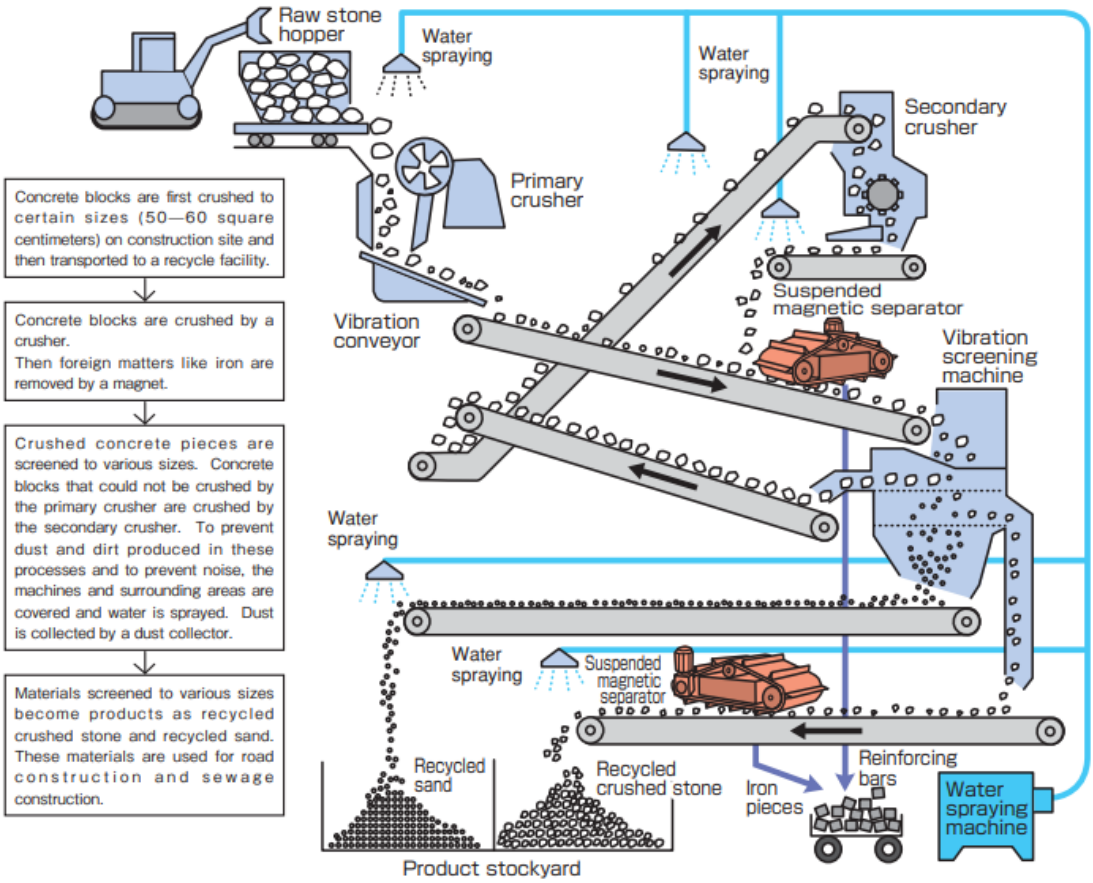
69. H. Arslan, N. Cosgun, B. Salg, *Construction and Demolition Waste Management in Turkey. Waste Management - An Integrated Vision,* 2012, pp. 313-332.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο-ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΚΚ

2.1. Διαχείριση ΑΕΚΚ

Τα ΑΕΚΚ συλλέγονται με μέριμνα των ΣΕΔ και στη συνέχεια προωθούνται προς κατάλληλα αδειοδοτημένες εγκαταστάσεις εντός των οποίων υπόκεινται στην απαραίτητη επεξεργασία. Τα επιμέρους στάδια [4] που λαμβάνουν χώρα κατά την επεξεργασία των ΑΕΚΚ (Εικόνα 2.1-1) προσομοιάζουν σε μεγάλο βαθμό με αυτά που εφαρμόζονται στην κατεργασία των ορυκτών. Πιο συγκεκριμένα, στα βασικά στάδια της επεξεργασίας των ΑΕΚΚ μπορεί να συμπεριλαμβάνονται [2]:

1. Ο τεμαχισμός
2. Η ταξινόμηση
3. Ο μαγνητικός διαχωρισμός (μέταλλα)
4. Διαχωρισμός με βάση την πυκνότητα



Εικόνα 2.1-1. Στάδια επεξεργασίας ΑΕΚΚ

2.2. Τεμαχισμός (Θραύση)

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο στην επεξεργασία των ΑΕΚΚ, κατά το οποίο πραγματοποιείται «το σπάσιμο» των (ογκωδών κυρίως) αποβλήτων. Ως αποτέλεσμα του

τεμαχισμού παράγονται αδρανή υλικά μικρότερων διαστάσεων, καθιστώντας ευκολότερη την διαδικασία της επεξεργασίας. Παράλληλα σε αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα η αφαίρεση των πρόσθετων υλικών που μπορούν να ανακτηθούν (π.χ. σίδερα οπλισμένου σκυροδέματος) ή υλικών τα οποία δεν επιδέχονται επιπλέον επεξεργασία και πρέπει να οδηγηθούν προς απόρριψη σε χώρους τελικής διάθεσης. Ο τεμαχισμός των ΑΕΚΚ πραγματοποιείται μέσω θραυστήρων (Εικόνες 2.2-1 και 2.2-2), στους οποίους η τροφοδοσία των προς θράση υλικών γίνεται με τη βοήθεια μηχανημάτων έργου (τσάπα, φορτωτής) μέσω κατάλληλων διατάξεων εσχάρωσης ή άλλου τύπου διατάξεις τροφοδοσίας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι θραυστήρων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των ΑΕΚΚ: α.) οι θραυστήρες σιαγόνων, οι οποίοι βρίσκουν εφαρμογή στον τεμαχισμό υλικών μεγάλου όγκου, β.) οι θραυστήρες κρούσης ή κρουστικοί θραυστήρες, που χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η επίτευξη τεμαχισμού «μεγαλύτερης ακρίβειας» και καλύτερος διαχωρισμός αδρανών υλικών, για υλικά που έχουν ως βάση το σκυρόδεμα και γ.) οι κωνικοί θραυστήρες [2].

Ένα σύνηθες σύστημα τεμαχισμού σε μονάδες επεξεργασίας (κυρίως με μόνιμο εξοπλισμό μεγάλης παραγωγικής δυναμικότητας) αποτελείται από δύο στάδια:

- Στάδιο 1: Τα ΑΕΚΚ εισέρχονται στον κύριο θραυστήρα (συνήθως ένας θραυστήρας σιαγόνων)
- Στάδιο 2: Τα παραγόμενα αδρανή του πρώτου σταδίου εισέρχονται σε έναν θραυστήρα κρούσης με σκοπό την βελτίωση των χαρακτηριστικών τους .

Είναι προφανές πως όσο περισσότερα είναι τα στάδια τεμαχισμού που συμπεριλαμβάνονται στην συνολική διαδικασία της επεξεργασίας, τόσο καλύτερη θα είναι και η ποιότητα των παραγόμενων (από την επεξεργασία) δευτερογενών υλικών.

Εικόνα 2.2-1. Σιαγονοφόρος θραυστήρας αδρανών υλικών (Πηγή: http://www.itd.gr).

α.)

β.)

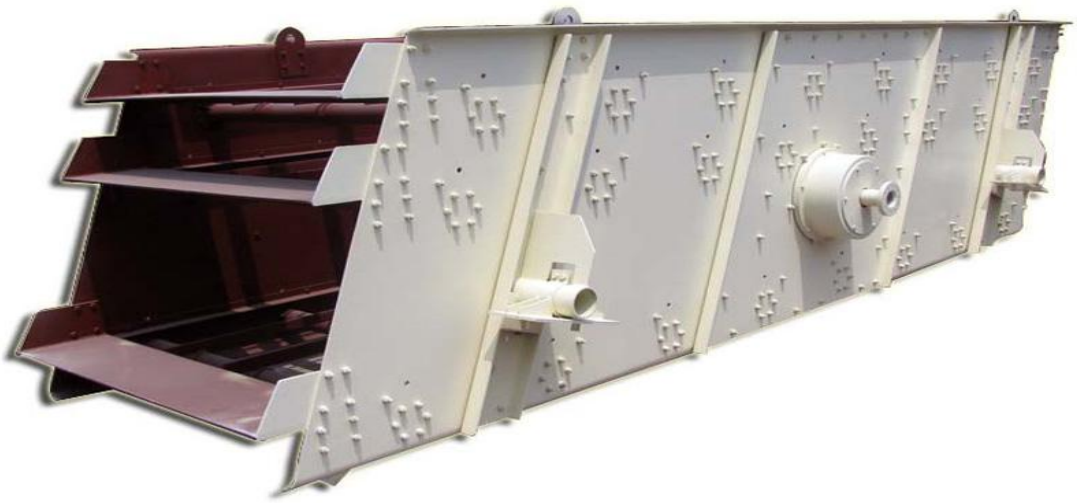
Εικόνα 2.2-2. α.) Κωνικός θραυστήρας και β.) θραυστήρας κρούσης αδρανών υλικών (Πηγή: http://www.itd.gr).

2.3. Κοσκίνιση

Σε αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα η ταξινόμηση και κατάταξη των υλικών με κριτήριο την επιθυμητή (για κάθε παράγωγο της διαδικασίας) κοκκομετρία. Μέσω της κοσκίνισης, αποσκοπείται:

- Η απομάκρυνση των ογκωδών, των μικρής κοκκομετρίας ή/και μη επιθυμητών υλικών που ενδεχομένως εμπεριέχονται στα ΑΕΚΚ, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ο εξοπλισμός της θραύσης από πιθανές ζημίες,
- Η παραγωγή δευτερογενών προϊόντων συγκεκριμένων (επιθυμητών) διαστάσεων,
- Η προετοιμασία των ΑΕΚΚ για πιθανά στάδια επιπλέον διαχωρισμού.

Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των υλικών που προορίζονται για επεξεργασία, είναι δυνατόν να περιλαμβάνονται στην διαδικασία αυτής-πριν αλλά και μετά το στάδιο της θραύσης-κόσκινα ποικίλων τύπων (εσχάρες κοσκίνισης, περιστροφικά κόσκινα, δονητικά κόσκινα κλπ, Εικόνες 2.3-1 και 2.3.-2) [2].



Εικόνα 2.3-1. Δονητικό κόσκινο (Πηγή: http://www. http://kindonis.com).

Εικόνα 2.3-2. Περιστροφικό κόσκινο (Πηγή: www.sivrisbros.gr).

Ο τύπος του κόσκινου που χρησιμοποιείται κατά περίπτωση επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη [2]:

1. Τις ιδιότητες των προς επεξεργασία ΑΕΚΚ
2. Τις επιθυμητές ιδιότητες του παραγόμενου από την επεξεργασία προϊόντος
3. Το επιτρεπόμενο ύψος της εγκατάστασης επεξεργασίας
4. Την παραγωγική δυναμικότητα της εγκατάστασης
5. Τον διαθέσιμο χώρο της εγκατάστασης.

Ανάλογα με το επιθυμητό μέγεθος των δευτερογενών που θα παραχθούν από την επεξεργασία (ανακτώμενα υλικά) και σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, προτείνεται η χρήση των κάτωθι διατάξεων κοσκίνισης:

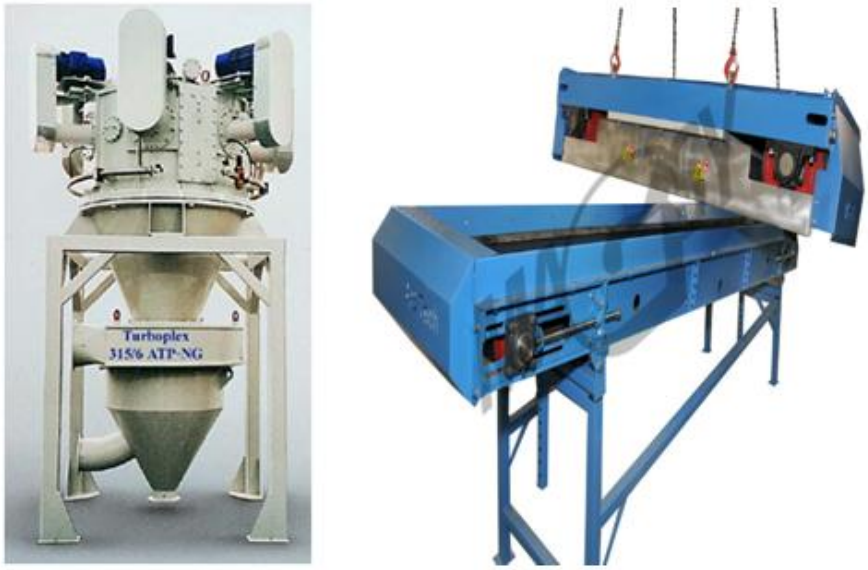
α.) για υλικά με επιθυμητό μέγεθος έως 4 mm, δονητικά κόσκινα, β.) για υλικά με μεγέθη από 3 έως 10 mm, δονούμενα ή περιστροφικά κόσκινα και γ.) για υλικά με μεγέθη από 0 έως 80 mm, εσχάρες κοσκίνισης ή περιστροφικά κόσκινα.

2.4. Διαχωρισμός των αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων

Κατά το στάδιο αυτό της επεξεργασίας, τα ΑΕΚΚ διαχωρίζονται στα επιμέρους υλικά συστατικά από τα οποία αυτά αποτελούνται. Ο διαχωρισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί με δυο τρόπους, είτε α) κατά είδος, είτε β) μέσω της αφαίρεσης των εμπεριεχόμενων ανεπιθύμητων προσμείξεων. Οι δύο βασικές μέθοδοι διαχωρισμού είναι (Εικόνα 2.4-1):

1. Υγρός διαχωρισμός

2. Ξηρός διαχωρισμός.



α.) β.)

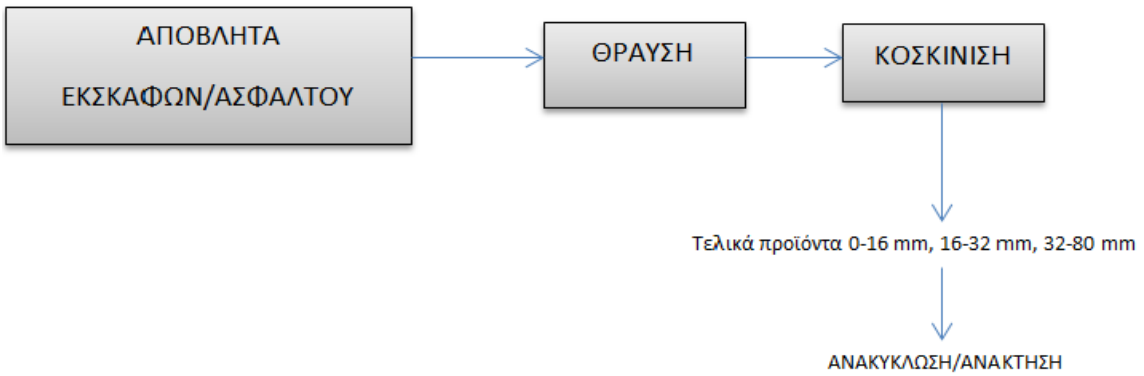
Εικόνα 2.4-1. α.) Ξηρός αερό-διαχωριστής β.) μαγνητικός διαχωριστής Πηγή: (http://www.controla.gr, http://www.magsy.gr)

Στις μεθόδους υγρού διαχωρισμού συγκαταλέγονται ο διαχωρισμός με καθίζηση, ο διαχωρισμός ανοδικού ρεύματος και επίσης ο διαχωρισμός με ιμάντες νερού, με επίπλευση κλπ.

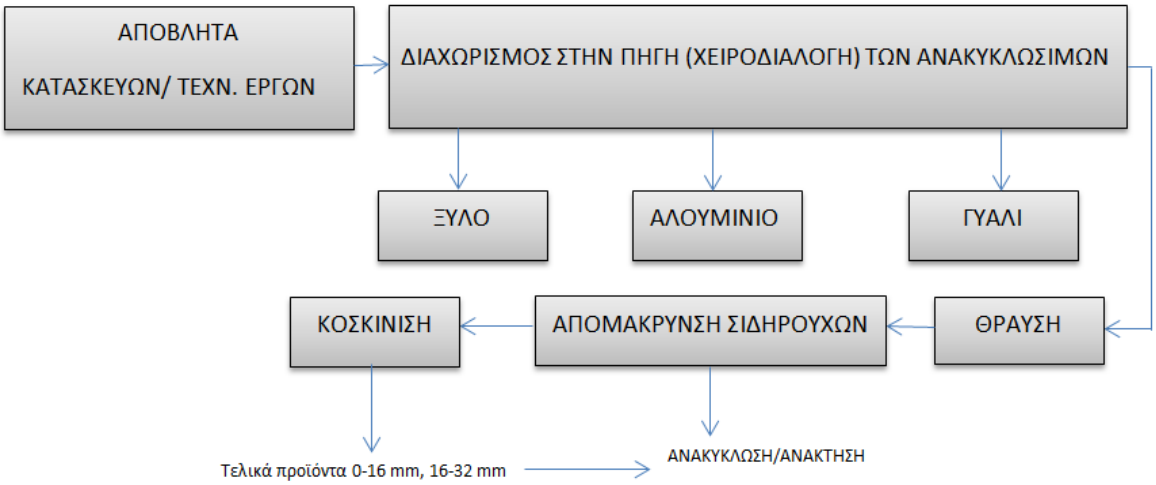
Αντίστοιχα στις μεθόδους ξηρού διαχωρισμού περιλαμβάνονται ο αερο-διαχωρισμός, ο μαγνητικός διαχωρισμός, ο χειρονακτικός διαχωρισμός κλπ [2].

Λαμβάνοντας υπόψη την φύση και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των εισερχομένων υλικών, οι εγκαταστάσεις ανακύκλωσης ΑΕΚΚ, συνδυάζουν διεργασίες διαλογής, θραύσης, κοσκίνισης και διαχωρισμού με στόχο την παραγωγή υλικών διαφόρων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων ανάλογα με την τελική χρήση για την οποία προορίζονται.

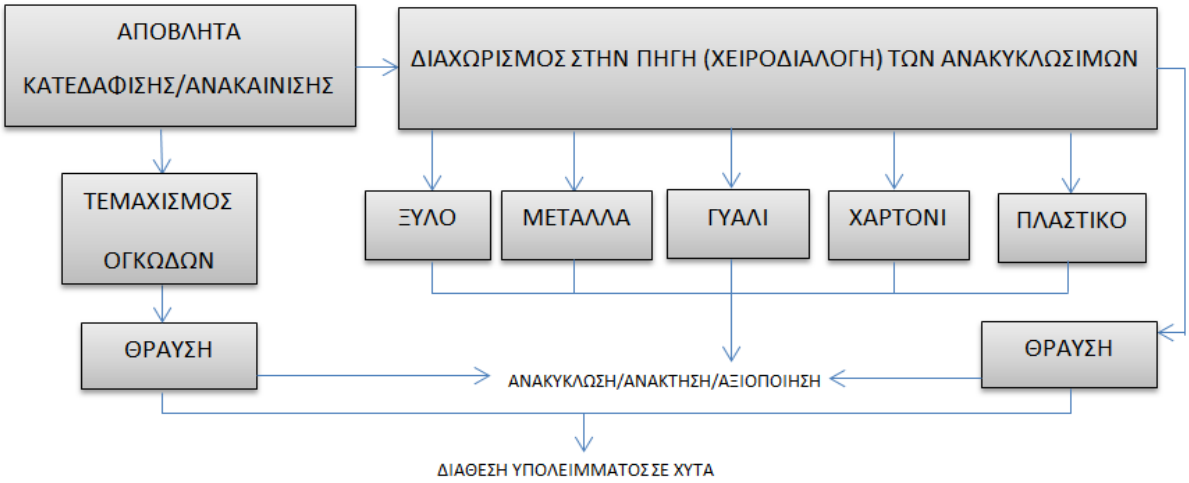
Παρακάτω παρατίθενται σχηματικά τα χαρακτηριστικά διαγράμματα ροής της διαχείρισης Αποβλήτων Κατασκευών και Κατεδαφίσεων στα οποία παρουσιάζονται οι διάφορες φάσεις της διαχείρισης ανά κατηγορία αποβλήτου ήτοι, τα υποσυστήματα μιας εγκατάστασης επεξεργασίας ΑΕΚΚ [1].



Σχήμα 2.4.1. Επεξεργασία αποβλήτων εκσκαφών/ ασφάλτου.



Σχήμα 2.4.2. Επεξεργασία αποβλήτων κατασκευών/τεχνικών έργων.



Σχήμα 2.4.3. Επεξεργασία αποβλήτων κατεδαφίσεων.

2.5. Κατηγορίες-σύσταση ΑΕΚΚ- Προέλευση

Τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων κατατάσσονται στο κεφάλαιο 17 (Πίνακας 2.5-1) του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων (ΕΚΑ). Στην παραπάνω κατηγορία αποβλήτων συμπεριλαμβάνονται τα:

- Απόβλητα οικοδομικών δραστηριοτήτων (ανεγέρσεις, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις κ.λπ.)
- Απόβλητα από τεχνικά έργα και έργα κατασκευής, συντήρησης οδικών αρτηριών
- Απόβλητα από φυσικές καταστροφές (σεισμοί, πλημμύρες, κατολισθήσεις κ.α.)
- ΑΕΚΚ ρυπασμένα με επικίνδυνες ουσίες (από βιομηχανικές περιοχές, βιομηχανικές δραστηριότητες)
- Βυθοκορήματα (απόβλητα υποθαλάσσιων εργασιών εκβάθυνσης λιμένων)
- Δομικά στοιχεία με βασικό υλικό τον αμίαντο.

Πίνακας 2.5-1. Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων, Κωδικός 17 - ΑΕΚΚ (Πηγή: www.eedsa.gr).

	ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΤΑ ΧΩΜΑΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΑΠΟ ΡΥΠΑΣΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ)
17	**ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΡΟΜΩΝ)**
17 01	**Σκυρόδεμα , τούβλα, πλακάκια και κεραμικά**
17 01 01	Σκυρόδεμα
17 01 02	Τούβλα
17 01 03	Πλακάκια και κεραμικά
17 01 06*	Μίγμα ή ξεχωριστό κλάσμα από σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμικά και πλακάκια που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
17 01 07	Μίγμα από σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμικά και πλακάκια διαφορετικό από αυτό που αναφέρεται στη 17 01 06
17 02	**Ξύλο, γυαλί και πλαστικό**
17 02 01	Ξύλο
17 02 02	Γυαλί
17 02 03	Πλαστικό
17 02 04*	Ξύλο, γυαλί , πλαστικό που περιέχει ή έχει μολυνθεί με επικίνδυνα υλικά
17 03	**Μίγματα βιτουμενίου, λιθανθρακόπισσα και άλλα προϊόντα πίσσας**
17 03 01*	Μίγματα Βιτουμενίου που περιέχουν λιθανθρακόπισσα
17 03 02	Μίγματα Βιτουμενίου που δεν υπάγονται στην 17 03 01
17 03 03*	Λιθανθρακόπισσα και προϊόντα πίσσας
17 04	**Μέταλλα (περιλαμβάνονται και τα κράματά τους)**
17 04 01	Χαλκός, Μπρούτζος, ορείχαλκος
17 04 02	Αλουμίνιο
17 04 03	Μόλυβδος
17 04 04	Ψευδάργυρος
17 04 05	Σίδηρος και χάλυβας
17 04 06	Κασσίτερος
17 04 07	Μίγμα υλικών
17 04 09*	Απόβλητα μετάλλων ρυπασμένα με επικίνδυνα υλικά
17 04 10*	Καλώδια που περιέχουν έλαια , λιθανθρακόπισσα και άλλα επικίνδυνα υλικά
17 04 11	Καλώδια που δεν υπάγονται στην 17 04 11
17 05	**Χώματα (περιλαμβάνονται τα χώματα εκσκαφών από ρυπασμένα εδάφη), πέτρες και μπάζα εκσκαφών**
17 05 03*	Χώματα και πέτρες που περιλαμβάνουν επικίνδυνα υλικά

17 05 04	Χώματα και πέτρες που δεν υπάγονται στην 17 05 03
17 05 05*	Μπάζα εκσκαφών που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
17 05 06	Μπάζα εκσκαφών που δεν υπάγονται στην 17 05 05
17 05 07*	Άχρηστο φορτίο φορτηγών οχημάτων (track ballast) που περιέχει επικίνδυνα υλικά
17 05 08	Άχρηστο φορτίο οχημάτων που δεν υπάγεται στη 17 05 07
17 06	**Μονωτικά υλικά και κατασκευαστικά υλικά που περιέχουν αμίαντο**
17 06 01*	Μονωτικά υλικά που περιέχουν αμίαντο
17 06 03*	Άλλα μονωτικά υλικά που περιέχουν η αποτελούνται από επικίνδυνα υλικά
17 06 04	Μονωτικά υλικά που δεν αναφέρονται στις 17 06 03 και 17 06 01
17 06 05*	Κατασκευαστικά υλικά που περιέχουν αμίαντο
17 08	**Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο**
17 08 01*	Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο ρυπασμένα με επικίνδυνα υλικά
17 08 02	Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο που δεν υπάγονται στη 17 08 01
17 09	**Άλλα υλικά από κατασκευές και κατεδαφίσεις**
17 09 01*	Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις που περιέχουν υδράργυρο
17 09 02*	Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις που περιέχουν PCB (για παράδειγμα υλικά στεγανοποίησης που περιέχουν PCB, ηλεκτρικοί πυκνωτές που περιέχουν PCB ως μέσα πλήρωσης, προστατευτικές επικαλύψεις ξύλων και μετάλλων που περιέχουν PCB)
17 09 03*	Άλλα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (περιλαμβανομένων των αποβλήτων μικτών κατασκευών και κατεδαφίσεων) που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
17 09 04	Απόβλητα μικτών κατασκευών και κατεδαφίσεων που δεν αναφέρονται στις 17 09 01 17 09 02 17 09 03

Ανάλογα με την πηγή προέλευσης τους, τα ΑΕΚΚ χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες [3]:

2.5.1. Δομικά Απόβλητα (Απόβλητα Κατεδαφίσεων):

Στα απόβλητα της κατηγορίας αυτής συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων και υλικά όπως χώματα, άμμος, χαλίκι, σκυροδέματα, επιχρίσματα, κονιάματα, τούβλα, πλακίδια, γύψος κλπ.

Τα παραπάνω προκύπτουν από την κατεδάφιση κατασκευών και κτιρίων. Η σύσταση των υλικών αυτών ποικίλει ανάλογα με το είδος, την παλαιότητα, τη μορφή, τη χρήση και το μέγεθος του κτιρίου ή της κατασκευής. Μεταξύ αυτών ενδεχομένως να περιέχονται μέταλλα, χρώματα, κόλλες, ρητίνες, μονωτικά υλικά, διαλύτες κλπ.

2.5.2. Απόβλητα Κατασκευαστικών και Οικοδομικών εργασιών:

Μερικά από τα υλικά που μπορεί να εμπεριέχονται στα απόβλητα κατασκευαστικών και οικοδομικών εργασιών είναι το ξύλο, το πλαστικό, το χαρτί/χαρτόνι, διάφορα μέταλλα, καλώδια, χρώματα, βερνίκια, συγκολλητικά υλικά και μια πληθώρα άλλων υλικών, τα οποία χρησιμοποιούνται σε εργοτάξια. Σημαντικό κομμάτι της ποσότητας των αποβλήτων της συγκεκριμένης κατηγορίας καταλαμβάνουν τα απόβλητα συσκευασίας των δομικών υλικών.

2.5.3 Απόβλητα Εκσκαφών:

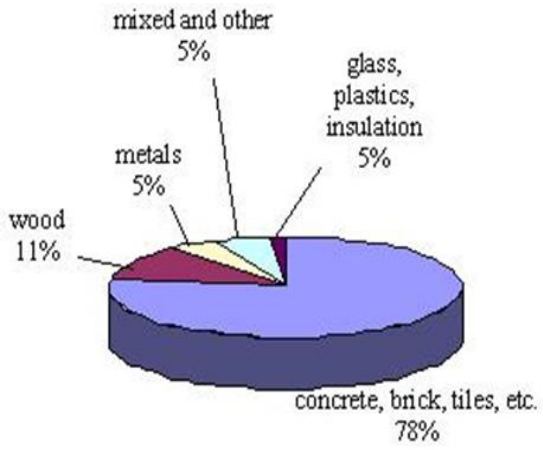
Εδώ συγκαταλέγονται απόβλητα όπως τα χώματα εκσκαφών, η άμμος, το χαλίκι, οι πέτρες κλπ. Πηγή προέλευσης τους κυρίως οι κατασκευαστικές δραστηριότητες και συγκεκριμένα τα τεχνικά έργα. Μια άλλη πηγή προέλευσης των παραπάνω μπορεί να αποτελέσουν τα διαφόρων τύπων φυσικά φαινόμενα.

2.5.4. Απόβλητα Έργων Οδοποιίας:

Στα απόβλητα οδοποιίας κατατάσσονται υλικά όπως η άσφαλτος, διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται ως βάσεις ή υποβάσεις οδοστρωμάτων (π.χ. χαλίκι, άμμος, σκύρα κλπ) και απόβλητα που προκύπτουν από εργασίες αποξήλωσης, ανακατασκευής και συντήρησης του οδικού δικτύου. Στην συγκεκριμένη κατηγορία εντάσσονται και απόβλητα που προέρχονται από εργασίες κατασκευής ή/και συντήρησης των υπόγειων δικτύων των πόλεων (δίκτυα ύδρευσης/ηλεκτροδότησης κ.α.).

2.5.5. Σύσταση ΑΕΚΚ

Η σύστασή τους (Εικόνα 2.5.5-1) ποικίλει και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (χώρος/τόπος κατασκευής, μέθοδος κατασκευής, χρήση, χρονική περίοδος κατασκευής από την οποία προκύπτουν τα ΑΕΚΚ, υλικά κατασκευής κλπ).



Εικόνα 2.5.5-1. Σύσταση ΑΕΚΚ (Πηγή: European Environment Agency).

2.6. Βαθμός επικινδυνότητας ΑΕΚΚ

Στα εργοταξιακά παραγόμενα ΑΕΚΚ, συμπεριλαμβάνεται ένα μικρό ποσοστό από υλικά όπως ο αμίαντος, μονωτικά υλικά τα οποία εμπεριέχουν αμίαντο κλπ. Τα παραπάνω λόγω των ουσιών που εμπεριέχονται σε αυτά χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα υλικά. Στα πιο συχνά σε χρήση επικίνδυνα εργοταξιακά υλικά εντάσσονται [4]:

1. Πρόσθετα σκυροδέματος με βάση διαλύτες
2. Χημικές ουσίες (κυρίως χρησιμοποιούμενες ως μονωτικό υλικό για την υγρασία)
3. Κόλλες
4. Γαλακτώματα με βάση την πίσσα
5. Υλικά με βάση τον αμίαντο
6. Ίνες ορυκτών (μόνωση)
7. Βαφές και στρώματα επικάλυψης
8. Επεξεργασμένη ξυλεία
9. Ρητίνες
10. Γυψοσανίδες.

Στα ΑΕΚΚ κατεδάφισης εμπεριέχονται και υλικά τα οποία συγκαταλέγονται στα επικίνδυνα, λόγω κάποιων ιδιαίτερων ιδιοτήτων τους. Για την απομάκρυνση αυτών ως βέλτιστη μέθοδος ενδείκνυται η απομάκρυνση και προδιαλογή τους, σε αρχικό επίπεδο πριν την έναρξη των διαδικασιών κατεδάφισης.

Τα πιο συχνά απόβλητα/υλικά που προέρχονται από κατεδαφίσεις είναι [4]:

1. Αμιαντούχα Υλικά
2. Ξύλο που έχει υποστεί επεξεργασία
3. Ορυκτές ίνες
4. Ηλεκτρικός εξοπλισμός στον οποίο μπορεί να περιέχονται τοξικά
5. Ψυκτικές μηχανές που περιέχουν χλωροφθοράνθρακες
6. Συστήματα πυροπροστασίας που περιέχουν χλωροφθοράνθρακες
7. Ραδιονουκλίδια
8. Εν δυνάμει επικίνδυνα βιολογικά υλικά.

Βιβλιογραφία 2ου Κεφαλαίου

1. Ανατολική Αναπτυξιακή Α.Ε., Αναπτυξιακή Εταιρία Θεσσαλονίκης, 2008 *«Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (Α.Ε.Κ.Κ.)»*, Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης

2. Α. Δ. Σκορδίλης, *Τεχνολογίες Ανακύκλωσης Αποβλήτων*, Εκδόσεις Μπαρμπουνάκης Θεσσαλονίκη, 2017.

3. Ελληνική Δημοκρατία, ΚΥΑ 36259/2010, Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ), Εφημερίδα της Κυβέρνησης, ΦΕΚ 1313/Β/24-8-2010

4. https://eedsa.gr/

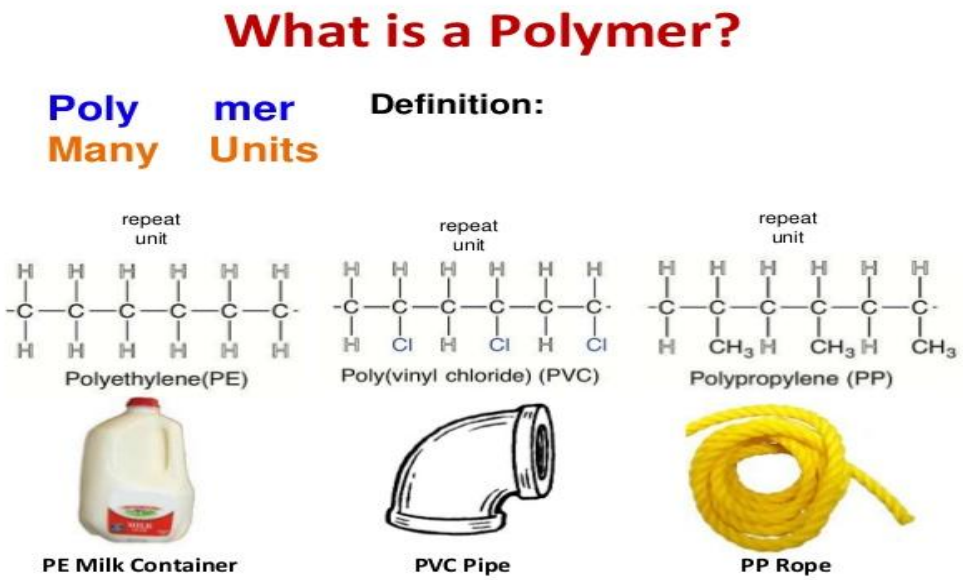
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο- ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

3.1. Εισαγωγή

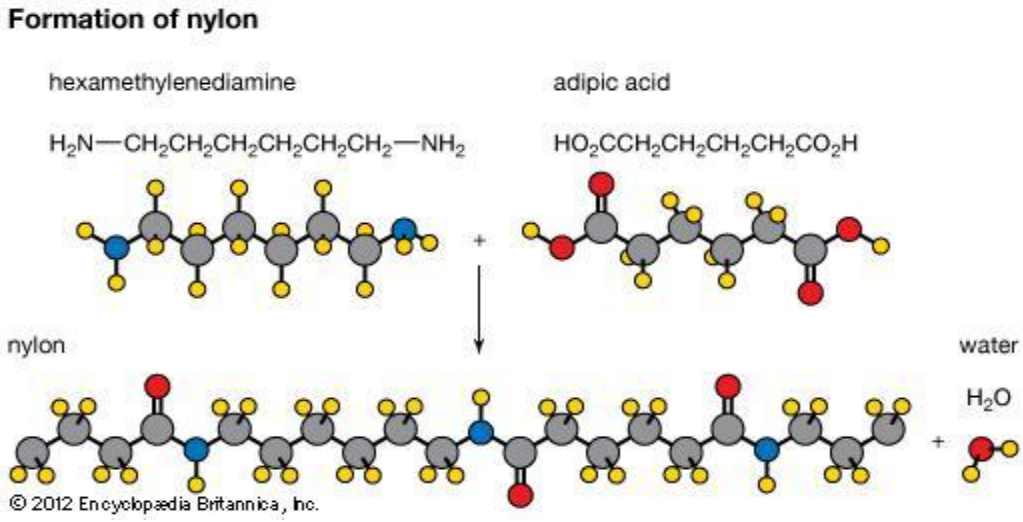
Τα πολυμερή ή μακρομόρια (Εικόνες 3.1-1, 3.1-2 και 3.1-3) έχουν εμφανιστεί και εδραιωθεί με το πέρασμα των αιώνων σε ποικίλες εφαρμογές. Ως κατηγορία υλικών, απαντώνται υπό διάφορους τύπους μακρομοριακών ενώσεων στη φύση σε οργανική (κυτταρίνη, ένζυμα, πρωτεΐνες κλπ) αλλά και σε ανόργανη μορφή (πυριτικά άλατα, χαλαζίας κλπ) [1,3].

Ο μηχανισμός με τον οποίο σχηματίζονται, είναι μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία χημικού χαρακτήρα (χημική αντίδραση) κατά την πραγματοποίηση της οποίας λαμβάνει χώρα η συνένωση των μορίων ενός ή περισσότερων δομικών μονάδων (μονομερών), με αποτέλεσμα το σχηματισμό του πολυμερούς. Η χημική αντίδραση αυτή ονομάζεται πολυμερισμός (polymerization) [1, 2, 6, 8, 5]. Οι αντιδράσεις πολυμερισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε [2, 5, 6] :

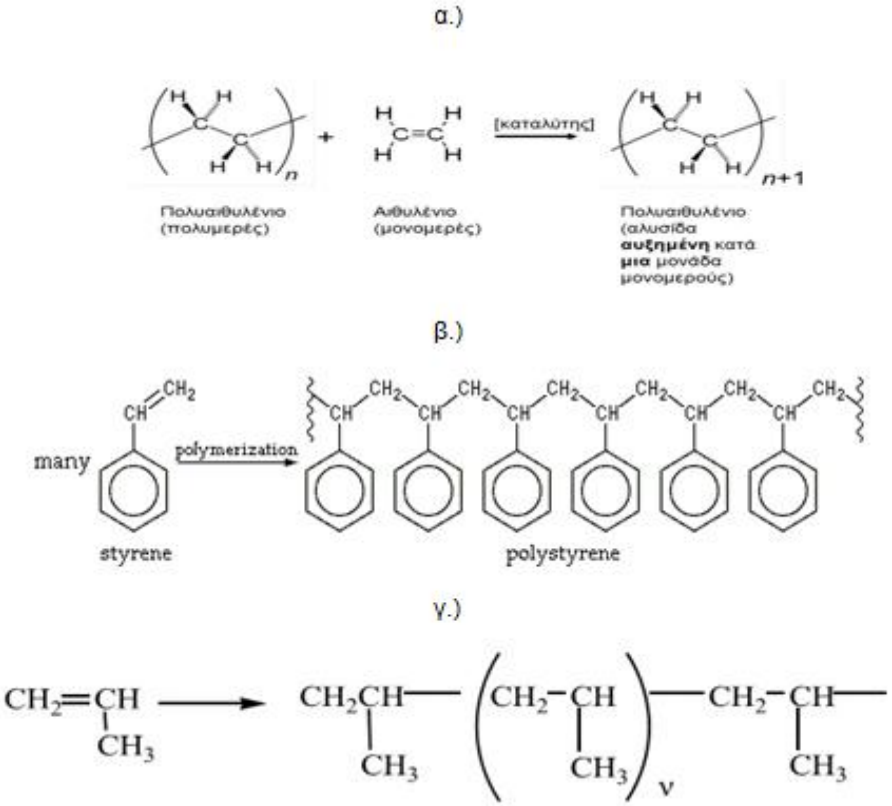
1. Αντιδράσεις σταδιακού πολυμερισμού (step-polymerization)
2. Αντιδράσεις αλυσωτού πολυμερισμού (chain polymerization)



Εικόνα 3.1-1. Αντιπροσωπευτικά μακρομόρια πολυμερών υλικών και παράγωγα προϊόντα (Πηγή: www.slideshare.net).



Εικόνα 3.1-2. Σχηματική αναπαράσταση της διαμόρφωσης του Nylon (Πηγή: Εγκυκλοπαίδεια Britannica).



Εικόνα 3.1-3. Σχηματική απεικόνιση αντιδράσεων πολυμερισμού α.) Πολυμερισμός αιθυλενίου, β.) Πολυμερισμός στυρενίου, γ.) Πολυμερισμός προπενίου ως παράδειγμα πολυμερούς προσθήκης.

3.2. Ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας των πολυμερών

Ιστορικά οι πρώτες αναφορές σχετικά με την διερεύνηση και την χρησιμοποίηση των πολυμερών υλικών τοποθετούνται χρονικά περίπου πριν 2 αιώνες. Επιστήμονες και ερευνητές της εποχής εντοπίζουν την ιδιαίτερη συμπεριφορά, ως προς τις ιδιότητες τους,

που παρουσιάζουν τα πολυμερή (για παράδειγμα το καουτσούκ) και για πρώτη φορά διατυπώνονται θεωρήματα συσχέτισης της συμπεριφοράς των υλικών αυτών με την μοριακή τους δομή [3].

Η θεώρηση από την οποία προέκυψε και υιοθετήθηκε η έννοια του μακρομορίου, όπως αυτή περιγράφηκε προηγούμενα δεν έγινε αμέσως αποδεκτή, γεγονός που οδήγησε αρχικά στην διατύπωση της άποψης ότι τα πολυμερή αποτελούν συσσωματώσεις μικρότερων μορίων τα οποία προσκολλώνται το ένα στο άλλο.

Εξαιτίας της απόψεως αυτής προς στιγμή τα πολυμερή ονομάστηκαν κολλοειδή. Πρώτος ο γερμανός χημικός Herman Staudinger έθεσε ζήτημα διαχωρισμού μεταξύ των κολλοειδών και των πολυμερών [4].

Εξετάζοντας διεξοδικά τη συμπεριφορά και τη δομή συγκεκριμένων υλικών (καουτσούκ, κυτταρίνη) κατέληξε σε συμπεράσματα τα οποία αποτέλεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη της επιστήμης των πολυμερών και σύνθετων υλικών [4]. Πιο συγκεκριμένα, εισήγαγε την έννοια και το μοντέλο των ενώσεων μεγάλων μορίων σε μορφή αλυσίδας υποστηρίζοντας ταυτόχρονα πως τα επιμέρους τμήματα που αποτελούν τις μεγαλομοριακές αυτές αλυσίδες, δημιουργούνται βασιζόμενες σε μικρότερα κομμάτια (μονομερή) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς αντίστοιχους με τους δεσμούς που απαντώνται σε μικρότερες (από άποψη μεγέθους μορίου και μοριακού βάρους) ενώσεις. Η θεωρεία αυτή απέρριψε ουσιαστικά την επικρατούσα ως τότε άποψη ότι, η συγκεκριμένη κατηγορία ανήκει στα κολλοειδή. Η συγκεκριμένη διατύπωση παρόλη την τεράστια προσφορά της στην εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών, δεν έπαυε να αντιμετωπίζει κάποια σημαντικά προβλήματα, γύρω από την επεξήγηση της μορφής των δομικών μονάδων των άκρων της μοριακής αλυσίδας.

Ο Staudinger με έρευνές του αρχικά διατύπωσε την θέση περί αδρανοποίησης των ακραίων μορίων άνθρακα, βασιζόμενος στο μεγάλο μέγεθος της μοριακής αλυσίδας. Την πρότασή του αυτή την ανέτρεψε σύντομα ο ίδιος, με την εισαγωγή της θεωρίας των μακροκύκλων [3, 6]. Βάσει της θεωρίας αυτής, οι άνθρακες των άκρων της μοριακής αλυσίδας των πολυμερών ενώνονται μεταξύ τους μέσω κατάλληλων δεσμών και κατ’ αυτόν τον τρόπο

καλύπτεται και το εναπομένον σθένος τους, που ως τότε πίστευε πως εξέλειπε για τον λόγο που προαναφέρθηκε. Η εν λόγω θεωρητική διατύπωση επικράτησε ως τα τέλη της δεκαετίας του 1930. Τότε (1937), ο Flory εισήγαγε, ανέλυσε και επαλήθευσε την έννοια του αλυσωτού πολυμερισμού (chain polymerization) και ειδικότερα του μηχανισμού του πολυμερισμού προσθήκης [8].

Μέσω της έρευνας του ο Flory τεκμηρίωσε την άποψη ότι οι δομικές μονάδες των ανθράκων της αλυσίδας παραμένουν τετρασθενείς (διαθέτουν τέσσερα σθένη), με το τέταρτο σθένος τους να συμπληρώνεται από ομάδα/ες «–R», μόρια δηλαδή που παρέχονται κατά την πραγματοποίηση του πολυμερισμού από τη δομική μονάδα που ευθύνεται για την «έναρξη» της αντίδρασης.

Για το έργο τους οι Staudinger και Flory βραβεύτηκαν με νόμπελ το 1954 και το 1974 αντίστοιχα και θεωρούνται μαζί με άλλους επιστήμονες ως οι θεμελιωτές και εκ των «πατέρων» του κλάδου της επιστήμης των πολυμερών.

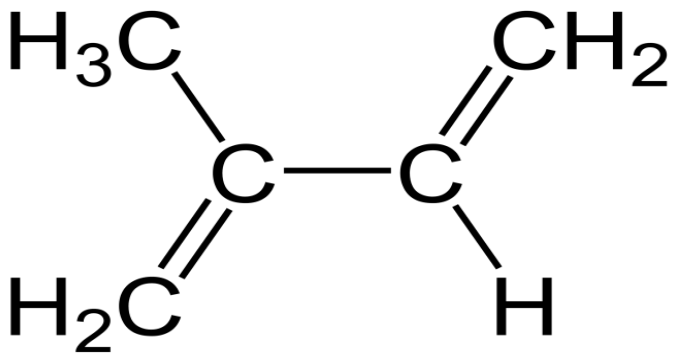
Παρόλη την χρονική καθυστέρηση που υπήρξε αναφορικά με τη διαμόρφωση ολοκληρωμένης άποψης γύρω από τη χημική συμπεριφορά των πολυμερών, η κατασκευή τους άρχισε πολύ νωρίτερα (Πίνακας 3.2-2).

Το 1839 ο αμερικανός εφευρέτης Charles Goodyear εξαιτίας ενός ατυχήματος κατά το οποίο ποσότητα καουτσούκ αναμεμειγμένο με θείο έπεσε πάνω σε θερμή εστία, με αποτέλεσμα να οδηγηθεί στην αρχική ανακάλυψη της διεργασίας βουλκανισμού του καουτσούκ [11]. Η θερμική επεξεργασία του πολυμερούς ήτοι, η σκλήρυνσή του έδωσε ένα υλικό με ιδιότητες πρωτόγνωρες για τα δεδομένα της εποχής.

Εν έτη 1851 ξεκινά η συστηματική βιομηχανική παραγωγή σκληρού καουτσούκ (εβονίτης), που χρησιμοποιείται ακόμα και στις μέρες μας σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Αργότερα, στις αρχές του 1860 (1862), ο άγγλος μεταλλουργός και εφευρέτης από το Μπέρμιγχαμ A. Parkes παρασκευάζει το πρώτο τεχνητό πλαστικό με βάση τη νιτροκυτταρίνη. Οι περιορισμένες σε εύρος μηχανικές ιδιότητες του όμως το καθιστούν ελαττωματικό. Σε σύντομο χρονικό διάστημα η παραγωγή του (λόγω κόστους) καθίσταται ασύμφορη και διακόπτεται [9].

Κοντά στα τέλη της ίδιας δεκαετίας (1868) ο J. Hyatt, διεξάγοντας πειράματα πάνω στην νιτροκιταρρίνη και αναμειγνύοντας την με καμφορά, καταφέρνει να βελτιώσει σημαντικά τις κακές μηχανικές της ιδιότητες παρασκευάζοντας μια πιο ανθεκτική εκδοχή του αρχικού προϊόντος [10].

Η ανάπτυξη και εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας και οι αυξανόμενες απαιτήσεις για μαζικότερη παραγωγή και χρήση μηχανοκίνητων μέσων μεταφοράς, δημιούργησαν την ανάγκη αυξημένης παραγωγής καουτσούκ για την κατασκευή των ελαστικών των παραγόμενων οχημάτων.



Εικόνα 3.2-1 Ισοπρένιο ή 2-μεθυλ-1,3-βουταδιένιο (κατά IUPAC).

Στις αρχές του επόμενου αιώνα και πιο συγκριμένα το 1907, η παρασκευή του βακελίτη από τον L. Baekeland, θέτει ουσιαστικά τις βάσεις για την έναρξη της βιομηχανικής παρασκευής των πρώτων συνθετικών πολυμερών [12].

Κατά την χρονική περίοδο που λαμβάνει χώρα η εξέλιξη του Α’ Παγκοσμίου Πολέμου, στην Γερμανία παρασκευάζεται για πρώτη φορά συνθετικό καουτσούκ με βάση την οργανική ένωση διμεθυλοβουταδιένιο (Εικόνα 3.2-1) αλλιώς γνωστή και ως ισοπρένιο. Επιστήμονες εργαζόμενοι υπό την επίβλεψη του γερμανού βιολόγου Fritz Hofmann, επιτυγχάνουν το 1909 τον πολυμερισμό του δημιουργώντας ένα συνθετικής μορφής αντίστοιχο υλικό.

Λόγω κυρίως των προβληματικών του ιδιοτήτων, η χρήση του δεν εδραιώνεται και σε σύντομο χρονικό διάστημα αντικαθίσταται από πιο προηγμένα συνθετικά υλικά [3].

Η εξέλιξη και ταυτόχρονα η παραγωγή νέων συνθετικών υλικών είναι ραγδαία στις επόμενες δεκαετίες.

Έκτοτε τα υλικά αυτά και κυρίως τα πλαστικά, αρχίζουν να αντικαθιστούν το σύνολο των εν χρήση έως τότε κλασικών υλικών σε πλήθος εφαρμογών (Πινάκας 3.2-1).

Πίνακας 3.2-1.Τυπικά πλαστικά και εφαρμογές (Πηγή:www.slideshare.com).

Name(s)	Formula	Monomer	Properties	Uses
Polyethylene low density (LDPE)	$-(CH_2\text{-}CH_2)_n-$	ethylene $CH_2=CH_2$	soft, waxy solid	film wrap, plastic bags
Polyethylene high density (HDPE)	$-(CH_2\text{-}CH_2)_n-$	ethylene $CH_2=CH_2$	rigid, translucent solid	electrical insulation bottles, toys
Polypropylene (PP) different grades	$-[CH_2\text{-}CH(CH_3)]_n-$	propylene $CH_2=CHCH_3$	atactic: soft, elastic solid isotactic: hard, strong solid	similar to LDPE carpet, upholstery
Poly(vinyl chloride) (PVC)	$-(CH_2\text{-}CHCl)_n-$	vinyl chloride $CH_2=CHCl$	strong rigid solid	pipes, siding, flooring
Poly(vinylidene chloride) (Saran A)	$-(CH_2\text{-}CCl_2)_n-$	vinylidene chloride $CH_2=CCl_2$	dense, high-melting solid	seat covers, films
Polystyrene (PS)	$-[CH_2\text{-}CH(C_6H_5)]_n-$	styrene $CH_2=CHC_6H_5$	hard, rigid, clear solid soluble in organic solvents	toys, cabinets packaging (foamed)
Polyacrylonitrile (PAN, Orlon, Acrilan)	$-(CH_2\text{-}CHCN)_n-$	acrylonitrile $CH_2=CHCN$	high-melting solid soluble in organic solvents	rugs, blankets clothing
Polytetrafluoroethylene (PTFE, Teflon)	$-(CF_2\text{-}CF_2)_n-$	tetrafluoroethylene $CF_2=CF_2$	resistant, smooth solid	non-stick surfaces electrical insulation
Poly(methyl methacrylate) (PMMA, Lucite, Plexiglas)	$-[CH_2\text{-}C(CH_3)CO_2CH_3]_n-$	methyl methacrylate $CH_2=C(CH_3)CO_2CH_3$	hard, transparent solid	lighting covers, signs skylights
Poly(vinyl acetate) (PVAc)	$-(CH_2\text{-}CHOCOCH_3)_n-$	vinyl acetate $CH_2=CHOCOCH_3$	soft, sticky solid	latex paints, adhesives
cis-Polyisoprene natural rubber	$-[CH_2\text{-}CH=C(CH_3)\text{-}CH_2]_n-$	isoprene $CH_2=CH\text{-}C(CH_3)=CH_2$	soft, sticky solid	requires vulcanization for practical use
Polychloroprene (cis + trans) (Neoprene)	$-[CH_2\text{-}CH=CCl\text{-}CH_2]_n-$	chloroprene $CH_2=CH\text{-}CCl=CH_2$	tough, rubbery solid	synthetic rubber oil resistant

Τα πλαστικά πέραν της θετικής συνεισφοράς τους στην εξέλιξη της τεχνολογίας των υλικών αλλά και μέσω της χρήσης τους στην περαιτέρω ανάπτυξη της βιομηχανίας, παρουσιάζουν επίσης σημαντικά μειονεκτήματα. Τα μειονεκτήματα αυτά οφείλονται κατά κύριο λόγω στα υλικά από τα οποία τα ανωτέρω παρασκευάζονται και πιο συγκεκριμένα στην συμπεριφορά που ορισμένα εξ' αυτών παρουσιάζουν κατά την καύση τους. Ακόμα ένα από τα βασικά προβλήματα είναι η διαχείριση των προϊόντων αυτών στο τέλος του κύκλου «χρήσιμης» ζωής τους.

Πίνακας 3.2-2. Χρονολογική εξέλιξη πολυμερών (Πηγή: Καραγιαννίδης, Σιδερίδου, 2006).

Χρονολογία	Πολυμερές
1839	Βουλκανισμός καουτσούκ (C. Goodyear)
1851	Εβονίτης (Nelson Goodyear)
1862	Νιτρική κυτταρίνη (A. Parkes)
1868	Κελουλοΐτης (J. Hyatt)
1889	Αναγεννημένη κυτταρίνη (Chardonnet)
1890	Ραιγιόν χαλκαμμωνίας (Despeisses)
1892	Ραιγιόν βισκόζης (Cross, Bevan, Beadle)
1907	Βακελίτης (Baekeland)
1907	Οξική κυτταρίνη (Doerfinger)
1926	Αλκυδικοί πολυεστέρες (Kienle)
1927	Πολύ (βινυλοχλωρίδιο)
1929	Πολυσουλφίδια (Patrick)
1931	Πολύ (μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)
1931	Πολυχλωροπρένιο
1936	Πολύ (οξικός βινυλεστέρας)
1937	Πολυστυρένιο
1938	Nylon-66 (Carothers)
1940	Βουτυλικό καουτσούκ (Sparks – Thomas)
1941	Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας
1943	Teflon (Plunkett)
1943	Σιλικόνες (Rochow, Hyde, Andrianov)
1943	Πολυουρεθάνες (Baeyer)
1947	Εποξειδικές ρητίνες(Castan, Greenlee)
1948	Συμπολυμερή ακρυλονιτριλίου – βουταδιενίου - στυρενίου (ABS)
1950	Πολυεστερικές ίνες
1950	Πολυακρυλονιτριλικές ίνες
1956	Πολυοξυμεθυλένιο
1957	Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (Ziegler)
1957	Πολυπροπυλένιο Ισοτακτικό (Natta)
1957	Πολυανθρακικά
1959	Ελαστομερή cis-πολυβουταδιενίου και cis-πολυισοπρενίου
1960	Συμπολυμερή αιθυλενίου-προπυλενίου
1962	Πολυϊαμιδικές ρητίνες
1964	Πολυ(φαινυλενοξείδιο)
1965	Πολυσουλφόνες
1965	Συμπολυμερή κατά συστάδες στυρενίου – βουταδιενίου
1971	Πολύ (τερεφθαλικος βουτυλενεστέρας)
1972	Θερμοπλαστικά Πολυιαμίδια
1973	Πολυαιθεροσουλφόνες
1974	Πολυβουτυλένιο
1983	Πολυαιθεροαιθεροκετόνες
1985	Υγρά Κρυσταλλικά Πολυμερή
1987	Πολυακετυλένια
1992	Γραμμικό Πολυαιθυλένιο Χαμηλής Πυκνότητας
1998	Νανοσύνθετα Πολυμερικά Υλικά
2001	Κράμματα Πολυεστέρων/Πολυανθρακικών

Η αλματώδης τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα της επιστήμης των υλικών από το τέλος της δεκαετίας του 40 και μετέπειτα, οδήγησε στην παρασκευή μεγάλης ποικιλίας συνθετικών πολυμερών (σιλικόνες, πολυεστέρες, εποξειδικές ρητίνες κλπ). Τα υλικά αυτά εκτός του χαμηλού κόστους παραγωγής τους, αποκτούν πλεονεκτική θέση έναντι των παραδοσιακών υλικών αλλά και των φυσικών πολυμερών υλικών για έναν επιπλέον λόγο.

Ο τρόπος ανάπτυξης και παραγωγής τους παρέχει κατά την κατασκευή τη δυνατότητα ελέγχου και διαμόρφωσης των τελικών ιδιοτήτων με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις τα τελικώς παραγόμενα υλικά να παρουσιάζουν ιδιότητες που προσομοιάζουν και ενδεχομένως

είναι και ανώτερες από τις αντίστοιχες των έως τώρα γνωστών και διαδεδομένων σε χρήση υλικών.

Όσον αφορά στα χημικά τους χαρακτηριστικά, αποτελούνται από μόρια μεγάλου μεγέθους, ήτοι ενώσεις πολυάριθμων ατόμων που συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς σχηματίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την πολυμερική μοριακή «αλυσίδα» [3].

Κατά την IUPAC, ως πολυμερές ή μακρομόριο χαρακτηρίζεται «ένα μόριο υψηλής σχετικής μοριακής μάζας, η δομή του οποίου ουσιαστικά βασίζεται στην πολλαπλή επανάληψη των δομικών (μοριακών ή ατομικών) μονάδων που αποτελούνται από μόρια χαμηλότερης σχετικής μοριακής μάζας» [7]. Η δομή τους όπως προκύπτει και από τον παραπάνω ορισμό χαρακτηρίζεται από την πολλαπλά επαναλαμβανόμενη εμφάνιση μέσα σε αυτές (στις μακρομοριακές ενώσεις) των βασικών μοριακών δομών από τις οποίες σχηματίζονται [2].

Μεταξύ τους οι επιμέρους μοριακές δομικές μονάδες συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς. Οι δεσμοί αυτοί είναι διαμορφωμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι ιδιότητες του κάθε πολυμερούς να μην επηρεάζονται σε περίπτωση που προστίθεται ή αφαιρείται μία ή/και περισσότερες από τις δομικές μονάδες της μοριακής αλυσίδας.

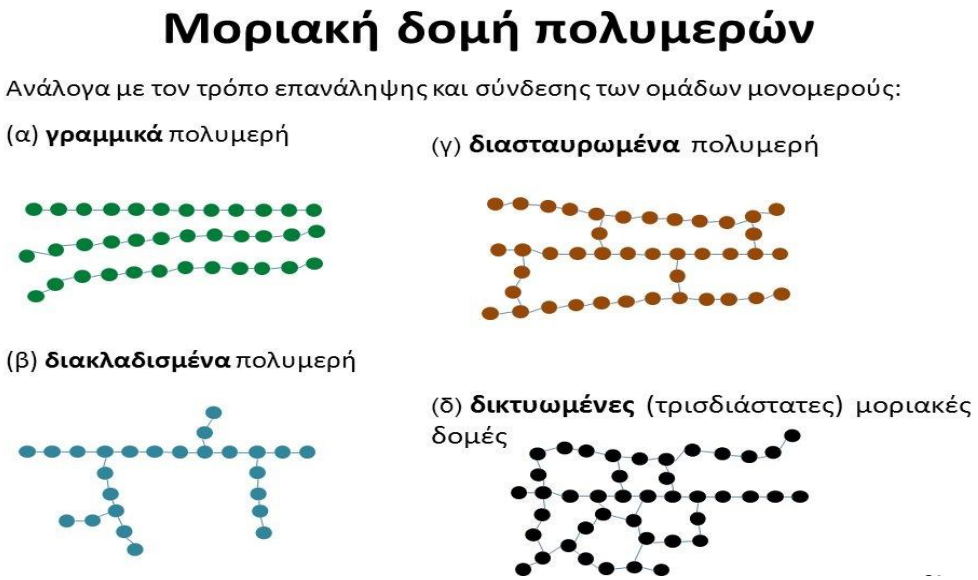
Η εν λόγω δομική ιδιομορφία των πολυμερών παίζει καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση των χαρακτηριστικών και ιδιαίτερα διαφοροποιημένων ιδιοτήτων που εμφανίζουν τα υλικά αυτά σε σύγκριση με τα συμβατικά υλικά όπως είναι για παράδειγμα τα μέταλλα και τα κεραμικά.

Στις μέρες μας η τεχνολογία και η χρήση των πολυμερών υλικών αναπτύσσεται ταχύτατα καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διάφορους τομείς όπως για παράδειγμα, η βιομηχανία, ο κατασκευαστικός/οικοδομικός τομέας, η αεροναυπηγική, η ιατρική, ο αθλητισμός, η αυτοκίνηση και πολλοί άλλοι.

3.3. Ταξινόμηση πολυμερών υλικών

Τα πολυμερή πέραν του διαχωρισμού τους ως ομοπολυμερή (οι δομικές μονάδες της μοριακής αλυσίδας είναι όμοιες) ή συμπολυμερή (η μοριακή αλυσίδα αποτελείται από ποικίλες δομικές μονάδες) μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και βάσει της μοριακής τους δομής, σε γραμμικά πολυμερή (πολυαιθυλένιο, πολυστυρένιο), διακλαδισμένα πολυμερή

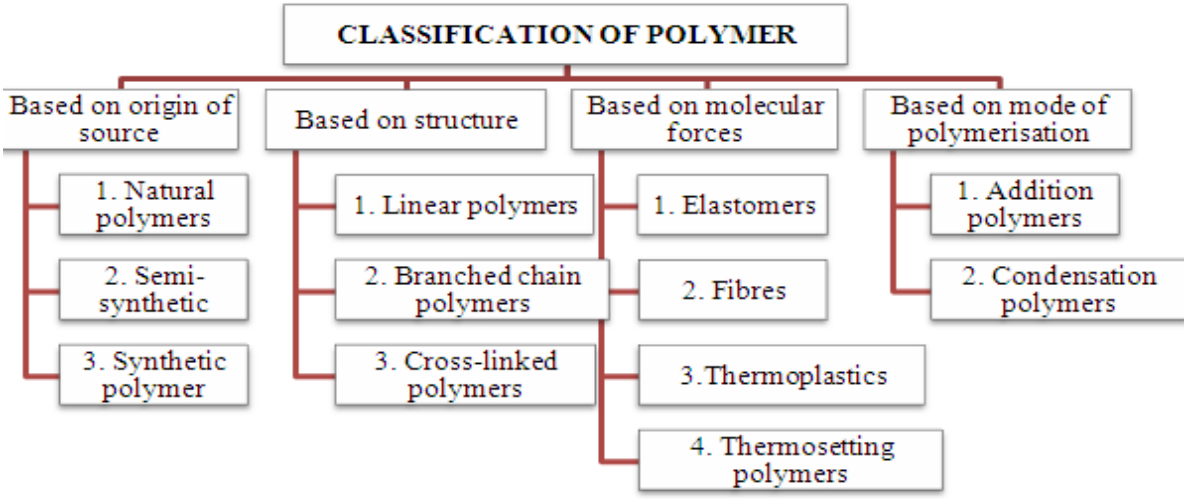
(HDPE, LDPE), διασταυρωμένα πολυμερή (ελαστικά υλικά όπως το καουτσούκ) και δικτυωμένα πολυμερή (εποξειδικά πολυμερή, πολυμερή φαινόλης- φορμαλδεΰδης) (Εικόνα 3.3-1) [2].



Εικόνα 3.3-1. Τύποι μοριακής δομής πολυμερούς Πηγή: (http://slideplayer.gr/slide/11592194/).

Μπορούν επίσης να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες (Εικόνα 3.3-2) λαμβάνοντας υπόψη [6]:

- τα επιμέρους υλικά/στοιχεία από τα οποία αποτελούνται (χημική σύσταση)
- τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται
- την προέλευσή τους
- τις φυσικές ή/και άλλες χαρακτηριστικές τους ιδιότητες
- την/τις μεθόδους επεξεργασίας/μορφοποίησης τους.



Εικόνα 3.3-2. Κατάταξη Πολυμερών Υλικών.

3.3.1. Κατηγοριοποίηση βάσει χημικής σύστασης

Τα πολυμερή διαχωρίζονται αρχικά σε οργανικά και σε ανόργανα. Στα υλικά της πρώτης υποκατηγορίας συμπεριλαμβάνονται πολυμερή στα μακρομόρια των οποίων πέραν των ατόμων άνθρακα είναι δυνατόν να περιέχονται και άτομα άλλων οργανικών στοιχείων όπως υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο. Τα άτομα αυτά μπορεί να απαντώνται και στον βασικό κορμό της αλυσίδας του μακρομορίου των πολυμερών στα οποία συμπεριλαμβάνονται [2].

Στα ανόργανα πολυμερή συμπεριλαμβάνονται όλα τα πολυμερή που στον κορμό της μοριακής τους αλυσίδας δεν εμπεριέχουν άτομα άνθρακα ή που περιλαμβάνουν άτομα άλλων στοιχείων υψηλότερου σθένους [6].

3.3.2. Κατηγοριοποίηση βάσει του τομέα εφαρμογής

Ένας άλλος απλός και ιδιαίτερα συνηθισμένος τρόπος διαχωρισμού των πολυμερών, είναι αυτός της κατηγοριοποίησής τους με βασικό κριτήριο την εφαρμογή ή τις εφαρμογές στις οποίες κατά κόρον χρησιμοποιούνται. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω τα πολυμερή υποδιαιρούνται σε [6]:

- Πλαστικά
- Ελαστομερή
- Ίνες
- Κόλλες
- Επιχρίσματα.

Η εν λόγω κατάταξη ενδεχομένως δεν περιορίζει την δυνατότητα χρήσης υλικών που συγκαταλέγονται σε μια εκ των παραπάνω διακριτών κατηγοριών, να βρίσκουν πεδίο εφαρμογής και σε κάποιες ή και σε όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το υλικό PET με το οποίο κατασκευάζονται φιάλες αναψυκτικών, ακτινογραφικό φιλμ, εξαρτήματα μηχανών (ιμάντες, τσιμούχες, γρανάζια κλπ).

3.3.3. Κατηγοριοποίηση βάσει της προέλευσης

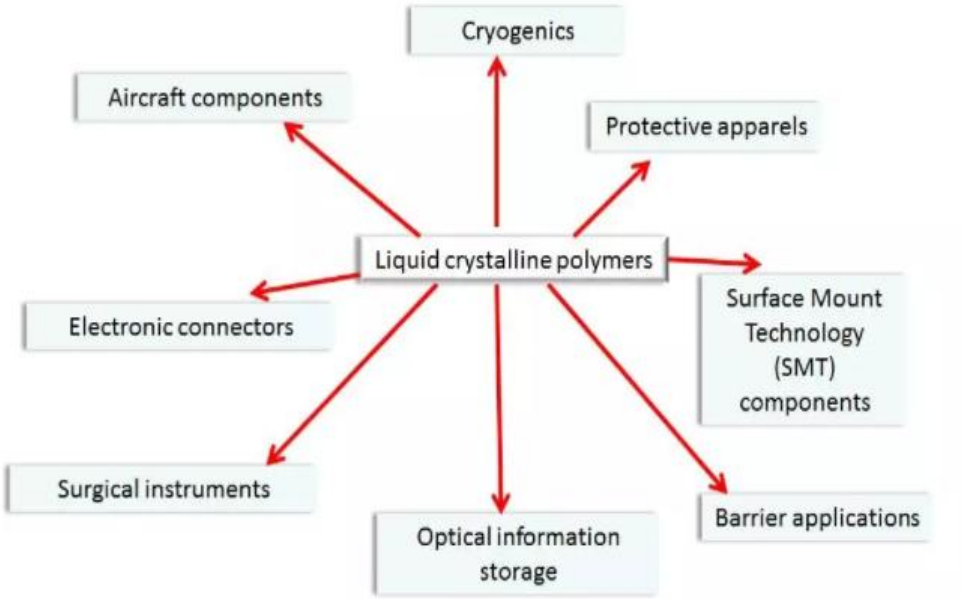
Η κατηγοριοποίηση των πολυμερών με βάση την προέλευση γίνεται σε 3 διαφορετικές κατηγορίες:

1. Φυσικά πολυμερή: Μακρομοριακές ενώσεις που απαντώνται στη φύση (π.χ. καουτσούκ, πρωτεΐνες, άμυλο κλπ)
2. Βελτιωμένα ή τροποποιημένα φυσικά πολυμερή: Παράγωγα φυσικών πολυμερών που σκοπό έχουν την αξιοποίηση και ταυτόχρονα την βελτίωση των φυσικών χαρακτηριστικών τους (π.χ. οξική, νιτρική και αναγεννημένη κυτταρίνη κ. α.)
3. Συνθετικά πολυμερή: Υλικά που παρασκευάζονται εργαστηριακά με σκοπό την αντικατάσταση και βελτίωση των ιδιοτήτων των κλασικών παραδοσιακών υλικών (π.χ. ρητίνες, πολυεστέρες, πολυαμίδια κλπ)

3.3.4. Κατηγοριοποίηση βάσει φυσικών ή άλλων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων

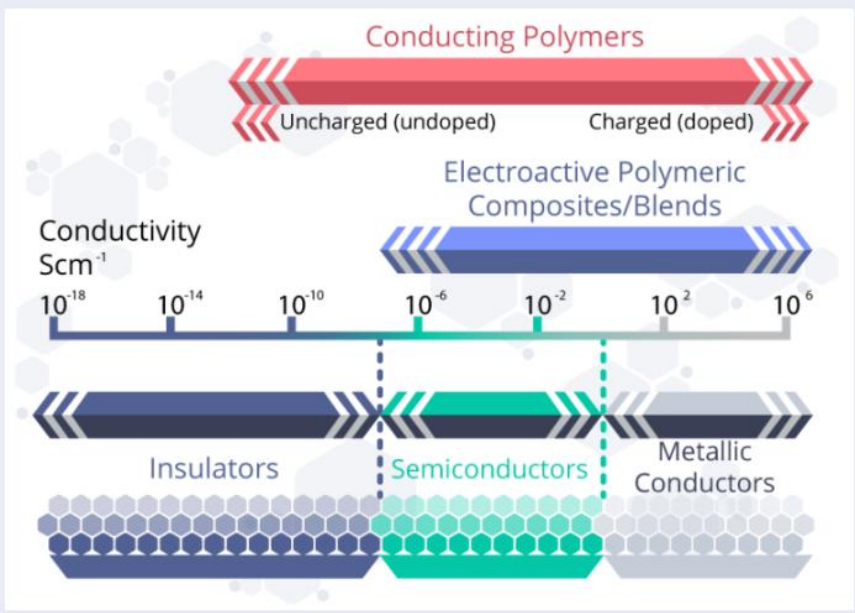
Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης κατάταξης τα πολυμερή μπορούν να καταταγούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Υγροκρυσταλλικά πολυμερή (LCP): Πολυμερή τα οποία όπως συμβαίνει και με άλλες ενώσεις υγροκρυσταλλικής φύσεως, οργανικής ή ανόργανής μορφής παρουσιάζουν χαρακτηριστικά αυτό-οργάνωσης όταν βρίσκονται σε τηγματική ή διαλυματική κατάσταση. Η συγκεκριμένη ιδιότητα καθιστά τα παραπάνω υλικά κατάλληλα προς χρήση σε πλήθος εφαρμογών (Εικόνα 3.3.4-1).

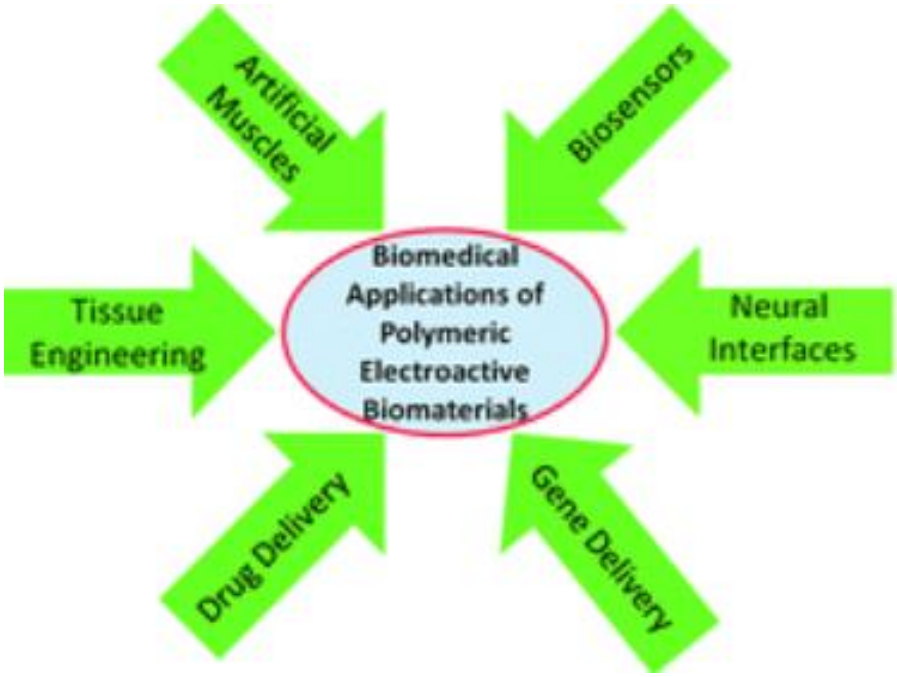


Εικόνα 3.3.4-1. Εφαρμογές υγροκρυσταλικών πολυμερών.

- Φωτονικά πολυμερή (photonics): Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται στη φωτονική τεχνολογία η οποία βρίσκει πρόσφορο έδαφος σε πλήθος επιστημονικών και τεχνολογικών εφαρμογών όπως οι τηλεπικοινωνίες, η ιατρική, η αεροναυπηγική, η βιομηχανία και οι κατασκευές, η αμυντική τεχνολογία κλπ.
- Αγώγιμα και φωτοαγώγιμα πολυμερή: Πολυμερή που έχουν χαρακτηριστική ιδιότητα να επιτρέπουν την μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος συμπεριφερόμενοι ως αγωγοί (Εικόνες 3.3.4-2 και 3.3.4-3) ή αντιστοίχως συμπεριφέρονται ως αγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού της επιφάνειάς τους.

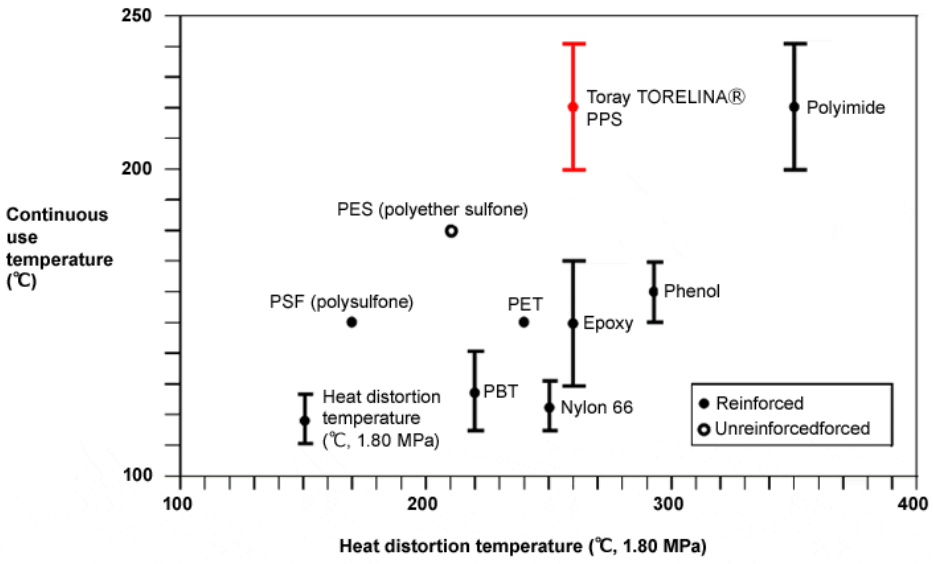


Εικόνα 3.3.4-2. Κατάταξη πολυμερικών υλικών βάσει αγωγιμότητας.



Εικόνα 3.3.4-3. Εφαρμογές αγώγιμων πολυμερών στη βιοιατρική τεχνολογία.

- <u>Θερμοανθεκτικά πολυμερή (heat resistant polymers):</u> Πρόκειται για υλικά τα οποία χαρακτηρίζονται από την αντοχή που παρουσιάζουν όταν χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα θερμοανθεκτικών υλικών αποτελούν όπως προκύπτει κι από την Εικόνα 3.3.4-4 τα πολυαμίδια.



Εικόνα 3.3.4-4. Συγκριτική κατάταξη θερμικής αντοχής ρητινών.

- <u>Υδατοδιαλυτά πολυμερή (water-soluble polymers):</u> Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της κατηγορίας υλικών αποτελεί η ευδιαλυτότητά τους στο νερό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υδροδιαλυτών πολυμερών είναι η πολύ-βινυλική αλκοόλη, η μεθυλοκυτταρίνη , πολυβινυλοπυρροδίνη και πολλά ακόμα [14].

3.3.5. Κατηγοριοποίηση βάσει της μεθόδου μορφοποίησης

Ο τρόπος κατά τον οποίο ανταποκρίνεται ένα πολυμερές όταν υποβληθεί σε θέρμανση, συνδυάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό (αν και όχι αποκλειστικά) με την μοριακή του δομή [1, 2, 6]. Με βάση το παραπάνω, τα πολυμερή κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1. <u>Θερμοπλαστικά *ή Θερμοπλαστικά πολυμερή (thermoplastics)*:</u> Τα συγκεκριμένα πολυμερή χαρακτηρίζονται από την ιδιομορφία τους να μαλακώνουν κατά την θέρμανση και να σκληραίνουν κατά την ψύξη τους αντίστοιχα. Με την άσκηση πίεσης επί των υλικών αυτών σε συνδυασμό με την τοποθέτηση τους εντός κατάλληλων καλουπιών μπορεί να προσδίδεται σε αυτά το κατά περίπτωση επιθυμητό σχήμα. Η μοριακή τους δομή δεν αλλάζει με τη θέρμανση, συνεπώς μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία πολλές φορές (επανέρχονται στην πλαστική φάση) (Εικόνα 3.3.5-1).
2. <u>Θερμοσκληρυνόμενα *ή Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή (thermosetting polymers):*</u> Και εδώ η επεξεργασία και μορφοποίηση επιτυγχάνεται με την θέρμανση και την

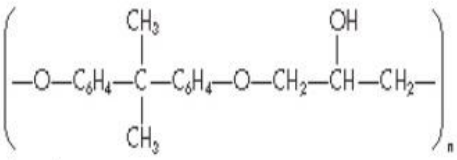
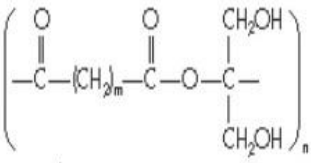
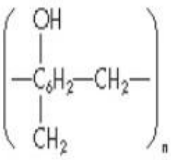
εφαρμογή πίεσης (σε κάποιες περιπτώσεις), στο υλικό που είναι τοποθετημένο εντός του καλουπιού. Η διαδικασία της σκλήρυνσης στα θερμοσκληρονόμενα πολυμερή, σε σχέση με την αντίστοιχη που αναλύθηκε για τα θερμοπλαστικά, είναι μη αναστρέψιμη και δεν μπορεί να επαναπραγματοποιείται πολλές φορές (Εικόνα 3.3.5-2). Αυτό οφείλεται στην μοριακή δομή του τελικού πολυμερούς.

3. <u>Ελαστομερή *ή Ελαστικά (elastomers):*</u> Τα υλικά που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή παρουσιάζουν πολύ υψηλή ελαστικότητα με αποτέλεσμα κατά την άσκηση δύναμης (εφελκυστικής τάσης) να μην υφίστανται μόνιμη παραμόρφωση. Επανέρχονται δε στην αρχική τους μορφή όταν η εφαρμοζόμενη δύναμη σταματήσει να ασκείται σε αυτά. Πρόκειται για εύκαμπτα και ευλύγιστα υλικά τα οποία είναι πρακτικά αδύνατο να θραυτούν.

   Είναι επίσης αδιάλυτα και δεν τήκονται (Εικόνα 3.3.5-3). Τα ελαστομερή μπορεί να είναι θερμοπλαστικά ή θερμοσκληραινόμενα.

Thermoplastic	*Composition*	*Uses*
Polyethylene, PE	$\left(\begin{matrix} H \\ \vert \\ -C- \\ \vert \\ H \end{matrix}\right)_n$ Partly crystalline.	Tubing, film, bottles, cups, electrical insulation, packaging.
Polypropylene, PP	$\left(\begin{matrix} H & H \\ \vert & \vert \\ -C & -C- \\ \vert & \vert \\ H & CH_3 \end{matrix}\right)_n$ Partly crystalline.	Same uses as PE, but lighter, stiffer, more resistant to sunlight.
Polytetrafluoroethylene, PTFE	$\left(\begin{matrix} F \\ \vert \\ -C- \\ \vert \\ F \end{matrix}\right)_n$ Partly crystalline.	Teflon. Good, high-temperature polymer with very low friction and adhesion characteristics. Non-stick saucepans, bearings, seals.
Polystyrene, PS	$\left(\begin{matrix} H & H \\ \vert & \vert \\ -C & -C- \\ \vert & \vert \\ H & C_6H_5 \end{matrix}\right)_n$ Amorphous.	Cheap moulded objects. Toughened with butadiene to make high-impact polystyrene (HIPS). Foamed with CO_2 to make common packaging.
Polyvinylchloride, PVC	$\left(\begin{matrix} H & H \\ \vert & \vert \\ -C & -C- \\ \vert & \vert \\ H & Cl \end{matrix}\right)_n$ Amorphous.	Architectural uses (window frames, etc.). Plasticised to make artificial leather, hoses, clothing.
Polymethylmethacrylate, PMMA	$\left(\begin{matrix} H & CH_3 \\ \vert & \vert \\ -C & -C- \\ \vert & \vert \\ H & COOCH_3 \end{matrix}\right)_n$ Amorphous.	Perspex, lucite. Transparent sheet and mouldings. Aircraft windows, laminated windscreens.
Nylon 66	$\left(-C_6H_{10}NO-\right)_n$ Partly crystalline when drawn.	Textiles, rope, mouldings.

Εικόνα 3.3.5-1.Τυπικά Θερμοπλαστικά Υλικά (Πηγή: https://www.slideshare.net.).

Thermoset	*Composition*	*Uses*
Epoxy	 Amorphous.	Fibreglass, adhesives. Expensive.
Polyester	 Amorphous.	Fibreglass, laminates. Cheaper than epoxy.
Phenol-formaldehyde	 Amorphous.	Bakelite, Tufnol, Formica. Rather brittle.

Εικόνα 3.3.5-2. Τυπικά Θερμοσκληρυνόμενα Υλικά (Πηγή: https://www.slideshare.net).

Chemical Type	*Trade (Common) Name*	*Elongation (%)*	*Useful Temperature Range [°C (°F)]*	*Major Application Characteristics*	*Typical Applications*
Natural poly-isoprene	Natural Rubber (NR)	500–700	−55 to 120 (−65 to 250)	Excellent physical properties; good resistance to cutting, gouging, and abrasion; low heat, ozone, and oil resistance; good electrical properties	Pneumatic tires and tubes; heels and soles; gaskets
Styrene–butadiene copolymer	GRS, Buna S (SBR)	450–500	−60 to 120 (−75 to 250)	Good physical properties; excellent abrasion resistance; not oil, ozone, or weather resistant; electrical properties good, but not outstanding	Same as natural rubber
Acrylonitrile–butadiene copolymer	Buna A, Nitrile (NBR)	400–600	−50 to 150 (−60 to 300)	Excellent resistance to vegetable, animal, and petroleum oils; poor low-temperature properties; electrical properties not outstanding	Gasoline, chemical, and oil hose; seals and O-rings; heels and soles
Chloroprene	Neoprene (CR)	100–800	−50 to 105 (−60 to 225)	Excellent ozone, heat, and weathering resistance; good oil resistance; excellent flame resistance; not as good in electrical applications as natural rubber	Wire and cable; chem. tank linings; belts, hoses, seals, and gaskets
Polysiloxane	Silicone (SIL)	600	−90 to 250 (−130 to 480)	Excellent resistance to high and low temperatures; low strength; excellent electrical properties	High- and low-temperature insulation; seals, diaphragms; tubing for food and medical uses

Εικόνα 3.3.5-3. Τυπικά Ελαστομερή Υλικά (Πηγή: Handbook of specialty elastomers, 2008).

3.4. Σύνθετα υλικά

3.4.1. Εισαγωγή

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για αποδοτικότερα υλικά σε υπάρχουσες αλλά και νέες επιστημονικές και τεχνολογικές εφαρμογές, είναι συνυφασμένες με την ιστορική εξέλιξη της ανθρωπότητας. Οι απαιτήσεις αυτές αποτελούν τις βάσεις δημιουργίας και εδραίωσης της επιστήμης και τεχνικής των υλικών ως κλάδου. Οι ειδικές προϋποθέσεις σε ότι αφορά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες που συνήθως απαιτούνται σε τομείς υψηλής τεχνολογίας όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροναυπηγική, η αεροδιαστημική, ο μηχανοκίνητος αθλητισμός, η ναυπηγική, η βιοιατρική κλπ, οδήγησαν τους επιστήμονες στην μελέτη και κατασκευή υλικών τα οποία συντίθενται από περισσότερες φάσεις, κάθε μία εκ των οποίων συνεισφέρει στο τελικώς παραγόμενο υλικό τα δικά της βέλτιστα χαρακτηριστικά. Μεγάλος αριθμός συνθέτων υλικών αποτελούνται από τουλάχιστον δύο φάσεις. Οι φάσεις αυτές είναι α) η μήτρα που είναι συνεχής και ουσιαστικά εμπεριέχει (περιβάλλει) την δεύτερη φάση μαζί με την οποία συναποτελούν το σύνθετο υλικό και β) η διεσπαρμένη φάση. Ο ρόλος της μήτρας είναι πολυδιάστατος. Μέσω της παρουσίας της διασφαλίζεται η προστασία της ενισχυτικής ουσίας (διεσπαρμένης φάσης) από την επίδραση εξωγενών παραγόντων. Παράλληλα προσδίδεται στο τελικό παράγωγο η απαιτούμενη συνεκτικότητα μεταξύ των επιμέρους συστατικών από τα οποία αποτελείται, παράγοντας που διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε ότι αφορά τις τελικές του ιδιότητες. Τα υλικά που χαρακτηρίζονται από υψηλού βαθμού συνεκτικότητες παρουσιάζουν και καλύτερες ιδιότητες. Αυτό συμβαίνει διότι μέσω της αυξημένης συνοχής των επιμέρους συστατικών επιτυγχάνεται η βέλτιστη μεταφορά των ασκούμενων φορτίων (δυνάμεων) μεταξύ των διαφορετικών φάσεων του εκάστοτε υλικού με αποτέλεσμα τη βελτίωση εν γένει των ιδιοτήτων του [13]. Οι βέλτιστοι συνδυασμοί ιδιοτήτων επιτυγχάνονται μέσω του συνδυασμού των κατάλληλων υλικών.

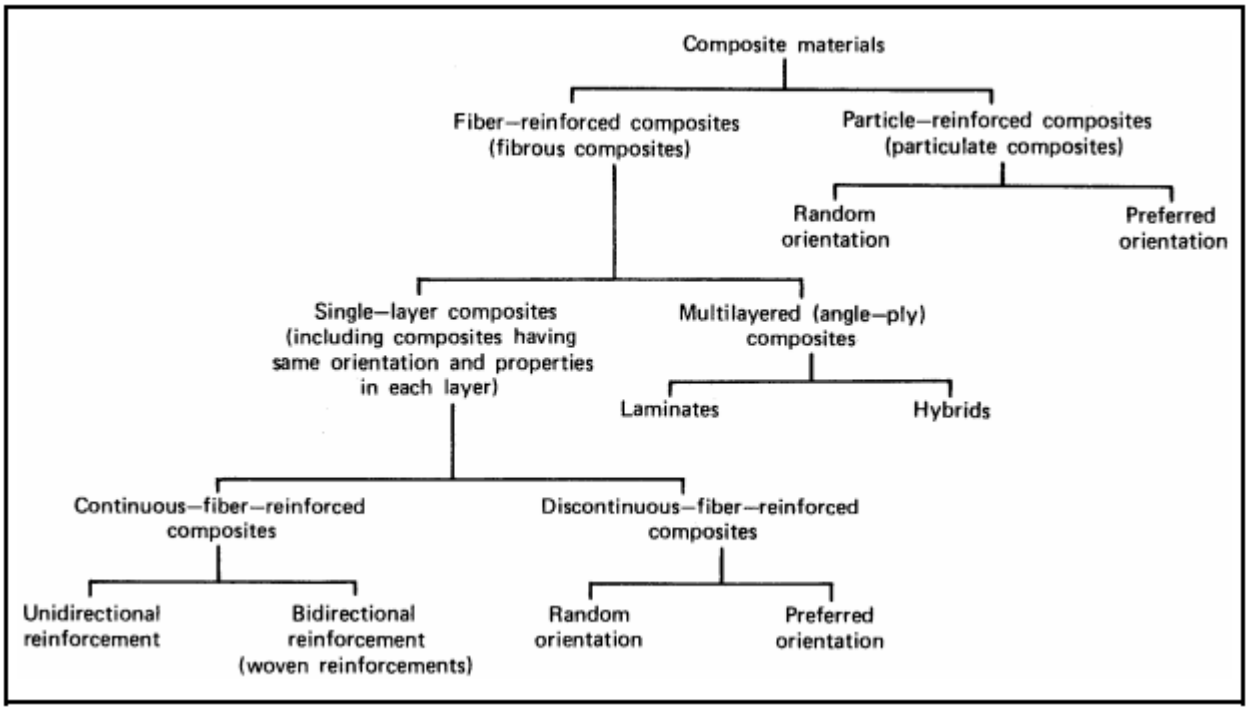
Ως αποτέλεσμα των ανωτέρω τα σύνθετα αυτά υλικά χαρακτηρίζονται συνήθως από πολύ καλές ιδιότητες κι έτσι θεωρούνται ιδανικά να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών όπως αυτές που προαναφέρθηκαν [2].

Η ταξινόμηση των συνθέτων υλικών (Εικόνα 3.4.1-1) μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο ένας είναι με βάση το υλικό της μήτρας και ο δεύτερος με βάση το πληρωτικό μέσο ή μέσο ενισχύσεως που επιλέγεται να ενσωματωθεί στη μήτρα [1, 2]. Λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς τη μήτρα τα υλικά χωρίζονται σε τρείς μεγάλες κατηγορίες:

1. Σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας (Ceramic Matrix Composites, CMCs)
2. Σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας (Metal Matrix Composites, MMCs)
3. Σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας (Polymer Matrix Composites, PMCs).

Αντίστοιχα σε ότι αφορά στην κατηγοριοποίηση των συνθέτων με βάση το είδος του μέσου ενίσχυσης υπάρχουν τρεις τύποι συνθέτων υλικών:

a. Ινώδη σύνθετα Υλικά (Fibrous Composites)
b. Πολυστρωματικά Σύνθετα Υλικά (Laminated Composites)
c. Κοκκώδη Σύνθετα Υλικά (Particulate Composites).



Εικόνα 3.4.1-1.Ταξινόμιση Συνθέτων Υλικών.

3.4.2. Σύνθετα Υλικά Πολυμερικής Μήτρας (θερμοσκληρυνόμενα)

Τα θερμοσκληρυνόμενα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας αποτελούν μια από τις πιο διαδεδομένες κατηγορίες συνθέτων υλικών. Τα υλικά αυτά, αποτελούνται από μήτρα θερμοσκληραινόμενου πολυμερούς και μπορούν να χρησιμοποιούν ένα μέσο ενισχύσεως εξ' αυτών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Μεταξύ των πολλών πλεονεκτημάτων των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών είναι το χαμηλό μοριακό τους βάρος και ιξώδες, η εύκολη κατεργασιμότητά τους, το περιορισμένο κόστος τους, η εύκολη και γρήγορη διαδικασία μορφοποίησής τους κατά την οποία, μέσω σκλήρυνσης θερμικής ή σε συνδυασμό με την εφαρμογή πίεσης (θερμοσυμπίεση) αποκτούν τα τελικά τους χαρακτηριστικά. Τα πιο διαδεδομένα (σε χρήση ως μήτρες) θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή είναι ο ακόρεστοι πολυεστέρες, οι εποξειδικές ρητίνες και οι ρητίνες φαινόλης-φορμαλδεΰδης. Από αυτές, οι περισσότερο διαδεδομένες σε ότι αφορά στη χρήση τους είναι οι πολυεστερικές και οι βινυλεστερικές ρητίνες. Τα υλικά αυτά λόγω των περιορισμένων αντοχών από τις οποίες χαρακτηρίζονται, συνήθως χρησιμοποιούνται ως μήτρες σε σύνθετα υλικά που ενισχύονται με την ενσωμάτωση σε αυτά υαλονημάτων. Στην περίπτωση εφαρμογών που απαιτούν ενισχυμένες αντοχές χρησιμοποιούνται εποξειδικές ρητίνες οι οποίες έχουν σαφώς ανώτερες μηχανικές ιδιότητες από τους πολυεστέρες και τους βινυλεστέρες και ως συνέπεια αυτού έχουν και υψηλότερο κόστος [1-5].

3.4.3. Κοκκώδη Σύνθετα Υλικά Πολυμερικής Μήτρας

Τα σωματιδιακά ή κοκκώδη σύνθετα υλικά είναι αυτά στα οποία ως μέσο ενίσχυσης ή πλήρωσης εισάγονται και διασπείρονται στην πολυμερική μήτρα σωματίδια (κόκκοι) ενός ή περισσότερων (μετά από ανάμειξη) υλικών. Η χρήση τους είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε αρκετές οικοδομικές και κατασκευαστικές εφαρμογές με χαρακτηριστικά παραδείγματα το σκυρόδεμα, τις κόλλες που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση πλακιδίων και μαρμάρων κ.α. [1]. Τα κοκκώδη σύνθετα υλικά υποδιαιρούνται σε δύο χωριστές κατηγορίες. Στα σύνθετα υλικά ενίσχυσης μεγάλων κόκκων και στα σύνθετα υλικά ενίσχυσης με διασπορά. Η διάκριση αυτή πραγματοποιείται λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς το μέσο ενίσχυσης. Ο χαρακτηρισμός μεγάλος (σε ότι αφορά το μέγεθος του κόκκου) χρησιμοποιείται με σκοπό να

υποδείξει την αδυναμία ανάλυσης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ κόκκου και μήτρας σε ατομικό ή μοριακό επίπεδο. Για την ανάλυση των υλικών αυτών χρησιμοποιείται η μηχανική τους συνεχούς μέσου. Στην πλειοψηφία των εν λόγω σύνθετων υλικών η κοκκώδης φάση χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δυσκαμψία και σκληρότητα σε σύγκριση με την μήτρα. Οι κόκκοι ενίσχυσης έχουν την τάση να εμποδίζουν τις κινήσεις της φάσης που αποτελεί τη μήτρα στα σημεία γειτνίασης κάθε κόκκου. Μέσω της μήτρας πραγματοποιείται η μεταφορά μέρους του εφαρμοζόμενου (στο σύνθετο) φορτίου στους κόκκους οι οποίοι με τη σειρά τους γίνονται αποδέκτες και πλέον φέρουν ένα μέρος αυτού του φορτίου. Ο βαθμός ενίσχυσης και η συνδεόμενη με αυτόν βελτίωση των μηχανικών αντοχών του παραγόμενου συνθέτου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ των δεσμών της διεπιφάνειας μεταξύ της μητρικής και της κοκκώδους ενισχυτικής φάσης. Στην περίπτωση των συνθέτων υλικών με ενίσχυση διασποράς το μέγεθος των κόκκων είναι πολύ μικρότερο με κόκκους της τάξεως 0.01 μm και 0.1 μm. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ενισχυτικής και της μητρικής φάσης λαμβάνουν χώρα σε μοριακό ή/και σε ατομικό επίπεδο και το μεγαλύτερο μέρος του ασκούμενου (στο σύνθετο) φορτίου παραλαμβάνεται από την μήτρα με την κοκκώδη φάση να συντελεί ως ανασχετικός μηχανισμός των φαινομένων εκείνων που οδηγούν σε πλαστικού τύπου παραμορφώσεις, αυξάνοντας ταυτόχρονα τις μηχανικές αντοχές των υλικών αυτών [2].

Ως μέσο ενίσχυσης τα σωματίδια αποτελούν την πλέον κοινή και φθηνή λύση. Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή τους μπορεί να επιλεγεί πλήθος φυσικών υλικών, παραπροϊόντων αλλά και υπολειμμάτων παραγωγικών και άλλων διαδικασιών. Οι αρκετά καλές φυσικό-χημικές ιδιότητες (χαμηλή πυκνότητα, υψηλή δυσθραυστότητα και δυσκαμψία, αυξημένη θερμοανθεκτικότητα κ.α.) των σωματιδιακού τύπου υλικών, αποτελούν έναν ακόμη βασικό παράγοντα που προκρίνει την επιλογή τους σε πολλές εφαρμογές. Τα κοκκώδη υλικά λόγω της χαμηλής τους πυκνότητας έχουν ως αποτέλεσμα την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων όταν χρησιμοποιηθούν ως εγκλείσματα ενισχύσεως. Τα περισσότερα εκ των γνωστών συμβατικών υλικών που χρησιμοποιούνται υπό αυτή τη μορφή στην παραγωγή συνθέτων υλικών, θεωρούνται κατά προσέγγιση ομογενή και ισότροπα με σκοπό την διευκόλυνση της μελέτης της μηχανικής τους συμπεριφοράς. Ακολούθως παρατίθενται συνοπτικά οι

κατηγορίες με βάση το κοκκομετρικό μέγεθος στις οποίες μπορούν να καταταγούν τα σωματιδιακά εγκλείσματα.

Πίνακας 3.4.3-1.Κατηγορίες σωματιδίων βάσει κοκκομετρικού μεγέθους (Πηγή: Σιμιτζής, 2017).

Κατηγορία θραύσης	Μέγεθος κόκκου	Παραγώγου θραυστικής διαδικασίας
Χονδρόκοκκος Θραύση	>50 mm	Θρύμματα
Λεπτή Θραύση	5 mm έως 50 mm	Θραύσματα
Άλεση ως χονδρή άμμος	0.5 mm έως 5 mm	Χονδόκοκκη άμμος
Λεπτή Άλεση	50 μm έως 500 μm	Άμμος μορφής αλεύρου (flour)
Λεπτότατη Άλεση	5 μm έως 50 μm	Σκόνη, πούδρα (powder)
Κολλοειδής Άλεση	< 5 μm	

Σημαντικό ρόλο σε ότι αφορά στη μηχανική απόδοση των πολυμερών συνθέτων κοκκώδους φύσεως κατέχει η διεπιφάνεια αλλά και η πρόσφυση του υλικού της μήτρας με το μέσο ενίσχυσης.

Η άριστη πρόσφυση μεταξύ του υλικού της μήτρας και του πληρωτικού κοκκώδους μέσου ενδεχομένως να είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων οι οποίες λαμβάνουν χώρα στην διεπιφάνεια του συνθέτου, δηλαδή στα σημεία γειτνίασης της μητρικής και της κοκκώδους φάσης. Η εκτεταμένη εμφάνιση των εν λόγω αντιδράσεων μπορεί να οδηγήσει στην υποβάθμιση των διεπιφανειακών δεσμών και κατά συνέπεια των ιδιοτήτων του τελικώς παραγόμενου υλικού. Η επίτευξη αρίστης διεπιφάνειας μήτρας-μέσου ενισχύσεως, προϋποθέτει την ικανότητα της μήτρας να διαβρέχει το εμπεριεχόμενο μέσο (πλήρωσης ή ενίσχυσης). Τα χαρακτηριστικά των κόκκων και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες τους είναι αυτές οι οποίες ευθύνονται κυρίως για τον περιορισμό της διαβρεκτικής ικανότητας της μητρικής φάσης που έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της αντοχής των παραγόμενων υλικών [1, 16, 17].

Βιβλιογραφία 3ου Κεφαλαίου

1. Ι.Χ. Σιμιτζής, *Επιστήμη και Τεχνική των Πολυμερών και Σύνθετων Υλικών*, Αθήνα Φεβρουάριος 2017, pp. 12-42, 513-516, 628-633.

2. W.D. Callister, D.G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 9th edition, John Wiley & Sons 2015, pp. 117-142, 541-587.

3. Ν. Χατζηχρηστίδης, Μ. Πιτσικάλης, Ε. Ιατρού, *Βιομηχανική Χημεία – Πολυμερή*, Σημειώσεις Μαθήματος, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα 2008.

4. H. Staudinger, *Die Hochmolekularen Organischen Verbindungen: Kautschuk und Cellulose*, Springer, Berlin, 1932.

5. P.C. Hiemenz, T.P. Lodge, *Polymer Chemistry*, Second Edition, CRC Press, Bo ca Ratton, 2007, pp. 43-117.

6. Γ. Καραγιαννίδης, Ε. Σιδερίδου, *Χημεία Πολυμερών*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2010, pp.17-49.

7. https://iupac.org/polymer-edu/what-are-polymers/

8. IUPAC, Glossary of basic terms in polymer science, Volume 68, Issue 12, (IUPAC Recommendations 1996), January 1996, IUPAC, pp. 2287-2311.

9. https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/pac.1996.68.issue12/pac199668122287/pac199668122287.pdf

10. P.C. Painter, M.M. Coleman, *The Early History of Polymers, Essentials of Polymer Science and Engineering*, DE Stech Publications, 2008, pp. 7–9.

11. J.W. Hyatt Jr., I. S. Hyatt, *Improving in Treating and Molding Pyroxyline*, Patent No.105338, United States Patent Office, USA, July 1870 https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US105338.pdf

12. S.S. Zumdahl, S.A. Zumdahl, *Chemistry*, 9th ed., Cole, Cengage Learning, Belmont, California: Brookes, 2014, pp.1046.

13. C.F. Kettering, *Biographical Memoir of Leo Hendrik Baekeland 1863-1944*, National Academy of Sciences, Volume XXIV- Eighth Memoir, USA, 1946.

14. Δ. Σεμιτέκολος, *Κατασκευή και Μηχανικές Ιδιότητες Συνθέτων Υλικών Νεολάκης με ίνες Άνθρακα και Νανοσωλήνες Άνθρακα ως Πρόδρομων Υλικών για Σύνθετα Υλικά Άνθρακα-Άνθρακα*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2016.

15. https://www.slideshare.net/hasanjamal13/aramid-fibers-and-water-soluble-polymers

16. P.H. Geubelle, H.M. Inglis, J.D. Kramer, J.J. Patel, N.C Kumar, H. Tan, 2008, *Multiscale Modeling of Dewetting Damage in Highly Filled Particulate Composites,* AIP Conference Proceedings, 973,1.

17. Y.W. Kwon, J.H. Lee, C.T. Liu, C, (1998). *Study of damage and crack in particulate composites,* Composites Part B: Engineering*, 29(4), 443–450.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο- ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για την εξεύρεση ελεύθερων, δομήσιμων χώρων σε πολλές από τις μεγάλες πόλεις, σε πανευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο, στις οποίες η φέρουσα δομική χωρητικότητα έχει σχεδόν εξαντληθεί, θα οδηγήσει σύντομα στην υιοθέτηση εναλλακτικών πρακτικών με σκοπό την δημιουργία διαθέσιμων εκτάσεων. Μια εξ' αυτών των στρατηγικών που αρχίζει να εξετάζεται σε πολλές περιπτώσεις λόγω της δυνατότητας της αμεσότερης εφαρμογής της σε σχέση με άλλες μεθόδους, είναι η κατεδάφιση των παλαιών – γηρασμένων κτισμάτων με σκοπό την αξιοποίηση των χώρων που είχαν χρησιμοποιηθεί για την ανέγερση τους.

Στην Ελλάδα, ήδη από τα τέλη του 2018 μέσω εξαγγελιών της τότε πολιτικής ηγεσίας, παρουσιάστηκε ο προγραμματισμός και ανακοινώθηκαν οι σχετικές με την υλοποίηση αυτού λεπτομέρειες. Βασικό σημείο αναφοράς των ανωτέρω σύμφωνα με τις ανακοινώσεις είναι η Αθήνα, με σκοπό την επέκταση του προγράμματος μέσω της υλοποίησης αντίστοιχων δράσεων και σε άλλες περιοχές της ελληνικής επικράτειας μελλοντικά. Οι δράσεις που περιλαμβάνονται στον εν λόγω σχεδιασμό αφορούν σε υποβαθμισμένες περιοχές, κτίρια γηρασμένα, κτίρια με φθορές που τα καθιστούν ακατάλληλα προς χρήση, παλαιάς τεχνολογίας ενεργοβόρα κτίρια κ.α. Οι απαιτούμενες κατεδαφίσεις σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να αφορούν μεμονωμένα κτίσματα αλλά και ολόκληρα οικοδομικά τετράγωνα. Ενδεικτικά αναφέρονται οι περιοχές πέριξ της πλατείας Ομονοίας και πέριξ της πλατείας Βάθη.

Οι ενεργειακές και οι υλικές απαιτήσεις των έργων αυτής της κλίμακας, όπως είναι προφανές, θα είναι τεράστιες με αντιστοίχως σημαντικές επιπτώσεις ως αποτέλεσμα της υλοποίησης τους στο ανθρωπογενές αλλά και το φυσικό περιβάλλον.

Σημαντική συμβολή στον περιορισμό των επιπτώσεων αυτών θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΚΚ), που θα προκύψουν από τις κατεδαφίσεις των ανωτέρω κτιρίων και κτιριακών συγκροτημάτων. Μια από τις εν δυνάμει εφικτές διαχειριστικές πρακτικές είναι η χρήση των αξιοποιήσιμων υλικών που μπορεί να εμπεριέχονται στα ΑΚΚ για την κατασκευή νέων

δομικών υλικών, τα οποία με τη σειρά τους θα χρησιμοποιηθούν στην οικοδόμηση νέων κτιριακών εγκαταστάσεων.

Μεταξύ άλλων στα απόβλητα κατασκευών- κατεδαφίσεων ενδέχεται να συμπεριλαμβάνονται υλικά όπως τούβλα, πέτρες, χαλίκι, τσιμέντο, άμμος, κεραμικά (πλακάκια, είδη υγιεινής), μονωτικά υλικά, μάρμαρα, σοβάδες και άλλα αξιοποιήσιμα υλικά όπως γυαλί, μέταλλα, πλαστικά κ.α..

Πολλά από αυτά διατίθενται στο εμπόριο με τη μορφή δομικών υλικών ή ακόμα και ως συστατικά για την προετοιμασία υλικών που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές δομικού χαρακτήρα.

Τα υλικά αυτά, χαρακτηρίζονται από αρκετά καλές μηχανικές και θερμομονωτικές ιδιότητες για αυτό και η χρήση τους έχει εδραιωθεί σε πληθώρα εφαρμογών του τομέα των κατασκευών και της δόμησης. Λόγω των χαρακτηριστικών αυτών ιδιοτήτων τους, τα συγκεκριμένα παρά-προϊόντα της κατεδάφισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πληρωτικό ή ενισχυτικό μέσο στην κατασκευή συνθέτων δομικών υλικών συντελώντας παράλληλα στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγικής διαδικασίας των απαιτούμενων πόρων (εξόρυξη πρώτων υλών, επεξεργασία για την παραγωγή υλικών κλπ). Όπως παρουσιάζουν οι Reis et al., (2021), στην αναλυτική ανασκόπηση τους [1] μεταξύ των ετών 1992-2018 έχουν πραγματοποιηθεί συνολικά 163 επιστημονικές ερευνητικές εργασίες σχετικά με την παραγωγή και τη διαχείριση των ΑΚΚ. Στο συγκεκριμένο άρθρο διατυπώνεται η διαπίστωση ότι αναμένεται αύξηση της ετήσιας παραγωγής αποβλήτων προερχόμενων από κατασκευαστικές δραστηριότητες, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την υιοθέτηση και εφαρμογή νέων στρατηγικών οι οποίες θα πρέπει να βασίζονται στην επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωσή αυτών. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω σε συνδυασμό με το υψηλό δυναμικό ανακύκλωσης που παρουσιάζουν τα υλικά αυτά, αρκετές ερευνητικές εργασίες έχουν γίνει κατά τις τελευταίες δεκαετίες σχετικά με τις δυνατότητες αξιοποίησης των ΑΕΚΚ σε πλήθος εφαρμογών. Επί παραδείγματι, οι Cardoso et al., (2016) [2], οι Vieira et al., (2015) [6], Santos και Tubino, (2021) [26] στις μελέτες τους, επικεντρώθηκαν στην ανάλυση

των γεο-τεχνικών εφαρμογών στις οποίες τα ΑΚΚ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πληρωτικά/ενισχυτικά υλικά. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται η κατασκευή υποβάσεων οδοστρώματος και αγροτικών δρόμων, η παραγωγή τσιμέντου, η κατασκευή πεζοδρομίων, οι επιχωματώσεις και η αποκατάσταση λατομείων. Σε άλλες επιστημονικές εργασίες όπως αυτές των Jones et al. (2012), Favaretto et al. (2017), και Santos και Tubino (2015), [3, 4, 25] ερευνώνται οι δυνατότητες αξιοποίησης των ΑΚΚ και άλλων παραγώγων ή και υπολειμμάτων βιομηχανικών, γεωργικών και λοιπών παραγωγικών δραστηριοτήτων (λεπτόκοκκη άμμος από υλικά κατεδάφισης, σκόνη υάλου, υπολείμματα (στάχτες) εγκαταστάσεων καύσης, τρίμματα γυαλιού, τρίμματα ελαστικών, ιπτάμενη τέφρα, σκωρία μεταλλουργίας γεωργικά απόβλητα, υπολείμματα εξόρυξης άνθρακα κ.α.) στην ανάπτυξη περιβαλλοντικά φιλικών υλικών όπως το αφρώδες σκυρόδεμα, οι αφρώδεις τσιμεντόλιθοι και οι τσιμεντένιες πλάκες πεζοδρόμησης. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών αναδεικνύουν την καταλληλότητα ως προς τη χρήση των ανωτέρω παραπροϊόντων ως υλικά πλήρωσης ή ενίσχυσης στην παραγωγή δομικών υλικών.

Μια εναλλακτικής μορφής εφαρμογή στο πλαίσιο της οποίας συγκεκριμένες υποκατηγορίες ΑΚΚ μπορούν να αξιοποιηθούν μέσω της επαναχρησιμοποίησης, είναι η εδαφοκάλυψη και διάστρωση του χώρου υποδοχής αποβλήτων σε εγκαταστάσεις υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ). Υπάρχει σημαντικός αριθμός ερευνητικών εργασιών στις οποίες αναδεικνύονται οι δυνατότητες χρήσης ανακυκλωμένης ασφάλτου, αργιλωδών γαιών (χώματος), ανακυκλωμένου σκυροδέματος κ.α. παραγώγων της εναλλακτικής διαχείρισης ΑΚΚ [22-24] στην κατασκευή των τελικών και των προσωρινών στρωμάτων κάλυψης και προστασίας στο πλαίσιο των ενεργειών αποκατάστασης του χώρου διάθεσης (κύτταρο ΧΥΤΑ) από το περιβάλλον έδαφος, αποτρέποντας με αυτό τον τρόπο από ενδεχόμενη ρύπανση, αλλά και στην κατασκευή ειδικών στρωμάτων φραγμού απορροής για την προστασία πρανών.

Άλλοι ερευνητές επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη υλικών πολυμερικής μήτρας για την κατασκευή των οποίων χρησιμοποιούνται βιομηχανικού και βιοτεχνικού τύπου απόβλητα [18-20].

Στη διεθνή βιβλιογραφία μπορούν να εντοπιστούν αρκετές εργασίες σχετικά με τη αξιοποίηση αποβλήτων στην ανάπτυξη ανόργανων πολυμερών υλικών. Οι Komnitsas et al., (2009) [4] και οι Guerrieri και Sanjayan (2009) [21], μελετούν τα αποτελέσματα της χρήσης μεταλλικής σκωρίας και ιπτάμενης τέφρας σε συνδυασμό με σκωρία στην ανάπτυξη ανόργανων πολυμερών υλικών επισημαίνοντας ταυτόχρονα τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης και άλλων αποβλήτων παρεμφερούς τύπου (π.χ. απόβλητα εξόρυξης) στην κατασκευή αντίστοιχων υλικών. Στο δικό τους ερευνητικό πόνημα οι Kioupis et al. (2018) [5] διερευνούν διεξοδικά τις επιπτώσεις της ανάπτυξης γεοπολυμερών υλικών στα οποία εμπεριέχονται-κατόπιν υποβολής τους στην απαιτούμενη επεξεργασία-τούβλα από κατεδαφισμένα κτίρια.

Ακολουθώντας αντίστοιχη λογική, οι Contreras et al. (2016), στην έρευνά τους εξετάζουν τις δυνατότητες ανάπτυξης ενός νέου είδους τούβλου στην κατασκευή του οποίου τα κλασικά αδρανή αντικαθίστανται με ΑΚΚ [7]. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας η κατασκευή οικονομικών και με πολύ καλές ιδιότητες υλικών με απόβλητα προερχόμενα από κατασκευές και κατεδαφίσεις αντί αδρανών υλικών είναι εφικτή.

Μια άλλη κατηγορία υλικών στην οποία εστίασαν οι επιστήμονες και οι ερευνητές, είναι τα πολυμερή-τσιμεντοειδή υλικά. Στο πλαίσιο διερεύνησης των δυνατοτήτων κατασκευής τους, πραγματοποιήθηκαν μελέτες της μηχανικής συμπεριφοράς υλικών κατασκευασμένων από τσιμέντο, επικαλυμμένων με μίγμα εποξειδικής ρητίνης και λεπτόκοκκων (επεξεργασμένων) ανακυκλωμένων αδρανών ΑΚΚ [8] και άλλων ενισχυτικών μέσων όπως, πολυμερή υλικά ενισχυμένα με ίνες άνθρακα [10-15], άλλων τύπων ενισχυμένα πολυμερή υλικά και τσιμεντοκονιάματα [16,17].

Στην έρευνά τους οι Liikanen et al. (2019) [9] εξέτασαν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με την κατασκευή πολυμερών υλικών από ξύλο χρησιμοποιώντας αξιοποιήσιμα υλικά που εμπεριέχονται στα απόβλητα κατεδάφισης όπως οι γυψοσανίδες, τα μονωτικά υλικά όπως ο πετροβάμβακας, το ξύλο και το πλαστικό.

Εκ των προαναφερθέντων εξάγεται το συμπέρασμα ότι δεν έχει διεξαχθεί επιστημονική έρευνα, όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από την σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναφορικά με την αξιοποίηση των ΑΚΚ στην κατασκευή συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας. Ως συνέπεια των ανωτέρω, δεν εντοπίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία ερευνητικές εργασίες στο πλαίσιο των οποίων να έχει μελετηθεί η δυνατότητα ανάπτυξης και οι μηχανικές και θερμικές ιδιότητες συνθέτων υλικών στα οποία να εμπεριέχεται ως πληρωτικό συστατικό κοκκώδες ανόργανο πρόσθετο παρασκευασμένο από ανακυκλώσιμα υλικά κατεδάφισης.

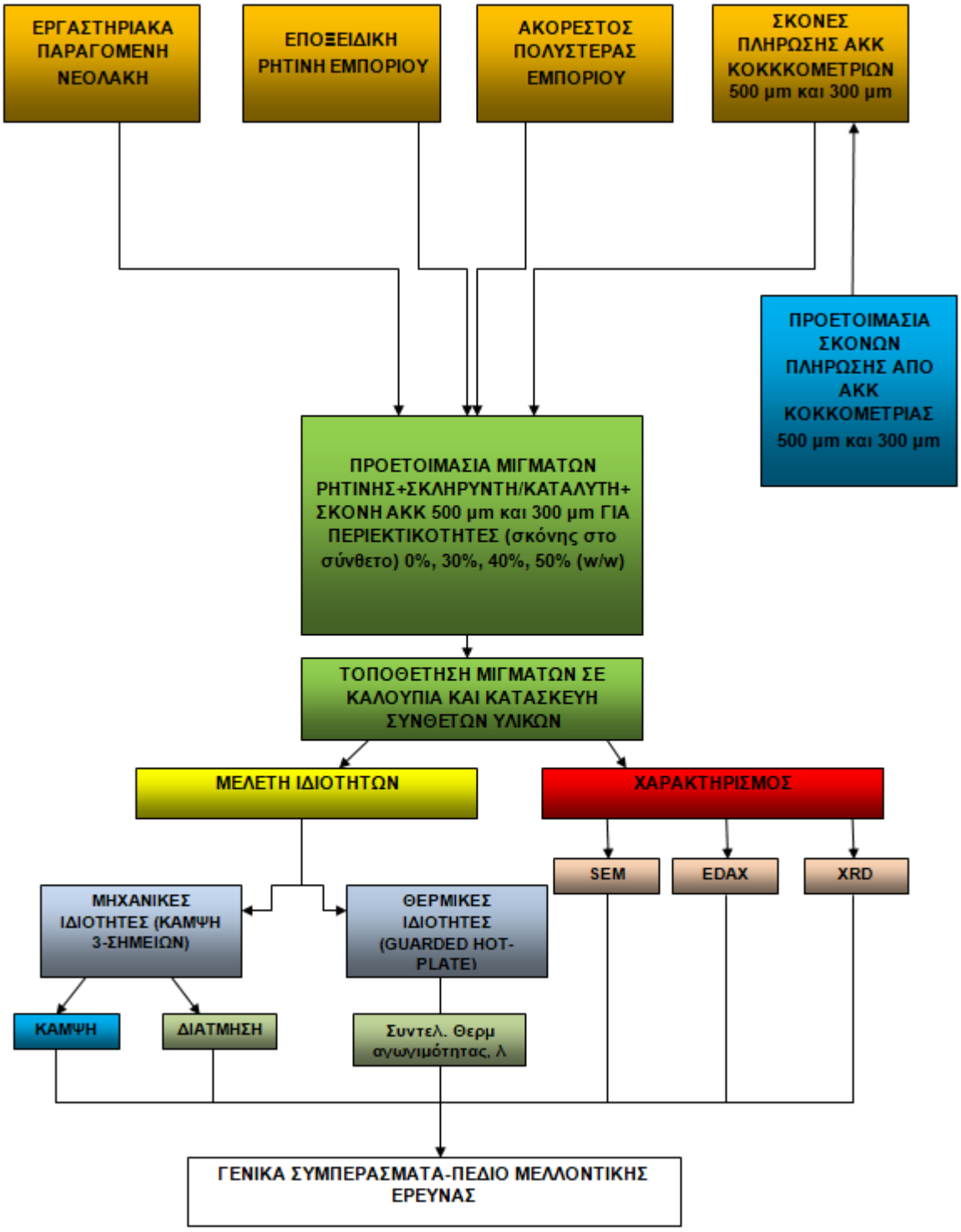
Σκοπός της διδακτορικής διατριβής είναι να καλύψει το υπάρχον κενό βιβλιογραφικά και επιστημονικά μέσω της διερεύνησης της μηχανικής και της θερμικής συμπεριφοράς και απόδοσης συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας κατασκευασμένης από εποξειδική ρητίνη, ακόρεστο πολυεστέρα και εργαστηριακά παρασκευασμένη ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΰδης (κατηγορία νεολάκης) με προσθήκη κατάλληλα επεξεργασμένων αποβλήτων κατεδάφισης υπό μορφή σκόνης διαφορετικών κοκκομετρικών διαστάσεων (σε μm) και σε διαφορετικές κατά βάρος περιεκτικότητες (%).

Σε συνέχεια των παραπάνω κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά σύμφωνα με τα όσα περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο τα οποία και υπεβλήθησαν σε πειραματικές μηχανικές δοκιμές με σκοπό τον προσδιορισμό των αντοχών τους σε κάμψη και διάτμηση αντίστοιχα χρησιμοποιώντας βάσει των απαιτήσεων των διεθνών προτύπων τη μέθοδο της «κάμψης 3 σημείων».

Αντιστοίχως προσδιορίστηκε ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ, των ανωτέρω συνθέτων μέσω της μεθόδου «προστατευμένης θερμής πλάκας» (Guarded Hot Plate Method, GHP).

Τα ανωτέρω σύνθετα υλικά υπεβλήθησαν σε δομικό χαρακτηρισμό και στοιχειακή ανάλυση μέσω Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM) και Μικροανάλυσης ακτίνων Χ (EDX) και Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD).

Τα αποτελέσματα των μηχανικών και θερμικών δοκιμών, όπως επίσης και του δομικού χαρακτηρισμού και της στοιχειακής ταυτοποίησης θα μελετηθούν και θα αναλυθούν διεξοδικά και τα συμπεράσματα της διαδικασίας αυτής θα αξιοποιηθούν σε ότι αφορά στη χρήση αλλά και τα πιθανά σημεία βελτίωσης τους μέσω μελλοντικής έρευνας. Στην εικόνα 4.1 αποτυπώνεται σε διαγραμματική μορφή η ροη του πειραματικού σκέλους της διδακτορικής διατριβής όπως αυτή αναλύεται στα κεφάλαια που ακολουθούν.



Εικόνα 4.1 Διαγραμματική απεικόνιση ροής εργασιών πειραματικού σκέλους διδακτορικής διατριβής

Βιβλιογραφία 4ου Κεφαλαίου

1. G. S. d Reis, M. Quattrone, W. M. Ambrós, B. G. Cazacliu, C. Hoffmann Sampaio. (2021) *Current Applications of Recycled Aggregates from Construction and Demolition: A Review*, Materials, 2021; 14(7):1700.
2. R. Cardoso, R. V. Silva, R, J. de Brito, R. Dhir. (2016). *Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review, Waste* Management*,* 49, 131–145.
3. R. Jones, L. Zheng, A. Yerramala, K. S. Rao. (2012). *Use of recycled and secondary aggregates in foamed concretes,* Magazine of Concrete Research, 64(6), 513–525.
4. K. Komnitsas, D. Zaharaki, V. Perdikatsis. (2009). *Effect of synthesis parameters on the compressive strength of low-calcium ferronickel slag inorganic polymers.* Journal of Hazardous Materials, 161(2-3), 760–768.
5. D. Kioupis, A. Skaropoulou, S. Tsivilis, G. Kakali. (2018). *Alkali leaching control of construction and demolition waste based geopolymers.* MATEC Web of Conferences, 149, 01064.
6. C. S. Vieira, P. M. Pereira. (2015). *Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review.* Resources, Conservation and Recycling, 103, 192–204.
7. M. Contreras, S. R. Teixeira, M. C. Lucas, L.C.N. Lima, D.S.L. Cardoso, G. A. C. da Silva, A. dos Santos. (2016). *Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study).* Construction and Building Materials, 123, 594–600.
8. K. Krzywiński, L. Sadowski, M. Piechówka-Mielnik. (2021). *Engineering of composite materials made of epoxy resins modified with recycled fine aggregate.* Science and Engineering of Composite Materials, 28(1), 2021, 276-284.
9. M. Liikanen, K. Grönman, I. Deviatkin, J. Havukainen, M. Hyvärinen, T. Kärki, J. Varis, R. Soukka, M. Horttanainen. (2019). *Construction and demolition waste as a raw material for wood polymer composites – Assessment of environmental impacts.* Journal of Cleaner Production, 225, 716-727.
10. M. Daugevičius, J. Valivonis, G. Marčiukaitis. (2012). *Deflection analysis of reinforced concrete beams strengthened with carbon fibre reinforced polymer under long-term load action.* Journal of Zhejiang University SCIENCE A*,* 13(8), 571–583*.*
11. R.S. Olivito, F.A. Zuccarello. (2010). *On the Shear Behaviour of Concrete Beams Reinforced by Carbon Fibre-Reinforced Polymer Bars: An Experimental Investigation by Means of Acoustic Emission Technique.* Strain, 46(5), 470–481.
12. R. El-Hacha, M.F. Green, R.G. Wight. (2004). *Flexural behaviour of concrete beams strengthened with prestressed carbon fibre reinforced polymer sheets subjected to sustained loading and low temperature.* Canadian Journal of Civil Engineering, 31(2), 239–252.
13. H. Elkady, A. Hasan. (2010). *Protection of reinforced concrete beams retrofitted by carbon fibre-reinforced polymer composites against elevated temperatures.* Canadian Journal of Civil Engineering, 37(9), 1171–1178.
14. A. Cevik, A.F. Cabalar. (2008). *A genetic-programming-based formulation for the strength enhancement of fiber-reinforced-polymer-confined concrete cylinders.* Journal of Applied Polymer Science, 110(5), 3087–3095.
15. K.S. Yeon, Y.S. Kim,, Y.I. Kim, Y.S. Choi.(2010). *Flexural behavior of methyl methacrylate modified unsaturated polyester polymer concrete beams reinforced with glass-fiber-reinforced polymer sheets.* Journal of Applied Polymer Science, 119(6), 3297–3304.

16. B. Barton, E. Wobbe, L.R. Dharani, P. Silva, V. Birman, A. Nanni, T. Alkhrdaji, J. Thomas, G. Tunis. (2005). *Characterization of reinforced concrete beams strengthened by steel reinforced polymer and grout (SRP and SRG) composites.* Materials Science and Engineering: A, 412(1-2), 129–136.
17. B. Hughes, N.F.O. Evbuomwan. (1993). *Polymer-modified ferrocement enhances strength of reinforced concrete beams.* Construction and Building Materials, 7(1), 9–12.
18. J.D. Diniz Melo, E.A. dos Santos. (2008). *Mechanical and Microstructural Evaluation of Polymer Matrix Composites Filled with Recycled Industrial Waste.* Journal of Reinforced Plastics and Composites, 28(20), 2459–2471.
19. J. Vaicekauskaite, J.Ostrauskaite, J. Treinyte, V. Grazuleviciene, D. Bridziuviene, E. Rainosalo. (2018). *Biodegradable Linseed Oil-Based Cross-Linked Polymer Composites Filled with Industrial Waste Materials for Mulching Coatings.* Journal of Polymers and the Environment, 27,395-404.
20. J. Kumar, V. Kumar, I. Singh, P. K. Rakesh. (2020). *Joining behavior of polymeric composites fabricated using agricultural waste as fillers.* Journal of Adhesion Science and Technology, 1–12.
21. M. Guerrieri, J.G. Sanjayan, J. G. (2010). *Behavior of combined fly ash/slag-based geopolymers when exposed to high temperatures.* Fire and Materials, 34,163-175.
22. H. Rahardjo, A. Satyanaga, F.R. Harnas, E.C. Leong. (2016). *Use of Dual Capillary Barrier as Cover System for a Sanitary Landfill in Singapore.* Indian Geotechnical Journal, 46(3), 228–238.
23. N. de Souza Correia, R.C.S Caldas, J.R. Oluremi. (2020). *Feasibility of using CDW fine fraction and bentonite mixtures as alternative landfill barrier material.* Journal of Material Cycles and Waste Management.
24. H. Rahardjo, V.A. Santoso, E.C. Leong, Y.S. Ng, C.P.H. Tam, A. Satyanaga. (2013). *Use of recycled crushed concrete and secudrain in capillary barriers for slope stabilization.* Canadian Geotechnical Journal, 50(6), 662–673.
25. C.R. Santos, R.M.C. Tubino, I.A.H. Schneider. (2015). *Mineral processing and characterization of coal waste to be used as fine aggregates for concrete paving blocks.* Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 8(1), 14–24.
26. R. Pires Santos, R. Tubino. (2021). *Potential evaluation of the use of construction and demolition waste (CDW) in the recovery of degraded soils by mining in Brazil.* Resources, Conservation & Recycling Advances, Volume 12, 2021, 200060.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΣΚΕΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ

5.1. Πρώτη υλη παρασκευής υλικού πλήρωσης συνθέτων (ΑΚΚ)

Κατόπιν επικοινωνίας με τους διαχειριστές του Συστήματος Εναλλακτικής Διαχείρισης ΑΕΚΚ «ΣΑΝΚΕ ΕΠΕ», οργανώθηκε και πραγματοποιήθηκε την 28 Σεπτεμβρίου 2017 μετάβαση στην εγκατάσταση επεξεργασίας ΑΕΚΚ «Δόμνα Κωστελίδου & ΣΙΑ Ε.Ε.» (Εικόνα 5.1-1). Η συγκεκριμένη μονάδα δραστηριοποιείται εδώ και αρκετά χρόνια στην επεξεργασία αποβλήτων εκσκαφών κατασκευών και κατεδαφίσεων και η διαχείριση τους πραγματοποιείται υπό την εποπτεία του ανωτέρω φορέα της ΣΑΝΚΕ ΕΠΕ, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία περί διαχείρισης αυτών.

Εικόνα 5.1-1. Μονάδα επεξεργασίας ΑΕΚΚ Δόμνα Κωστελίδου& ΣΙΑ Ε.Ε (Πηγή: http://www.kostelidis.gr/services/containers/contact-2).

Από την παραπάνω εγκατάσταση μετά από σύντομη συνάντηση και ενημέρωση των υπευθύνων διαχειριστών της εγκατάστασης σχετικά με τον σκοπό της επίσκεψής, παρελήφθη ποσότητα συμμείκτων αποβλήτων κατεδάφισης (ΑΚΚ). Τα απόβλητα αυτά κατατάσσονται στον κωδικό 17 09 04, του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων. Η παραλαβή τους πραγματοποιήθηκε αφού συσκευάσθηκαν κατάλληλα σε ειδική σακούλα μεταφοράς μπαζών ώστε να διασφαλιστεί η αποφυγή ενδεχομένης διαρροής τους και παράλληλα να διατηρήσουν τη σύσταση και τα χαρακτηριστικά που είχαν κατά την παραλαβή (υγρασία, περιεχόμενα υλικά).

5.2. Οπτικός προσδιορισμός σύστασης δείγματος ΑΚΚ

Πριν την πραγματοποίηση της επεξεργασίας των αποβλήτων, έλαβε χώρα μακροσκοπικός (οπτικός) έλεγχος ώστε να προσδιοριστούν, κατά το δυνατόν, τα εμπεριεχόμενα σε αυτά επιμέρους υλικά. Από τον παραπάνω έλεγχο εντοπίστηκαν οπτικά εντός της παραληφθείσας ποσότητας αποβλήτων κατεδάφισης τα κάτωθι:

1. Χώματα/πέτρες
2. Τούβλα
3. Μπετόν
4. Γυαλί
5. Πλακίδια
6. Μονωτικό υλικό/ Φελιζόλ
7. Χαλίκι
8. Ξύλο
9. Πλαστικό
10. Κομμάτια ειδών υγιεινής
11. Μάρμαρο.

5.3. Εργαστηριακές Εγκαταστάσεις και εξοπλισμός

Η επεξεργασία του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των νέων συνθέτων υλικών που μελετώνται στην παρούσα διατριβή διεξήχθη στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού των Μεταλλευμάτων της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσοβείου Πολυτεχνείου. Ο εξοπλισμός του εργαστηρίου περιλαμβάνει διαχωριστές διαφόρων ειδών (μαγνητικούς, ηλεκτροστατικούς), διατάξεις εργαστηριακών κυψελών επίπλευσης, διατάξεις δειγματοληψίας (splitters), θραυστήρες ποικίλων τύπων (κυλίνδρων, κωνικός, κρουστικός, περιστροφικού σπαστήρα), εργαστηριακό μύλος λειοτρίβησης, εργαστηριακές διατάξεις κοσκίνισης, μικροσκόπια διαφόρων τύπων για αναλύσεις, συσκευές ξηράνσεως κλπ [1]. Η μέθοδος παραγωγής των δυο διαφορετικής κοκκομετρίας υλικών πλήρωσης από ΑΚΚ πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ASTM C136M-14 [2].

Όσο αφορά τα μέσα παραγωγής που απαιτήθηκαν για την προετοιμασία του υλικού πλήρωσης από ΑΚΚ για τις ανάγκες του πειραματικού μέρους της διατριβής από τον εξοπλισμό που συνοπτικά παρουσιάστηκε παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής:

1. Δειγματολήπτης (Splitter) χονδρομερών υλικών, GILSON
2. Θραυστήρας σιαγόνων, DENVER
3. Δονητικός λειοτριβέας πεπιεσμένου αέρα, LABTECHNICS
4. Ηλεκτρονικός ζυγός ευαισθησίας, OHAUS
5. Διατάξεις χειροκίνητης κοσκίνισης
6. Εργαστηριακές μηχανές κοσκίνισης
7. Κλίβανος ξήρανσης
8. Εργαστηριακός δειγματολήπτης (splitter) λεπτόκοκκων υλικών.

5.4. Μεθοδολογική Ανάλυση επεξεργασίας

5.4.1. Προσδιορισμός βάρους

Αρχικά η συνολική ποσότητα του παραληφθέντος υλικού τοποθετήθηκε στο ζυγό του εργαστηρίου (Εικόνα 5.4.1-1) με σκοπό να προσδιοριστεί το βάρος αυτής. Κατόπιν της ζύγισης το συνολικό βάρος της ανεπεξέργαστης ποσότητας των αποβλήτων κατεδάφισης προσδιορίστηκε περίπου στα 32 κιλά.

Εικόνα 5.4.1-1. Ζυγός ζύγισης μεγάλων βαρών.

5.4.2. Ά Θραύση-αρχική δειγματοληψία-χειροκίνητη κοσκίνιση

Ολόκληρη η ποσότητα του προς επεξεργασία υλικού τοποθετήθηκε σε ειδική σκάφη (Εικόνα 5.4.2-2) και με τη χρήση σέσουλας, τροφοδοτήθηκε σταδιακά στο σιαγονοφόρο σπαστήρα του εργαστηρίου ώστε να πραγματοποιηθεί το αρχικό στάδιο θραύσης (Εικόνα 5.4.2-1). Σκοπός της σταδιακής προώθησης του υλικού στον θραυστικό εξοπλισμό σε συνδυασμό με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, ήταν να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία αυτού και παράλληλα να αποφευχθεί το ενδεχόμενο πρόκλησης φθοράς λόγω τροφοδότησης μεγάλης ποσότητας υλικού. Η διατομή των σιαγόνων του θραυστήρα ρυθμίστηκε στα 15 χιλιοστά. Η πραγματοποίηση της πρώτης θραύσης γίνεται με σκοπό να τεμαχιστούν τα μεγάλα κομμάτια που εμπεριέχονται στο προς επεξεργασία υλικό (πχ τούβλα, πέτρες, μεγάλα κομμάτια τσιμέντου κλπ) ώστε να καταστεί εφικτή η εν συνεχεία διεξαγωγή της δειγματοληψίας. Παράλληλα με την πραγματοποίηση της αρχικής θραύσης, βελτιώνεται σημαντικά η ομοιογένεια του παράγωγου υλικού που θα προκύψει στη συνέχεια από την δειγματοληψία. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της προώθησης του συνόλου των ΑΚΚ στο θραυστήρα πριν τη δειγματοληπτική διαδικασία, επιτυγχάνεται ο τεμαχισμός όλων των επιμέρους συστατικών (υλικών) σε παρεμφερή κοκκομετρικά μεγέθη ενισχύοντας την καλύτερη ανάμειξη αυτών σε επίπεδο τελικού παραγόμενου προϊόντος.

α) β)

Εικόνα 5.4.2-1. α) Εργαστηριακός θραυστήρας σιαγόνων DENVER β) αντιπροσωπευτικό δείγμα προϊόντος 1^{ης} Θραύσης.

Εικόνα 5.4.2-2) Σετ σκαφών αποθήκευσης υλικού.

Μετά την 1η θραύση, πραγματοποιήθηκε η προαναφερθείσα διαδικασία δειγματοληψίας. Κατά το στάδιο αυτό, το σύνολο του υλικού τροφοδοτήθηκε στον εργαστηριακό δειγματολήπτη χονδρομερών τεμαχίων, τύπου splitter (Εικόνα 5.4.2-3, δεξιά) διαχωριζόμενο τελικά ισομερώς σε 2 τμήματα. Το κάθε ένα από αυτά ζυγίστηκε σε ηλεκτρονικό ζυγό του εργαστηρίου και το βάρος του προσδιορίστηκε περίπου στα 16 κιλά (Εικόνα 5.4.2-3, αριστερά). Το ένα μέρος (1/2 του συνόλου) του διαχωρισθέντος υλικού αποθηκεύτηκε σε σακούλα συσκευασίας και μεταφοράς ΑΕΚΚ για μελλοντική χρήση. Το υπόλοιπο αυτού υποβλήθηκε σε κοσκίνιση μέσω χειροκίνητου κόσκινου (Εικόνα 5.4.2-4) με διατομή πλέγματος 3/8" (περίπου 9,5 mm). Το υλικό διατομής -9,5 mm το οποίο προήλθε από την κοσκίνιση, συγκεντρώθηκε σε σκεύος προσωρινής αποθήκευσης όπως αυτό που παρουσιάστηκε παραπάνω.

Εικόνα 5.4.2-3. Ηλεκτρονικός ζυγός (αριστερά), δειγματολήπτης χονδρομερών (splitter) (δεξιά).

Εικόνα 5.4.2-4. Χειροκίνητα κόσκινα διαφόρων διατομών.

5.4.3.΄Β Θραύση και δεύτερη χειροκίνητη κοσκίνιση υλικού-Προσδιορισμός εμπεριεχόμενης υγρασίας

Το υλικό διατομής +9,5 mm το οποίο λόγω του μεγέθους των κόκκων του κατακρατήθηκε από το πλέγμα της διάταξης χειροκίνητης κοσκίνισης, τροφοδοτήθηκε εκ νέου στον εργαστηριακό θραυστήρα κατόπιν επαναρρύθμισης του διακένου των σιαγόνων του στα 8 χιλιοστά. Το παραγόμενο υλικό της 2^{ης} θραύσης προστέθηκε στη σκάφη την οποία συγκεντρώθηκε το υλικό που προήλθε από τη χειροκίνητη κοσκίνιση (-9,5 mm) και το σύνολο του περιεχομένου της σκάφης (-9,5 mm + προϊόν 2^{ης} θραύση

στα 8 mm) κοσκινίστηκε εκ νέου χρησιμοποιώντας το παραπάνω κόσκινο. Το παράγωγο της διαδικασίας συγκεντρώθηκε σε διαφορετική (κενή περιεχομένου) σκάφη αποθήκευσης (Εικόνα 5.4.3-1). Αφαιρέθηκε ποσότητα υλικού η οποία στη συνέχεια τοποθετήθηκε σε ειδικό σκαφίδιο. Η ποσότητα αυτή ζυγίστηκε και το βάρος της καταγράφηκε να είναι περίπου 2 κιλά (1.986,7 κιλά).

Το σκεύος με το εμπεριεχόμενο υλικό τοποθετήθηκε στον εργαστηριακό κλίβανο ξήρανσης. (Εικόνα 5.4.3-2). Σε αυτόν παρέμεινε για χρονικό διάστημα 24 ωρών και σε θερμοκρασία 110°C με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό της υγρασίας του αρχικώς θραυσμένου υλικού. Μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου, το προϊόν της ξήρανσης, ζυγίστηκε εκ νέου και το βάρος το βρέθηκε ίσο με 1867.2 κιλά. Ο προσδιορισμός της υγρασίας έγινε μέσω της σχέσης:

$$Εμπεριεχόμενη\ υγρασία = \left[\left(\frac{Αρχικό\ βάρος\ υλικού - βάρος\ ξηραμενου\ υλικού}{Αρχικό\ βάρος\ υλικού}\right) \times 100\right] = 6{,}015\ \%$$

Εικόνα 5.4.3-1 Αντιπροσωπευτικό δείγμα προϊόντος 2^{ης} θραύσης.

Εικόνα 5.4.3-2. Κλίβανος Ξήρανσης.

5.4.4. Γ Θραύση- Δεύτερο στάδιο δειγματοληψίας

Το διάκενο των σιαγόνων του σιαγονοφόρου σπαστήρα ρυθμίστηκε χαμηλότερα και συγκεκριμένα στα 4 χιλιοστά και στη συνέχεια τροφοδοτήθηκε σε αυτόν το σύνολο του προϊόντος (14 κιλά) που προέκυψε από το προηγούμενο στάδιο της επεξεργασίας.

Η πραγματοποίηση του 3^{ου} σταδίου θραύσης, σκοπό έχει να ελαττώσει περαιτέρω το κοκκομετρικο μέγεθος των ΑΚΚ έτσι ώστε να διασφαλιστεί η κατά το δυνατό βέλτιστη άλεση (επόμενο στάδιο της επεξεργασίας) από τη οποία θα προκύψει το τελικό προϊόν που θα χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο στα σύνθετα υλικά που θα κατασκευαστούν και θα μελετηθούν στο πλαίσιο της διατριβής.

Εν συνεχεία διεξήχθη νέα δειγματοληψία σε δύο στάδια:

1. Δειγματοληπτικός διαχωρισμός του συνόλου του τελικού προϊόντος της 3^{ης} θραύσης σε δυο ίσα μέρη βάρους περί τα 7 κιλά έκαστο
2. Δεύτερος δειγματοληπτικός διαχωρισμός του ενός εκ των μερών που προέκυψε από τον πρώτο διαχωρισμό (1/2 του συνόλου, ήτοι 7 κιλά) σε δύο ίσα μέρη βάρους περί τα 3.5 κιλά έκαστο.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε διατηρώντας τη μία εκ των σκαφών συγκέντρωσης στο δειγματολήπτη σταθερή κατά τη διεξαγωγή και των δυο σταδίων αυτής. Το περιεχόμενο της 2^{ης} σκάφης συγκέντρωσης μετά την ολοκλήρωση του πρώτου διαχωρισμού, τροφοδοτήθηκε

ξανά στο splitter χονδρομερών (2^{ος} δειγματοληπτικός διαχωρισμός) ώστε να αποκτηθεί η τελική ποσότητα πρώτης ύλης που αναφέρθηκε και προηγούμενα. Το εναπομένον υλικό που κατέληξε στην σταθερή σκάφη, ποσότητας περίπου 10.5 κιλών, αποθηκεύτηκε σε σάκο αποθήκευσης μπαζών για μελλοντική χρήση.

Η αποθήκευση ποσότητας ΑΚΚ σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται με σκοπό την αποφυγή της εκτέλεσης όλων των παραπάνω σταδίων της επεξεργασίας στην περίπτωση που κατά την διεξαγωγή του πειραματικού σκέλος απαιτηθεί να παρασκευαστεί επιπλέον ποσότητα υλικού πλήρωσης.

5.4.5. Κοκκομετρική ανάλυση υλικού προ-άλεσης

Η ποσότητα της πρώτης ύλης βάρους 1867.2 gr που χρησιμοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, για τον προσδιορισμό της εμπεριεχόμενης υγρασίας του παράγωγου της αρχικής θραύσης, κατόπιν της ολοκλήρωσης της διαδικασίας ξήρανσης, ζυγίστηκε εκ νέου. Από τη ζύγιση το βάρος αυτής προσδιορίστηκε στα 1871.5 gr. Η μικρή αυτή αύξηση θεωρείται αναμενόμενη και αποδίδεται στην προσρόφηση ελάχιστου ποσοστού υγρασίας από το περιβάλλον.

Ακολούθησε η κοσκίνιση του ξηραμένου υλικού. Το προϊόν της ξήρανσης τοποθετήθηκε τροφοδοτούμενο σταδιακά σε ισομερείς ποσότητες στην εργαστηριακή μηχανή κοσκίνισης, σε ειδική διάταξη κοσκίνων (Εικόνα 5.4.5-1). Κατόπιν ασφάλισης αυτών επί της δονούμενης βάσης του μηχανισμού, ο χρονοδιακόπτης λειτουργίας του ρυθμίστηκε στα 5 λεπτά και στη συνέχεια τέθηκε σε λειτουργία. Απώτερος σκοπός όλων των παραπάνω είναι η κοκκομετρική ανάλυση του παραχθέντος υλικού προτού αυτό υποβληθεί στην διαδικασία της άλεσης. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε όσες φορές απαιτήθηκε ώστε να αναλυθεί το σύνολό του δείγματος. Οι διαστάσεις του πλέγματος των κόσκινων όπως και τα τελικά αποτελέσματα της σχετικής ανάλυσης παρατίθενται στον Πίνακα 5.4.5-1 που ακολουθεί. Τα υποπροϊόντα (κατακρατηθέν υλικό κάθε κόσκινου) παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.4.5-2.

Πίνακας 5.4.5-1. Κοκκομετρική Ανάλυση επεξεργασμένου υλικού προ άλεσης.

Διάμετρος κόσκινου (mm)	Μάζα (g)	% κατακράτησης
+ 4 mm	649.50	34.70
+1.7 mm	456.10	24.37
+1.0 mm	195.30	10.43
+0.8 mm	55.50	2.96
+0.2 mm	266.70	14.25
-0.2 mm	248.40	13.27
Σύνολο	**1871.50**	**99.98**

Εικόνα 5.4.5-1. Μηχανή κοσκίνισης και ενδεικτική διάταξη κόσκινων.

Εικόνα 5.4.5-2. Κατακρατηθέν υλικό ανά επίπεδο κοσκίνισης προ άλεσης.

5.4.6. Λειοτρίβηση (άλεση) υλικού

Η λειοτρίβηση αποτελεί το σημαντικότερο στάδιο της επεξεργασίας του προϊόντος. Μέσω του εν λόγω σταδίου, επιτυγχάνεται η απόκτηση υλικού επιθυμητής κοκκομετρίας. Το τελικό προϊόν που προήλθε από το προηγούμενου στάδιο της επεξεργασίας, συνολικού βάρους περίπου 3.5 κιλών τοποθετήθηκε στο ειδικό σκεύος λειοτρίβησης (Εικόνα 5.4.6-1) και εν συνεχεία στον δονητικό λειοτριβέα του εργαστηρίου (Εικόνα 5.4.6-2). Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε αρκετές φορές και η παραπάνω ποσότητα τροφοδοτήθηκε σε μικρότερα τμήματα στον λειοτριβέα ώστε να αποφευχθεί η υπερφόρτωση αυτού και παράλληλα να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ως προς το τελικό προϊόν.

Εικόνα 5.4.6-1. Ειδικό σκεύος άλεσης.

Εικόνα 5.4.6-2. Δονητικός λειοτριβέας πεπιεσμένου αέρα, LABTECHNICS.

Ο χρόνος λειτουργίας του μηχανήματος και κατ' επέκταση της διαδικασίας άλεσης καθορίστηκε μέσω του ειδικού χρονοδιακόπτη στα 3,5 - 4 λεπτά και κατόπιν ο λειοτριβέας τέθηκε σε λειτουργία.

Μετά το πέρας του καθορισμένου χρόνου, το σκεύος με το αλεσμένο υλικό απομακρύνθηκε. Το προϊόν της άλεσης, χωρίστηκε σχεδόν ισομερώς σε 2 τμήματα και τοποθετήθηκε στον κλίβανο ξήρανσης ώστε να απομακρυνθεί εντελώς η εμπεριεχόμενη σε αυτό υγρασία. Η διαδικασία ξήρανσης διήρκεσε για χρονικό διάστημα 24 ωρών και πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 110°C. Ο διαχωρισμός του συνόλου του υλικού σε 2 μέρη σκοπό είχε την επίτευξη της βέλτιστης δυνατής αφύγρανσης του υπό επεξεργασία υλικού.

5.4.7. Κοκκομετρική Ανάλυση 1ου Αλεσμένου Δείγματος-Παρασκευή 1ης κατηγορίας προσθέτου (κοκκομετρία 500μm)

Κατόπιν της πραγματοποίησης του πρώτου σταδίου άλεσης, τα 3.5 κιλά του συνολικού παραγώγου αυτής υποβλήθηκε εκ νέου σε δειγματοληψία σε μικρότερου μεγέθους splitter (Εικόνα 5.4.7-1). Το ½ του προϊόντος του διαχωρισμού (1.75 κιλά) ακολούθως κοσκινίστηκε με διαδικασία αντίστοιχή αυτής που αναλύθηκε προηγούμενα, με σκοπό την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού της πρώτης άλεσης.

Πιο συγκεκριμένα, το προς ανάλυση υλικό τοποθετήθηκε επί διάταξης κοσκίνων στην εργαστηριακή μηχανή κοσκίνισης κατάλληλη για την ανάλυση λεπτομερών υλικών (Εικόνα 5.4.7-2). Για την διάταξη κοσκίνισης, επιλέχθηκαν κόσκινα κατάλληλων διατομών (οπών πλέγματος) ώστε κατόπιν εκτέλεσης της διαδικασίας κοσκινίσματος, το επεξεργασμένο υλικό διαθέτει την επιθυμητή τελική κοκκομετρία.

Εικόνα 5.4.7-1. Splitter δειγματοληψίας λεπτομερών.

Εικόνα 5.4.7-2. Εργαστηριακή μηχανή κοσκίνισης λεπτομερών υλικών ROTAP.

Οι διαστάσεις των κόσκινων και τα τελικά αποτελέσματα της σχετικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.7-1 που ακολουθεί. Τα υποπροϊόντα της διαδικασίας (κατακρατηθέν υλικό κάθε κόσκινου) παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.4.7-3.

Πίνακας 5.4.7-1. Κοκκομετρική ανάλυση προϊόντος 1^{ης} άλεσης.

Διάμετρος κόσκινου (mm)	Μάζα (g)	% κατακράτησης
0.5 mm	539.17	30.81
0.425 mm	123.90	7.08
0.295 mm	105.00	6.00
0.208 mm	144.55	8.26
0.125 mm	153.65	8.78
-0.125 mm	683.73	39.07
Σύνολο	**1.750,00**	**100.00**

Εικόνα 5.4.7-3. Κατακρατηθέν υλικό επιμέρους βαθμίδων διάταξης κοσκίνισης 1^{ης} άλεσης.

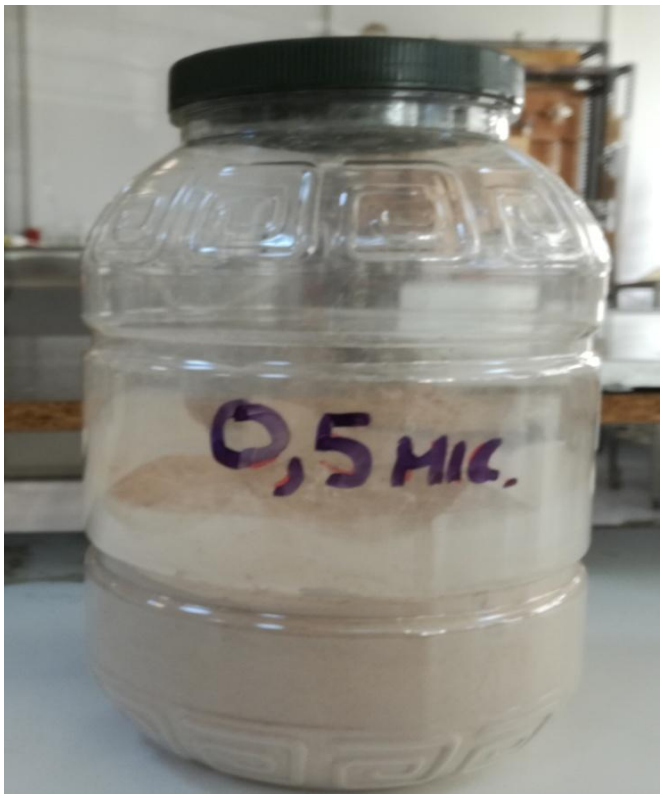
Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης και συγκεκριμένα τα ποσοστά κατακράτησης σε κάθε στάδιο της κοσκίνισης, είναι προφανές ότι σημαντικό μέρος του προϊόντος (≈38%) δεν διαθέτει τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά σε επίπεδο κοκκομετρίας. Προς επίλυση του ανωτέρω προβλήματος, εκτελέστηκε νέα κοσκίνιση κατά την οποία το αρχικό κόσκινο διατομής 0.5 mm αφαιρέθηκε και επαναπραγματοποιήθηκε επεξεργασία του 38% του «ακατάλληλου» κοκκομετρικά υλικού χρησιμοποιώντας ως αρχικό το αμέσως επόμενο σε

μέγεθος κόσκινο (διατομή 0.425 mm). Το προϊόν αυτής της κοσκίνισης υπέστη εκ νέου επεξεργασία στον δονητικό λειοτριβέα και υπεβλήθη σε άλεση χρονικής διάρκειας 1.5-2 λεπτών. Τέλος το παράγωγο της άλεσης υπεβλήθη σε επαληθευτική επεξεργασία εκ νέου από κόσκινο 0.5 mm για να επαληθευτεί ότι έχει αποκτήσει στο σύνολό του τα επιθυμητά κοκκομετρικά χαρακτηριστικά. Από τη 2η κοσκίνιση προκύπτουν τα κάτωθι αποτελέσματα:

Πίνακας 5.4.7-2. Κοκκομετρική ανάλυση προϊόντος 1ης άλεσης κατόπιν επαληθευτικής κοσκίνισης.

Διάμετρος κόσκινου (mm)	Μάζα (g)	% κατακράτησης
0.500	39.78	6.00
-0.500	623.29	94.00
Σύνολο	**663.07**	**100.00**

Από την επαληθευτική κοσκίνιση διαπιστώθηκε ότι στο τελικό προϊόν εμπεριέχονται σε ποσοστό 6% υλικά μεγέθους 0,5 mm και άνω τα οποία και αφαιρέθηκαν ώστε να μην επέλθει αλλοίωση στα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά του υλικού. Το τελικό παράγωγο αποθηκεύτηκε σε πλαστικό αεροστεγές δοχείο (Εικόνα 5.4.7-4) αφού σε αυτό προστέθηκε και το 94% (υλικό διαστάσεων < 500 μm) του παράγωγου της επαληθευτικής κοσκίνισης.



Εικόνα 5.4.7-4. Τελικό προϊόν άλεσης 500 μm.

5.4.8. Κοκκομετρική Ανάλυση 2ου Αλεσμένου Δείγματος-Παρασκευή 2ης κατηγορίας προσθέτου (κοκκομετρία 300μm)

Για την προετοιμασία του πρόσθετου υλικού κοκκομετρίας 300 μm, χρησιμοποιήθηκε το παράγωγο της διπλής δειγματοληψίας βάρους περίπου 10.5 κιλών που είχε αποθηκευτεί μετά τα 3 στάδια θραύσης για μελλοντική χρήση, έτσι ώστε να μην απαιτείται η εκτέλεση όλων των διαδικασιών της επεξεργασίας εξ' αρχής.

Διεξήχθη δειγματοληψία δύο (2) σταδίων:

3. Δειγματοληπτικός διαχωρισμός του συνόλου του αποθηκευμένου προϊόντος της 3ης θραύσης σε δυο ίσα μέρη βάρους 5.25 κιλών έκαστο
4. Δεύτερος δειγματοληπτικός διαχωρισμός του ενός εκ των μερών που προέκυψε από τον πρώτο διαχωρισμό σε δύο ίσα μέρη βάρους 2.625 κιλών έκαστο.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε διατηρώντας τη μία σκάφη συγκέντρωσης στο δειγματολήπτη σταθερή κατά τη διάρκεια των δυο δειγματοληψιών. Το περιεχόμενο της 2ης σκάφης συγκέντρωσης μετά την ολοκλήρωση του πρώτου διαχωρισμού, τροφοδοτήθηκε ξανά στο splitter χονδρομερών (2ος δειγματοληπτικός διαχωρισμός) ώστε να αποκτηθεί η τελική ποσότητα πρώτης ύλης που αναφέρθηκε και προηγούμενα. Το εναπομένον υλικό που συγκεντρώθηκε στην σταθερή σκάφη (περίπου 8 κιλά) αποθηκεύτηκε εκ νέου σε σάκο αποθήκευσης μπαζών για μελλοντική χρήση.

Ακολουθώντας ακριβώς τη διαδικασία που περιγράφηκε για την παρασκευή του υλικού κοκκομετρίας 500 μm, το υλικό βάρους 2.625 κιλών που προέκυψε από τη διπλή δειγματοληψία τοποθετήθηκε στο ειδικό σκεύος λειοτρίβησης και εν συνεχεία στον δονητικό λειοτριβέα του εργαστηρίου. Και κατά την παραγωγή του υλικού των 300 μm, η διαδικασία επαναλήφθηκε αρκετές φορές, έως ότου η παραπάνω ποσότητα (τροφοδοτούμενη τμηματικά) στον λειοτριβέα υπεβλήθη στο σύνολό της στην απαιτούμενη επεξεργασία, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του μηχανήματος και να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ως προς το τελικό προϊόν. Ο χρόνος της «άλεσης» καθορίστηκε στα 3,5 - 4 λεπτά και ο μύλος λειοτρίβησης τέθηκε σε λειτουργία. Μετά το πέρας του απαιτούμενου

χρόνου, το ειδικό σκεύος με το αλεσμένο υλικό απομακρύνθηκε από τον λειοτριβέα και τοποθετήθηκε σε κλίβανο ξήρανσης ώστε να απομακρυνθεί εντελώς η εμπεριεχόμενη σε αυτό υγρασία για 24 ώρες σε θερμοκρασία 110°C.

Κατόπιν της ολοκλήρωσης της ξήρανσης, το απαλλαγμένο από υγρασία υλικό, διαχωρίστηκε σε δειγματοληπτική διάταξη splitter λεπτομερών και εν συνεχεία σε διαδικασία αντίστοιχή αυτής που αναλύθηκε προηγούμενα για την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού.

Το προς ανάλυση υλικό βάρους περίπου 1 κιλού, υποβλήθηκε σε κοσκίνιση μέσω του εργαστηριακού εξοπλισμού κοσκίνισης που παρουσιάστηκε παραπάνω (Εικόνα 5.4.7-2) και επιλέγοντας κόσκινα με τις κατάλληλες διαστάσεις (διατομές οπών πλέγματος) ώστε η κοκκομετρία του παράγωγου να είναι οι επιθυμητή (300 μm).

Οι διαστάσεις των κόσκινων που χρησιμοποιήθηκαν και τα τελικά αποτελέσματα της πραγματοποιηθείσας ανάλυσης παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 5.4.8-1. Κοκκομετρική ανάλυση προϊόντος 2^{ης} άλεσης.

Διάμετρος κόσκινου (mm)	Μάζα (g)	% κατακράτησης
0.425 mm	191.89	7.31
0.295 mm	272.21	10.37
0.208 mm	565.69	21.55
0.125 mm	941.06	35.85
-0.125 mm	654.15	24.92
Σύνολο	**2.625,00**	**100.00**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέρος του παραχθέντος υλικού (≈18%) υπερβαίνει τα επιθυμητά κοκκομετρικά χαρακτηριστικά.

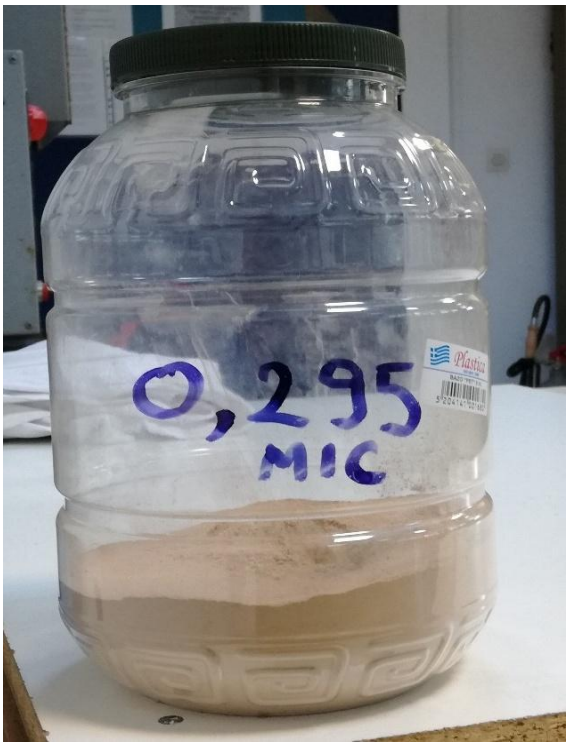
Προς επίλυση του ανωτέρω προβλήματος και έτσι ώστε να αποκτήσει το τελικό προϊόν το επιθυμητό μέγεθος και σε αντιστοιχία με ότι εφαρμόστηκε προηγούμενα, έλαβε χώρα νέα κοσκίνιση κατά την οποία το υλικό που κατακρατήθηκε στα κόσκινα διατομής 0.425 mm και 0.295 mm (ποσοστού περίπου 18% όπως προαναφέρθηκε) επανεπεξεργάστηκε κατόπιν αφαίρεσης του αρχικού κόσκινου διατομής 0.425 mm και χρησιμοποιώντας ως αρχικό το αμέσως επόμενο σε μέγεθος κόσκινο (διατομής 0.295 mm).Το παράγωγο της διαδικασίας αυτής τοποθετήθηκε στον μύλο λειοτρίβησης και αλέστηκε για χρόνο 1-1.5 λεπτού. Το τελικό υλικό που προέκυψε από την άλεση κοσκινίστηκε εκ νέου από το κόσκινο 0.295 mm για να

επαληθευτεί ότι χαρακτηρίζεται στο σύνολό του από τα επιθυμητά κοκκομετρικά χαρακτηριστικά. Από τη 2η κοσκίνιση προκύπτουν τα κάτωθι αποτελέσματα:

Πίνακας 5.4.8-2. Κοκκομετρική ανάλυση προϊόντος 2ης άλεσης κατόπιν επαληθευτικής κοσκίνισης.

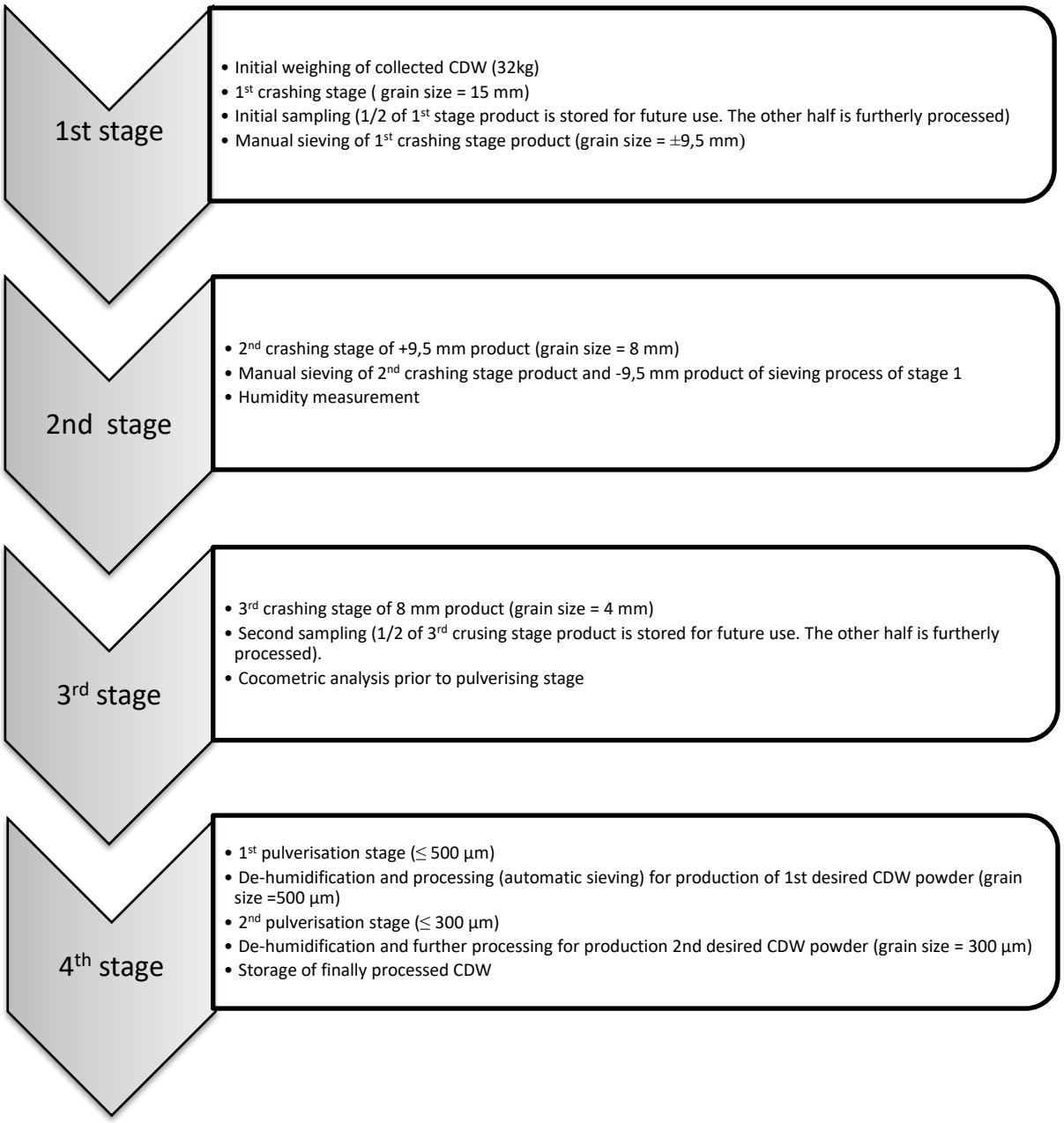
Διάμετρος κόσκινου (mm)	Μάζα (g)	% κατακράτησης
0.295	22.28	4.8
-0.295	441.82	95.2
Σύνολο	**464.1**	**100.00**

Όπως και για την σκόνη πλήρωσης 500 μm το υλικό ποσοστού 4.8% που δεν πληροί τις απαιτούμενες προϋποθέσεις ως προς το μέγεθος αφαιρέθηκε και το τελικό παράγωγο αποθηκεύτηκε σε πλαστικό αεροστεγές δοχείο (Εικόνα. 5.4.8-1) αφού σε αυτό προστέθηκε και το 95.2% (υλικό διαστάσεων <0.295 mm) του παράγωγου της επαληθευτικής κοσκίνισης.



Εικόνα 4.4.8-1. Τελικό προϊόν άλεσης 300 μm.

Η μεθοδολογία παρασκευής του υλικού πλήρωσης και των επιμέρους σταδίων αυτής, αποτυπώνεται συνολικά στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα. 5.4.8-2 Διάγραμμα ροής παρασκευής υλικού πλήρωσης από ΑΚΚ.

Βιβλιογραφία 5ου Κεφαλαίου

1. https://www.metal.ntua.gr/?page_id=4770
2. ASTM C 136-01. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*; ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2001.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ - ΜΕΛΕΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

6.1. Σύνθετα Υλικά με βάση την εποξειδική ρητίνη

6.1.1. Πρώτες ύλες

Για την κατασκευή των συνθέτων από εποξειδική ρητίνη, επιλέχθηκε το εργοστασιακής παραγωγής σύστημα 2 συστατικών με κωδικό ονομασίας Epoxol 2874 (Εικόνα 6.1.1-1) της σειράς εμπορικών προϊόντων της εταιρίας NEOTEX. Πρόκειται για σύστημα εποξειδικής ρητίνης με επιλεγμένους σκληρυντές το οποίο είναι ιδανικό για εφαρμογές ενίσχυσης και σταθεροποίησης των περισσότερων τύπων μαρμάρων, παραγωγής διακοσμητικών ρητινοκονιαμάτων υψηλής αντοχής (πχ δάπεδα, πισίνες κ.α.), αδιαβροχοποίησης ή/και εγκιβωτισμού τμημάτων ή του συνόλου ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων και εξαρτημάτων τους(μετασχηματιστές, καλώδια κλπ) [1]. Το συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να αξιοποιηθεί και σε εφαρμογές που συνδυάζουν την ταυτόχρονη χρήση υαλοπλεγμάτων.

Εικόνα 6.1.1-1. Σύστημα εποξειδικής ρητίνης Epoxol 2874.

6.1.2. Ιδιότητες επιλεχθείσας εποξειδικής ρητίνης

Το σύστημα εποξειδικής ρητίνης Epoxol 2874 χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Παρουσιάζει άριστη πρόσφυση κατά την εφαρμογή του σε μπετό, μέταλλο ή πλαστικό
- Παρουσιάζει υψηλά επίπεδα αντοχής σε κάμψη, θλίψη και τριβή
- Εμφανίζει υψηλές χημικές αντοχές
- Είναι υγρομονωτικό και ελαιομονωτικό (μηδενική απορρόφηση ύδατος και λαδιών)
- Παρουσιάζει υψηλή αντοχή στο κιτρίνισμα.

6.1.3. Μελέτη συμπεριφοράς του συστήματος εποξειδικής ρητίνης

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε μακροσκοπικός έλεγχος, απώτερος σκοπός του οποίου ήταν, η εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τη συμπεριφορά του πολυμερούς συστήματος εποξειδικής ρητίνης.

Κατόπιν ζύγισης (Εικόνα 6.1.3-2) και ανάμειξης μέσω συνεχούς ανάδευσης των επιμέρους συστατικών του πολυμερούς για χρονικό διάστημα περί τα 5 λεπτά, το τελικό μίγμα (ποσότητας 10 γραμμάριων για κάθε δείγμα) αποχύνεται σε ταψάκια αλουμινίου (Εικόνα 6.1.3-1) όπου και παραμένει περί τα 15-20 λεπτά ώστε να περιέλθει σε κατάσταση «ζελαρίσματος». Ταυτόχρονα κατά την αναμονή της ως άνω διαδικασίας προθερμαίνεται ο εργαστηριακός φούρνος στον οποίο θα τοποθετηθούν τα δείγματα για να ψηθούν (Εικόνα 6.1.3-3) στους 60ºC.

Παρασκευάστηκαν διαφορετικά μίγματα διαφοροποιώντας (αυξάνοντας) την ποσότητα του εμπεριεχόμενου σκληρυντή. Ακολουθώντας την διαδικασία αυτή προετοιμάστηκαν δείγματα με τις ακόλουθες αναλογίες:

1. Με βάση την προτεινόμενη αναλογία κατασκευαστή (w/w 100A:58B)
2. 1^{ο} εναλλακτικό δείγμα (w/w 98A:60B)
3. 2^{ο} εναλλακτικό δείγμα (w/w 88A:70B)

Εικόνα 6.1.3-1. Φόρμες αλουμινίου με δείγματα εποξειδικής ρητίνης.

Εικόνα 6.1.3-2. Ηλεκτρονικός Ζυγός.

Εικόνα 6.1.1-3. Φούρνος θερμοσκλήρυνσης.

Με το πέρας του απαιτούμενου χρόνου για την ολοκλήρωση της προθέρμανσης, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο φούρνο για να ολοκληρωθεί η σκλήρυνσή τους. Η πρόοδος της θερμομόρφωσης ελεγχόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα και παράλληλά καταγράφονταν αναλυτικά τα αποτελέσματα του περιοδικού ελέγχου.

6.1.3.1. Υπολογισμός αναλογίας κατά βάρος εποξειδικής ρητίνης-σκληρυντή

Στον ακόλουθο πίνακα (6.1.3-1) δίνονται οι αναλογίες των δυο επιμέρους συστατικών Α και Β του εποξειδικού συστήματος για κάθε ένα από τα δείγματα που παρασκευάστηκαν στο πλαίσιο της μακροσκοπικής μελέτης.

Πίνακας 6.1.3-1. Τεχνικά χαρακτηριστικά δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στη μακροσκοπική μελέτη.

Αναλογία A:B	Βάρος δείγματος (gr)	Βάρος (gr) A (epoxy)	Βάρος (gr) B (σκληρυντής)
100/58	10	6.84	3.16
98/60	10	6.2	3.8
88/70	10	5.57	4.43

6.1.3.2. Έλεγχος προόδου σκλήρυνσης δειγμάτων

Τα υπό θερμική επεξεργασία δείγματα, ελέγχονταν ώστε να διαπιστώνεται η ομαλή πρόοδος της διαδικασίας αυτής. Ο έλεγχος πραγματοποιούταν ανά διαστήματα 10-15 λεπτών. Στην περίπτωση που κάποιο δείγμα παρουσιάζει ικανοποιητικό επίπεδο σε ότι αφορά τη σκλήρυνσή του, απομακρύνονταν από το φούρνο και η διαδικασία θερμικής επεξεργασίας συνεχιζόταν για τα υπόλοιπα (εντός του φούρνου) δείγματα.

1ος Έλεγχος (10-15 min)

Όλα τα δείγματα βρίσκονται σε ημί-παχύρευστη κατάσταση και παρά το γεγονός ότι έχουν φτάσει σε κατάσταση «ζελαρίσματος» δεν έχει επιτευχθεί ακόμα ο προσδοκώμενος βαθμός σκλήρυνσης. Κατά συνέπεια το σύνολο των υπό μελέτη δειγμάτων παρέμεινε στο φούρνο με σκοπό την συνέχιση της θερμικής τους επεξεργασίας.

2ος Έλεγχος (25-30 min)

Το 1° εναλλακτικό δείγμα (αναλογία συστατικών 98A:60B) εμφανίζεται σε πιο προχωρημένο στάδιο όσο αφορά στο βαθμό σκλήρυνσής του. Παρά ταύτα από μακροσκοπικής πλευράς παρουσιάζει ρευστότητα αντίστοιχη με αυτή που παρατηρήθηκε κατά τον προηγούμενο έλεγχο.

Το 2° εναλλακτικό δείγμα (αναλογία συστατικών 88A:70B) λόγω της αυξημένης του περιεκτικότητας σε σκληρυντή αναμενόταν να ολοκληρώσει τη διαδικασία σκλήρυνσης ταχύτερα σε σχέση με τα άλλα δείγματα. Προς επιβεβαίωση των παραπάνω το εν λόγω

δείγμα στα 30 λεπτά εμφανίζεται να έχει σκληρύνθει πλήρως. Το δείγμα αποσύρεται από το φούρνο. Κατόπιν με τη χρήση σπαθίδος καταφέρονται ελαφρά χτυπήματα σε όλη την επιφάνεια του δείγματος, μέσω των οποίων ουσιαστικά επαληθεύεται το παραπάνω συμπέρασμα. Πιο συγκεκριμένα το πολυμερές έχει στερεοποιηθεί πλήρως με αποτέλεσμα να μην διαρρηγνύεται. Η σκλήρυνση έχει συνεπώς ολοκληρωθεί.

Τέλος το αρχικό δείγμα (100A:58B) παραμένει σε ρευστή κατάσταση αντίστοιχη αυτής με αυτή που καταγράφηκε να βρίσκεται και κατά τους προηγούμενους ελέγχους.

3ος Έλεγχος (40-45 min)

Δεν παρατηρήθηκαν διαφοροποιήσεις σε ότι αφορά την φυσική κατάσταση των δειγμάτων που παρέμειναν υπό θερμική επεξεργασία εντός του φούρνου μετά την ολοκλήρωση του προηγούμενου σταδίου ελέγχου.

4ος Έλεγχος (55-60 min)

Το 1^{ο} εναλλακτικό δείγμα, το δεύτερο κατά σειρά όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε σκληρυντή, εμφανίζοντας παρόμοια συμπεριφορά με αυτήν που αναλύθηκε προηγούμενα (δείγμα 88A:70B) στα 55 λεπτά έχει σκληρυνθεί πλήρως. Το δείγμα αποσύρεται από το φούρνο. Χρησιμοποιώντας τη σπαθίδα καταφέρονται ελαφρά χτυπήματα στην επιφάνεια του δείγματος, μέσω των οποίων ουσιαστικά επαληθεύεται ότι το πολυμερές έχει στερεοποιηθεί πλήρως με αποτέλεσμα να μην διαρρηγνύεται.

Το δείγμα 100A:58B συνεχίζει να παραμένει σε παρόμοια κατάσταση με αυτήν που καταγράφηκε να βρίσκεται και κατά τους προηγούμενους ελέγχους με αποτέλεσμα να παραταθεί η παραμονή του στο φούρνο για επιπλέον χρόνο με σκοπό τον προσδιορισμό του απαιτούμενου χρόνου σκλήρυνσης για μίγματα αναλογίας αντίστοιχης με αυτήν που προτείνεται από τον κατασκευαστή του πολυμερούς συστήματος.

5ος Έλεγχος (120 min)

Με την πάροδο επιπλέον 1 ώρας και μέσω της πραγματοποίησης ενδιάμεσων ελέγχων ανά διαστήματα 20 λεπτών παρατηρείται ότι το δείγμα δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή και συνεχίζει να παραμένει στην αρχική κατάσταση. Κατά συνέπεια το συγκεκριμένο δείγμα απομακρύνεται από τον φούρνο έψησης.

6.1.3.3. Συμπεράσματα μελέτης της συμπεριφοράς πολυμερούς συστήματος εποξειδικής ρητίνης Epoxol 2874

Το Epoxol 2874 αποτελεί σύστημα εποξειδικής ρητίνης που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μονώσεων και επικαλύψεων διαφόρων τύπων επιφανειών (οροφές, δάπεδα, μάρμαρα κλπ).

Κατά η συνέπεια, η ενδεικτική προτεινόμενη αναλογία από τον κατασκευαστή, είναι αποδοτικότερη για αντίστοιχου τύπου εργασίες, οι οποίες πραγματοποιούνται κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού που οι θερμοκρασίες είναι μεγάλες με αποτέλεσμα να επιταχύνεται η διαδικασία της σκλήρυνσης παρέχοντας ταυτόχρονα καλύτερα αποτελέσματα σε ότι αφορά τις στεγανοποιητικές και μονωτικές ικανότητες του υλικού.

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής θα κατασκευαστούν υλικά μόνο με τις υπόλοιπες 2 αναλογίες (όσο αφορά τα επιμέρους συστατικά του συστήματος) που μελετήθηκαν κατά τη διεξαγωγή του μακροσκοπικού ελέγχου, λόγω του γεγονότος ότι στα δείγματα που προετοιμάστηκαν διαπιστώθηκε ότι το πολυμερές σύστημα παρουσιάζεται αποδοτικότερο ως προς την ταχύτητα αλλά και την ποιότητα της σκλήρυνσης.

6.1.4. Δοκίμια καθαρής εποξειδικής ρητίνης (μήτρα)

6.1.4.1. Μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς μήτρας εποξειδικής ρητίνης

Πριν από την κατασκευή συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης, κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθεί εκτενής μελέτη της συμπεριφοράς του ανωτέρω πολυμερούς συστήματος που θα χρησιμοποιηθεί ως μήτρα στα τελικά υπό μελέτη υλικά.

Αναλυτικότερα διεξήχθη έρευνα που εστίασε στη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του επιλεχθέντος συστήματος εποξειδικής ρητίνης σε σχέση με:

1. την κ. β. περιεκτικότητα του σκληρυντή στο μίγμα του πολυμερούς συστήματος
2. τον χρόνο θερμοσκλήρυνσης.

6.1.4.2. Κατασκευή δοκιμίων σκέτης εποξειδικής ρητίνης-Μεθοδολογία

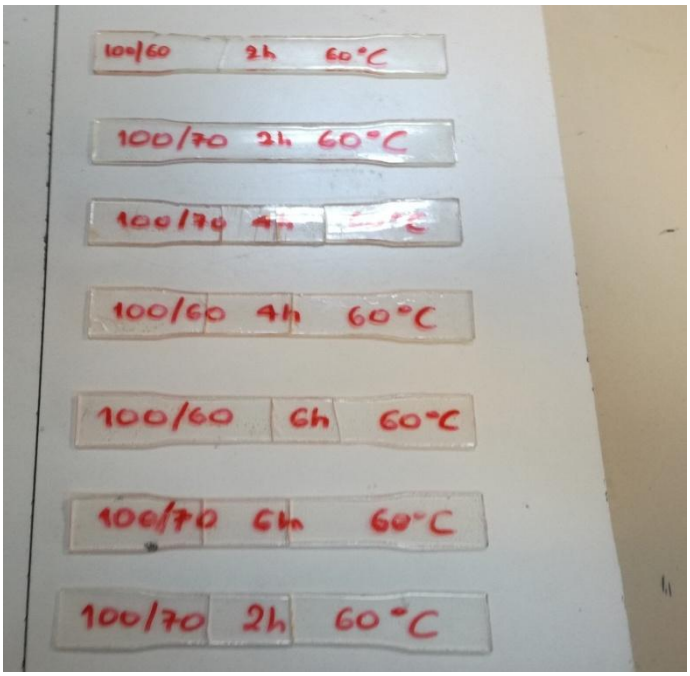
Για την κατασκευή των υλικών από καθαρή εποξειδική ρητίνη προσδιορίστηκε (βάσει των διαστάσεων του καλουπιού) η μάζα, ζυγίστηκαν οι απαιτούμενες ποσότητες ρητίνης και σκληρυντή και παρασκευάστηκε απαιτούμενη ποσότητα μίγματος.

Το καλούπι που χρησιμοποιήθηκε είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να προκύπτουν ανά παρτίδα δύο δοκίμια. Οι δε διαστάσεις αυτού, είναι επιλεγμένες κατάλληλα ώστε τα παραγόμενα δοκίμια να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις των σχετικών προτύπων και ειδικότερα του ASTM-D 790 ή ISO 178 ή DIN 53452 και του ASTM-NORM.D 2344-65 T.

Κατασκευάστηκαν διαφορετικές παρτίδες συνθέτων χρησιμοποιώντας τις 2 επικρατέστερες αναλογίες (συστατικών Α και Β του πολυμερούς συστήματος) της παραγράφου 1.4. Επιπρόσθετα κατασκευάστηκαν «υποπαρτίδες» των παραπάνω. Κάθε υποπαρτίδα υλικών παρήχθη κατόπιν θερμικής επεξεργασίας των υπό κατασκευή συνθέτων για διαφορετικό χρόνο. Συγκεκριμένα παρήχθησαν παρτίδες δοκιμίων με χρόνο θερμοσκλήρυνσης τις 2, τις 4 και τις 6 ώρες αντίστοιχα. Οι περιπτώσεις των υλικών που κατασκευάστηκαν (Εικόνα 6.1.4.2-1) σε συνδυασμό με τις αναλογίες ρητίνης και σκληρυντή που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε υλικό παρατίθενται στον Πίνακα 6.1.4.2-1.

Πίνακας 6.1.4.2-1. Περιπτώσεις κατασκευασθέντων συνθέτων.

Περιπτώσεις συνθέτων	Χρόνος Θερμοσκλήρυνσης (h)	Περιεκτικότητα (w/w %) A (epoxy)	Περιεκτικότητα (w/w%) B (σκληρυντής)	Βάρος δοκιμίου (gr)
1	2	62	38	20
2	4	62	38	20
3	6	62	38	20
4	2	55.7	44.3	20
5	4	55.7	44.3	20
6	6	55.7	44.3	20



Εικόνα 6.1.4.2-1. Υλικά καθαρής εποξειδικής ρητίνης.

Πριν την παρασκευή του μίγματος τα επιμέρους τμήματα του καλουπιού (Εικόνα 6.1.4.2-2 απολυμάνθηκαν χρησιμοποιώντας ακετόνη, συναρμολογήθηκαν και σταθεροποιήθηκαν στα άκρα τους ώστε να ελαχιστοποιηθεί το ενδεχόμενο διαρροής μίγματος από τα μεταξύ τους κενά. Εν συνεχεία όλες οι επιφάνειες του καλουπιού ψεκάστηκαν εσωτερικά και εξωτερικά με ειδικό αντικολλητικό spray (Teflon). Το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί κομβικό κομμάτι της διαδικασίας και γίνεται με σκοπό την διασφάλιση της κατά το δυνατόν εύκολης απομάκρυνσης των τελικών υλικών από το καλούπι μετά την έψηση/θερμοσκλήρυνση τους χωρίς αυτά να υποστούν φθορές.

Μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας του εξοπλισμού μορφοποίησης, ξεκίνησε η σταδιακή υλοποίηση των απαιτούμενων ενεργειών προετοιμασίας του μίγματος της ρητίνης.

Μέσω ηλεκτρονικού ζυγού πραγματοποιήθηκε ζύγιση των απαιτούμενων ποσοτήτων ρητίνης και σκληρυντή, για κάθε παρτίδα δοκιμίων. Τα επιμέρους συστατικά του πολυμερούς συστήματος αναμείχθηκαν για χρόνο 5-6 λεπτών (συνεχής ανάδευση). Το μίγμα που προέκυψε ως προϊόν από την ανάδευση, αφέθηκε σε ηρεμία για διάστημα περίπου 15-20 λεπτών ώστε να έρθει σε κατάσταση ζελαρίσματος.

Εικόνα 6.1.4.2-2. Καλούπι μορφοποίησης συνθέτων υλικών.

Κατά το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης των παραπάνω ενεργειών, ο φούρνος θερμοσκλήρυνσης είχε τεθεί σε λειτουργία με σκοπό την προθέρμανση του σε θερμοκρασία 60ºC. Επιβεβαιώνοντας την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας μέσω της σχετικής ένδειξης του θερμοστάτη, το ανωτέρω μίγμα χυτεύτηκε εντός των 2 θέσεων του καλουπιού μορφοποίησης.

Η χύτευση ολοκληρώθηκε με τον επιμελή καταμερισμό του υλικού κατά το μήκος και πλάτος της κάθε μιας εκ των θέσεων αυτού (Εικόνα 6.1.4.2-3). Στη συνέχεια το καλούπι με τα προς μορφοποίηση δοκίμια, τοποθετήθηκε εντός του φούρνου και ο χρονοδιακόπτης ελέγχου ρυθμίστηκε στις 2 ώρες.

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε για το σύνολο των δοκιμίων που κατασκευάστηκαν όσο αφορά τα επιμέρους στάδια της. Οι μόνες αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκτέλεσή της περιορίζονται: α) στην διαφοροποίηση της ποσοστιαίας κατά βάρος αναλογίας ρητίνης/σκληρυντή και β) στην διαφοροποίηση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας.

Για την επίτευξη των βέλτιστων δυνατών αποτελεσμάτων όσο αφορά το βαθμό σκλήρυνσης των παραπάνω υλικών, μετά την απομάκρυνσή τους από τον φούρνο, τα δοκίμια παρέμειναν εντός του καλουπιού σε συνθήκες περιβάλλοντος για 24 ώρες (μετασκλήρυνση).

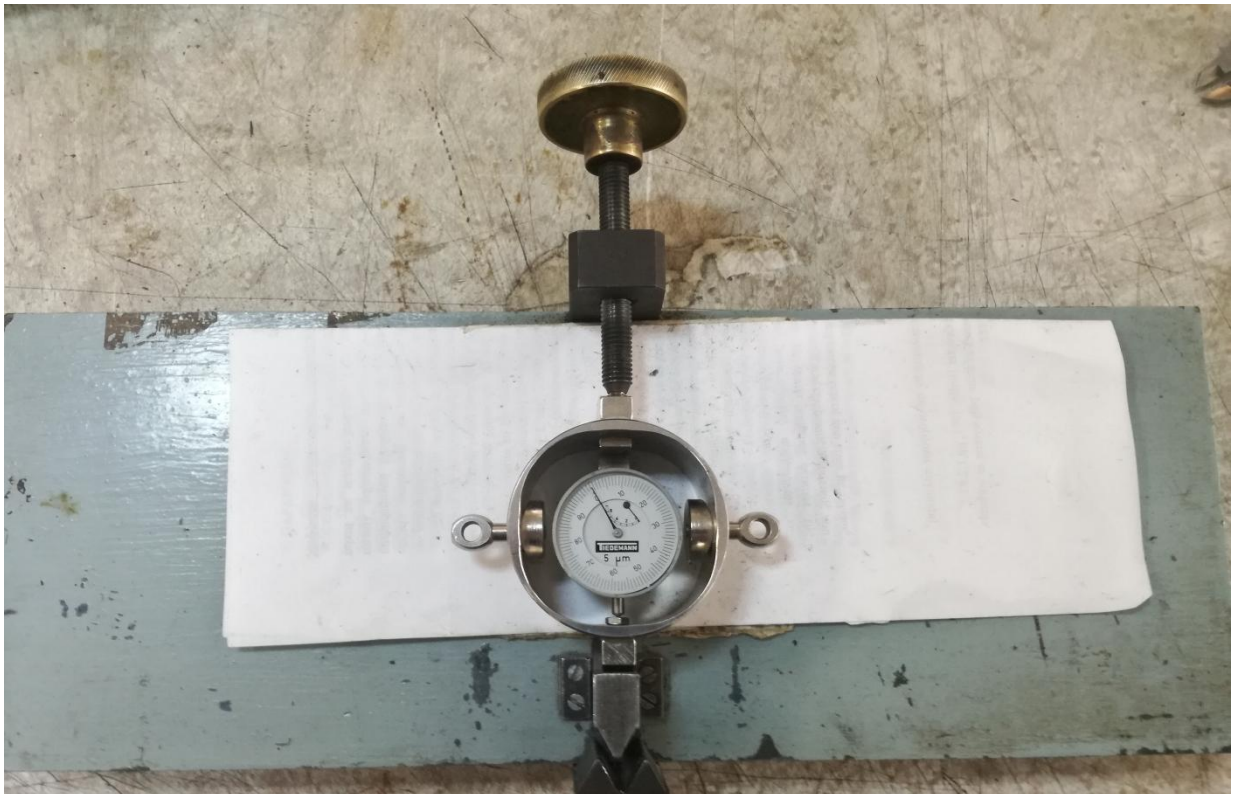
Εικόνα 6.1.4.2-3. Δοκίμια σκέτης εποξειδικής ρητίνης χυτευμένα στο καλούπι κατά τη θερμοσκλήρυνση.

6.1.4.3. Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων συνθέτων καθαρής εποξειδικής ρητίνης-Εργαστηριακή διάταξη μέτρησης

Για τη διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς των συνθέτων υλικών πραγματοποιήθηκαν πειραματικές δοκιμές ελέγχου της αντοχής αυτών σε κάμψη και διάτμηση. Για την διεξαγωγή των ανωτέρω απαιτήθηκε η χρήση ειδικού εργαστηριακού εξοπλισμού (Εικόνα 6.1.4.3-1) και πιο συγκεκριμένα επιμηκυνσιομέτρου τύπου Tiedemann.

Η λειτουργία του, βασίζεται στην εφαρμογή φορτίου (πίεσης) στο υπό εξέταση υλικό, το μέγεθος της οποίας μέσω της αναλογικής διάταξης του καταγραφικού του οργάνου δίνει ενδεικτικές μετρήσεις της προκαλούμενης από το εφαρμοζόμενο φορτίο παραμόρφωσης, ήτοι του βέλους κάμψης.

Το τελικό αποτέλεσμα αντιστοιχεί σε δύναμη το ακριβές μέγεθος της οποίας προκύπτει κατόπιν μαθηματικής αναγωγής της προκύπτουσας κατά περίπτωση ένδειξης που καταγράφεται στο όργανο με βάση τις τιμές του πίνακα της κατασκευάστριας εταιρίας.



Εικόνα 6.1.4.3-1. Εργαστηριακή διάταξη διεξαγωγής μετρήσεων κάμψης και διάτμησης.

6.1.4.3.1. Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών αντοχής σε κάμψη

Η μελέτη της αντοχής σε κάμψη των υποψήφιων προς αξιοποίηση ως μήτρες συνθέτων υλικών, έγινε με βάση το πρότυπο ASTM-D 790 ή ISO 178 ή DIN 53452 [1]. Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κάμψης «3 σημείων» σε δοκίμια κατάλληλων με βάση τα ανωτέρω πρότυπα διαστάσεων. Η απόσταση των σημείων στήριξης (των δοκιμίων) επί της διάταξης ρυθμίστηκε στα 10 cm. Εκ των τιμών που προέκυψαν από τις δοκιμές της αντοχής σε κάμψη, η τιμή που λαμβάνεται υπόψη είναι η μέγιστη με το σφάλμα επί της τιμής αυτής να προσδιορίζεται στο -/+ 7%.

Η προκύπτουσα δύναμη μετρήθηκε μέσω δυναμόμετρου ακριβείας 9.81 N (περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο) και η αντίστοιχη τιμή του βέλους κάμψης με βελόμετρο ακριβείας εκατοστού του χιλιοστού.

Η αντοχή σε κάμψη $\boldsymbol{\sigma_b}$ υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$\boldsymbol{\sigma_b = 1{,}5\frac{P_{max}L_s}{b \times d^2}}$$

Όπου:

σ_b = Αντοχή σε κάμψη (MPa)

P_{max}= Μέγιστη δύναμη φόρτισης (N)

L_s= Απόσταση σημείων στήριξης (mm)

b = Πλάτος δοκιμίου (mm)

d = Πάχος δοκιμίου (mm).

6.1.4.3.2. Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών αντοχής σε διάτμηση

Αντίστοιχα ο προσδιορισμός της αντοχής σε διάτμηση, έγινε με βάση το πρότυπο ASTM-NORM.D 2344-65 T [2]. Πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχα δοκιμές κάμψης «3 σημείων» χρησιμοποιώντας και πάλι συμμορφούμενα με το ανωτέρω πρότυπο δοκίμια και με ελαττωμένη την απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης στο 1cm. Και στην περίπτωση των δοκιμών της διάτμησης, από τις τιμές που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία, λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη τιμή με το σφάλμα επί αυτής να προσδιορίζεται στο -/+ 7%.

Η προκύπτουσα δύναμη μετρήθηκε μέσω δυναμόμετρου ακριβείας 9.81 N με τον τρόπο που περιγράφεται στην παράγραφο 6.1.4.3.1.

Η αντοχή σε διάτμηση $\boldsymbol{\tau_b}$, υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$\boldsymbol{\tau_b = 0{,}75 \frac{P_{max}}{b \times d}}$$

Όπου:

τ_b= Αντοχή σε κάμψη (MPa)

P_{max}= Μέγιστη δύναμη φόρτισης (N)

b = Πλάτος δοκιμίου (mm)

d = Πάχος δοκιμίου (mm).

6.1.5. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων εποξειδικής ρητίνης – Αποτελέσματα μετρήσεων - Σχολιασμός

5.1.5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε κάμψη υλικών καθαρής εποξειδικής ρητίνης

Στον Πίνακα 6.1.5.1-1 και στο Γράφημα 6.1.5.1-1 παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη των υλικών που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά από εποξειδική ρητίνη. Από την εξέταση τους εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το ανωτέρω πολυμερές σύστημα. Ειδικότερα παρατηρείται ότι η μεταβολή της κατά βάρος αναλογίας ρητίνης-σκληρυντή έχει ως αποτέλεσμα την

διαφοροποίηση της μηχανικής συμπεριφοράς των υπό εξέταση υλικών. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις υλικών που εξετάστηκαν, η αύξηση της κατά βάρος περιεκτικότητας του σκληρυντή στο μίγμα έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της αντοχής του τελικού υλικού σε κάμψη.

Έτσι, τα υλικά αυξημένης περιεκτικότητας σε σκληρυντή, η διαδικασία έψησης των οποίων διήρκεσε 2 ώρες, παρουσίασαν βελτιωμένη κατά 17.8% αντοχή σε κάμψη σε σχέση με αυτά που ενώ σκληρύνθηκαν για αντίστοιχο χρονικό διάστημα (2 ώρες) αλλά κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας μικρότερη ποσότητα σκληρυντή στο πολυμερές μίγμα. Σε ότι αφορά στα σύνθετα των οποίων η θερμική επεξεργασία ολοκληρώθηκε στις 4 ώρες, παρατηρήθηκε ελάττωση κατά 16% της καμπτικής αντοχής με την αύξηση της κατά βάρος ποσότητας σκληρυντικού μέσου στο τελικό υλικό.

Τέλος για τα σύνθετα θερμικής επεξεργασίας διάρκειας 6 ωρών διαπιστώνεται ότι η αύξηση της εμπεριεχόμενης ποσότητας σκληρυντή στο πολυμερές οδήγησε στην αύξηση της αντοχής των τελικών υλικών σε κάμψη κατά 53.6% σε σχέση με τα αντίστοιχα υλικά (σε ότι αφορά τη διάρκεια θερμικής επεξεργασίας) με μικρότερη ποσότητα σκληρυντή στο αρχικό μίγμα.

Μέσω όσων αναλύθηκαν παραπάνω επαληθεύεται ότι άλλη μια παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά τη μηχανική συμπεριφορά των υλικών, είναι η αύξηση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας. Με βάση τις πραγματοποιηθείσες δοκιμές παρατηρείται σχεδόν γραμμική αύξηση της αντοχής σε κάμψη για τα υλικά τα οποία κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας σκληρυντή σε χαμηλή περιεκτικότητα, κατόπιν παράτασης του χρόνου θερμοσκλήρυνσης τους (Γράφημα. 6.1.5.1-1).

Αναλυτικότερα παρατηρείται ότι η αντοχή των ανωτέρω υλικών σε κάμψη αυξάνεται κατά 27% με την αύξηση του χρόνου θερμοσκλήρυνσης από τις 2 στις 4 ώρες και 9.6% για επιπλέον αύξηση του από τις 4 στις 6 ώρες αντίστοιχα.

Διαπιστώνεται ότι τα υλικά στα οποία η ποσότητα του εμπεριεχόμενου σκληρυντή είναι μεγαλύτερη και έχουν υποβληθεί σε θερμική επεξεργασία για 4 ώρες, παρουσιάζουν ελαττωμένη κατά 6% αντοχή σε κάμψη συγκριτικά με τα αντίστοιχα υλικά που σκληρύνθηκαν

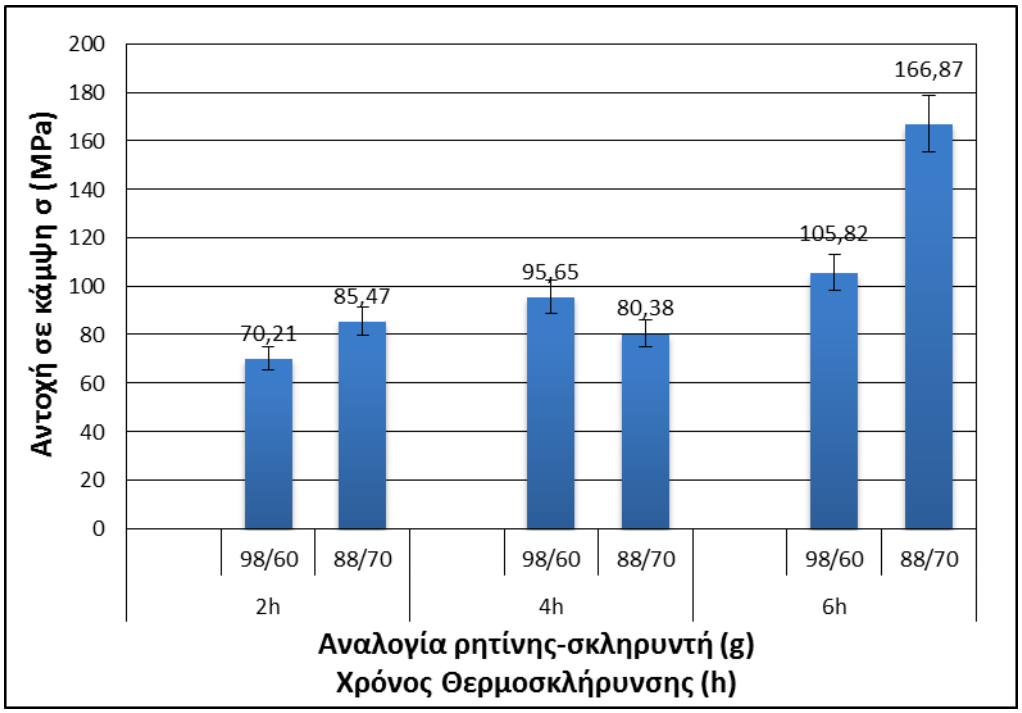
για χρονικό διάστημα 2 ωρών. Περαιτέρω αύξηση του χρόνου αυτού από τις 4 στις 6 ώρες, έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της αντοχής των εξεταζόμενων υλικών σε κάμψη κατά 52% σε σχέση με τα τελικά υλικά που παρήχθησαν μετά από θερμική επεξεργασία 4 ωρών και κατά 49% σε σύγκριση με τα υλικά που έχουν θερμοσκληρυνθεί για 2 ώρες.

Για τις περιπτώσεις 2, 3 και 4 οι οποίες και επισημαίνονται στον Πίνακα 6.1.5.1-1 με αστερίσκο κατά την διεξαγωγή των δοκιμών παρατηρήθηκε μια ελαστομερικού τύπου συμπεριφορά, με τα εν λόγω υλικά να επιδεικνύουν αυξημένη ελαστικότητα. Εξαιτίας της μεγάλης ευκαμψίας και ευλυγισίας τους, δεν κατέστη δυνατή η μόνιμη παραμόρφωσή τους και τελικώς η θραύση τους. Τα παραπάνω επαληθεύονται από το γεγονός ότι κατά την φόρτιση των δοκιμίων η ένδειξη του οργάνου μέτρησης δεν παρουσίαζε μεταβολή ως προς την μέγιστη τιμή της παρά την άσκηση επιπλέον δύναμης μέσω του επιμηκυνσιομέτρου.

Τέλος λαμβάνοντας υπόψη το ότι η πλειοψηφία των υλικών που εξετάστηκαν παρουσίασαν βελτίωση σε ότι αφορά την αντοχή τους σε κάμψη, η διαφοροποίηση που χαρακτηρίζει τα υλικά της περίπτωσης 4 του πίνακα, μπορεί να αποδοθεί σε ενδεχόμενη αστοχία κατά την προετοιμασία των συγκεκριμένων δοκιμίων (π.χ. εγκλωβισμός αέρα κατά την ανάδευση, κακής ποιότητας ανάδευση κλπ).

Πίνακας 6.1.5.1-1. Αντοχή σε κάμψη υλικών σκέτης εποξειδικής ρητίνης.

Περιπτώσεις δοκιμίων	Χρόνος θερμοσκλήρυνσης (h)	Αναλογία ρητίνης/ σκληρυντή (w/w %)	σ_b(MPa)
1	2	62.03/37.97	70.21
2	2	55.70/44.3	85.47*
3	4	62.03/37.97	95.65*
4	4	55.70/44.30	80.38*
5	6	62.03/37.97	105.82
6	6	55.70/44.30	166.87



Γράφημα 6.1.5.1-1 Αντοχή σε κάμψη υλικών σκέτης εποξειδικής ρητίνης.

6.1.5.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε διάτμηση υλικών καθαρής εποξειδικής ρητίνης

Αντίστοιχα στον Πίνακα 6.1.5.2-1 και στο Γράφημα 6.1.5.2-1 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε διάτμηση των υλικών σκέτης εποξειδικής ρητίνης. Κατόπιν της ενδελεχούς εξέτασης αυτών εξάγεται το συμπέρασμα πως η μεταβολή των κατά βάρος αναλογιών ρητίνης και σκληρυντή στο πολυμερές μίγμα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των υλικών σκέτης εποξειδικής ρητίνης, έχει αντίστοιχα αποτέλεσμα (με αυτά που παρατηρήθηκαν στην μελέτη αντοχής σε κάμψη) και σε ότι αφορά την αντοχή τους σε διάτμηση.

Παρατηρείται στις περισσότερες περιπτώσεις ότι, η αύξηση της κ. β. περιεκτικότητας του σκληρυντή στο μίγμα οδηγεί στην βελτίωση της διατμητικής αντοχής των τελικών υλικών.

Από τα ανωτέρω διαφοροποιούνται τα υλικά που έχουν κατασκευαστεί χρησιμοποιώντας αυξημένη ποσότητα σκληρυντή και έχουν θερμοσκληρυνθεί για χρονικό διάστημα 2 ωρών. Τα συγκεκριμένα υλικά εμφάνισαν ελαττωμένη διατμητική αντοχή κατά 38% σε σύγκριση με τα αντίστοιχα (ως προς το χρόνο θερμικής επεξεργασίας) που κατασκευάστηκαν με μικρότερη ποσότητα σκληρυντή. Οι λόγοι στους οποίους αποδίδεται η συγκεκριμένη μηχανική συμπεριφορά στα υλικά της περίπτωσης 2, είναι αντίστοιχοι αυτών που αναλύθηκαν στην παράγραφο 6.1.5.1.

Επιπρόσθετα τα υλικά που θερμοσκληρύνθηκαν για 4 ώρες, επέδειξαν βελτίωση στη διατμητική τους αντοχής κατά 8.72% ως συνέπεια της αύξησης του εμπεριεχόμενου σκληρυντή. Αντίστοιχα τα υλικά των 6 ωρών που κατασκευάστηκαν με χρήση επιπλέον ποσότητα σκληρυντή βελτιώθηκαν ως προς τη διατμητική τους αντοχή κατά 57.5%.

Η αύξηση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας αποτελεί σημαντική παράμετρο και σε ότι αφορά την μελέτη της διατμητικής αντοχής των εν λόγω υλικών.

Τα υλικά με μικρότερη ποσότητα σκληρυντή επέδειξαν βελτίωση της διατμητικής τους αντοχής σε ποσοστό 17.6% με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας από τις 2 στις 4 ώρες. Η εν λόγω βελτίωση σε ότι αφορά τα αντίστοιχα υλικά (ως προς τους χρόνους σκλήρυνσης) με αυξημένη ποσότητα σκληρυντή ανήλθε περίπου στο 54%.

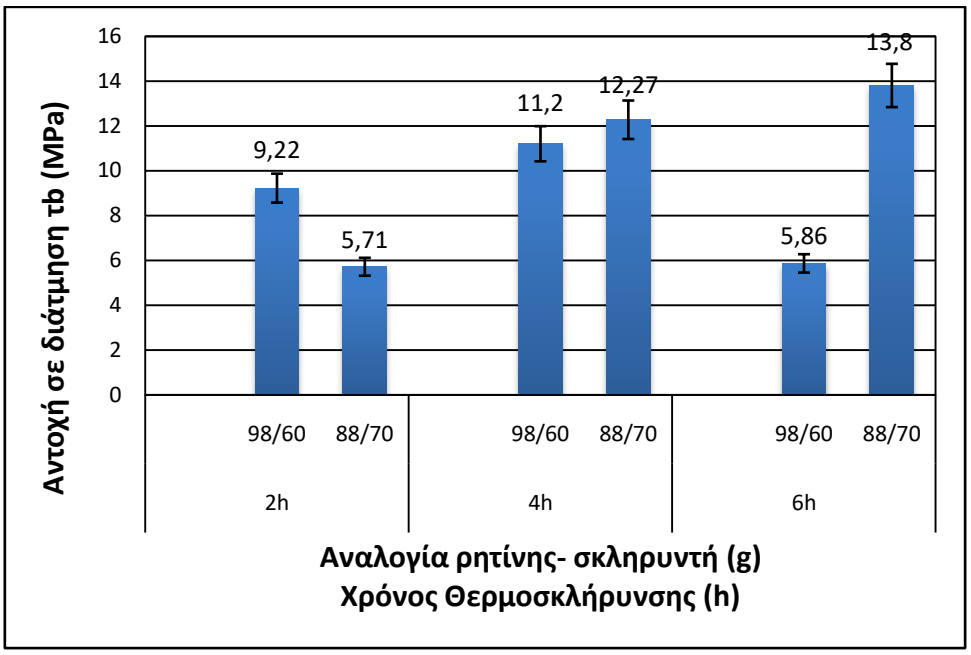
Η περαιτέρω αύξηση του χρόνου σκλήρυνσης στις 6 ώρες έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διατμητικής αντοχής των τελικώς παραγόμενων υλικών κατά 47.6% σε ότι αφορά στα δοκίμια με χαμηλή ποσότητα σκληρυντή συγκριτικά με αυτά των 4 ωρών. Αντίστοιχα οδηγεί στην αύξηση της διατμητικής αντοχής κατά 11.1% των υλικών με αυξημένη περιεκτικότητα σκληρυντή.

Διαπιστώνεται ότι η πέραν των 4 ωρών θερμοσκλήρυνση στις περιπτώσεις υλικών με μικρότερη ποσότητα σκληρυντή, έχει ως αποτέλεσμα τα ανωτέρω υλικά να χαρακτηρίζονται από περιορισμένες αντοχές σε καταπονήσεις. Αντιθέτως σε ότι αφορά στα υλικά που κατασκευάστηκαν αυξάνοντας την ποσότητα του σκληρυντή στο πολυμερές μίγμα, η επέκταση του χρόνου θερμοσκλήρυνσης από τις 4 στις 6 ώρες, οδήγησε στην παραγωγή ανθεκτικότερων υλικών.

Ως αποτέλεσμα των όσων αναλύθηκαν παραπάνω για την κατασκευή της μήτρας των συνθέτων εποξειδικής ρητίνης-ΑΚΚ επιλέχθηκαν τα υλικά της περίπτωσης 6.

Πίνακας 6.1.5.2-1 Αντοχή σε διάτμηση υλικών καθαρής εποξειδικής ρητίνης.

Περιπτώσεις δοκιμίων	Χρόνος θερμοσκλήρυνσης (h)	Αναλογία ρητίνης/ σκληρυντή (w/w %)	τ_b (MPa)
1	2	62.03/37.97	9.22
2	2	55.70/44.30	5.71*
3	4	62.03/37.97	11.20
4	4	55.70/44.30	12.27
5	6	62.03/37.97	5.86
6	6	55.70/44.30	13.80



Γράφημα 6.1.5.2-1 Αντοχή σε διάτμηση υλικών καθαρής εποξειδικής ρητίνης.

6.1.6. Σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ

6.1.6.1. Μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς συνθέτων υλικών

Με την ολοκλήρωση της διερεύνησης της συμπεριφοράς του συστήματος εποξειδικής ρητίνης που θα χρησιμοποιηθεί ως μήτρα στα σύνθετα υλικά ξεκίνησε το επόμενο στάδιο της έρευνας.

Σε αυτό πραγματοποιήθηκε μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών σε σχέση με:

1. Την κατά βάρος περιεκτικότητα του εμπεριεχόμενου σε αυτά πρόσθετου υλικού.
2. Την κοκκομετρία του πρόσθετου που εμπεριέχεται σε αυτά.

6.1.6.2. Κατασκευή συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ-Μεθοδολογία

Για την κατασκευή των συνθέτων παρασκευάζεται η απαιτούμενη ποσότητα μίγματος εποξειδικής ρητίνης (εποξειδική ρητίνη + σκληρυντής) και ΑΚΚ. Η εισαγωγή της κατά βάρος απαιτούμενης ποσότητας της σκόνης ΑΚΚ στο μίγμα για την κατασκευή των τελικών συνθέτων, πραγματοποιείται κατόπιν της αφαίρεσης της αντίστοιχης ποσότητας εποξειδικής ρητίνης.

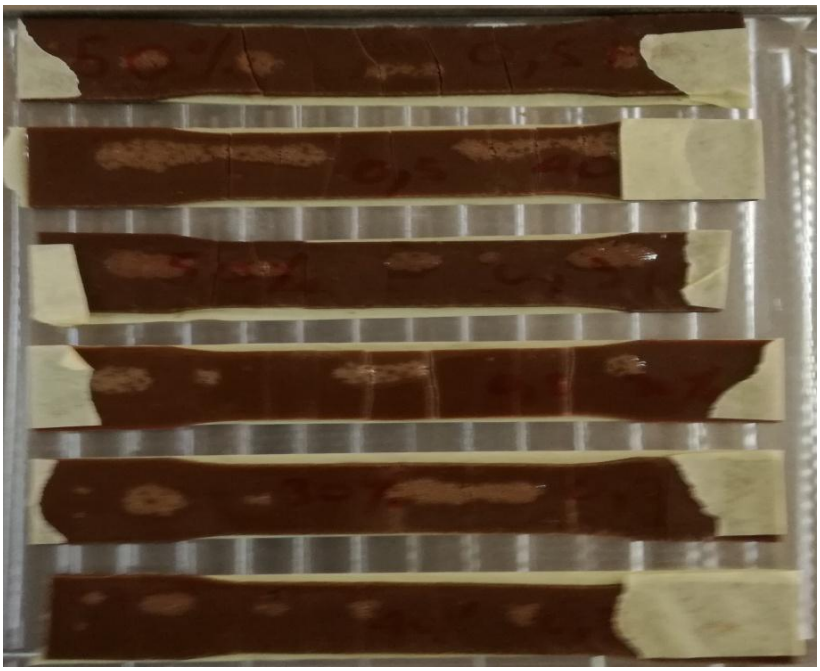
Όσον αφορά δε στην ποσότητα του πρόσθετου υλικού στο σύνθετο εξετάστηκαν οι περιπτώσεις 3 διαφορετικών κ. β. αναλογιών πρόσθετου. Συγκεκριμένα κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης με ενσωμάτωση ΑΚΚ σε κατά βάρος αναλογίες 30%, 40% και 50% χρησιμοποιώντας σκόνη ΑΚΚ κοκκομετρίας 300 μm και 500 μm αντίστοιχα. Η μεθοδολογία παρασκευής των σκονών πλήρωσης έχει περιγραφεί αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5).

Η κατασκευή των ανωτέρω υλικών έγινε ακολουθώντας τα όσα αναλύθηκαν στις παραγράφους 1.4 και 1.5. Σε ότι αφορά στο καλούπι μορφοποίησης χρησιμοποιήθηκε το ίδιο καλούπι που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των δοκιμίων σκέτης εποξειδικής ρητίνης.

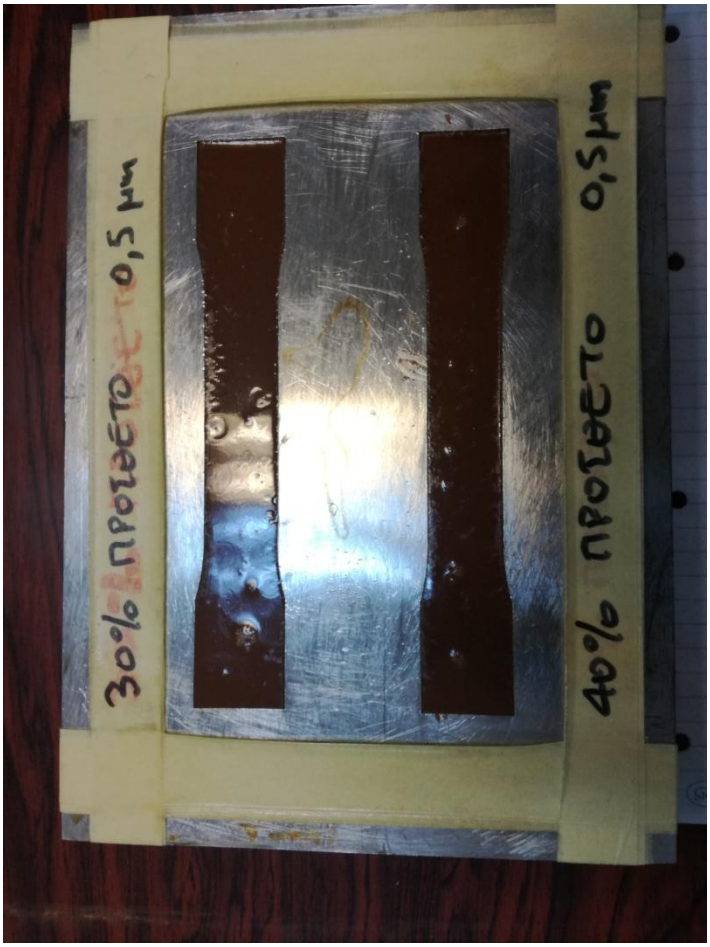
Οι περιπτώσεις συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.6.2-1 (Εικόνες 6.1.6.2-1 και 6.1.6.2-2).

Πίνακας 6.1.6.2-1. Περιπτώσεις κατασκευασθέντων συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Αναλογία Ρητίνης – σκληρυντή (% w/w)	Χρόνος Θερμοσκλήρυνσης (h)	Κοκκομετρία πρόσθετου (μm)	Περιεκτικότητα (%) κ. β. (ρητίνης)	Περιεκτικότητα (%) κ. β. (υλικού πλήρωσης)
ER–CDW30-500μm	55.7/44.3	6	500	70	30
ER–CDW40-500μm	55.7/44.3	6	500	60	40
ER–CDW50-500μm	55.7/44.3	6	500	50	50
ER–CDW30-300μm	55.7/44.3	6	300	70	30
ER–CDW40-300μm	55.7/44.3	6	300	60	40
ER–CDW50-300μm	55.7/44.3	6	300	50	50



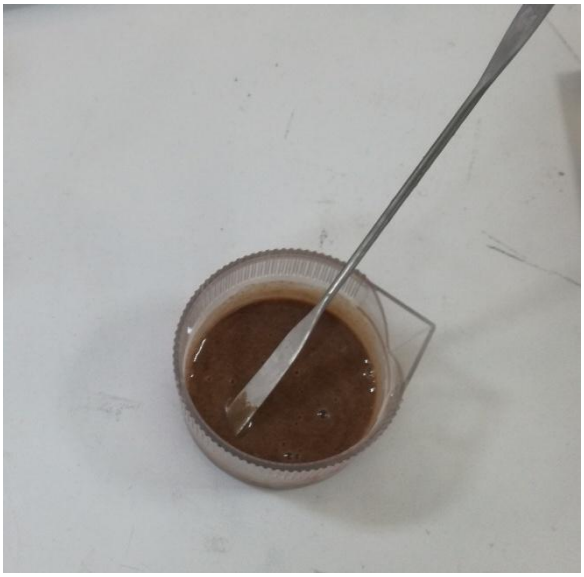
Εικόνα 6.1.6.2-1. Σύνθετα εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.



Εικόνα 6.1.6.2-2. Σύνθετα εποξειδικής ρητίνης στο καλούπι μετά την σκλήρυνση.

Και για την περίπτωση των συνθέτων εποξειδικής ρητίνης και ΑΚΚ, πριν από οποιαδήποτε άλλη διαδικασία έλαβαν χώρα κατά σειρά αναφοράς, ο σχολαστικός καθαρισμός με τη χρήση ακετόνης, η συναρμολόγηση και σταθεροποίηση των τμημάτων του καλουπιού μορφοποίησης (Βλέπε §5.1.4.2, προηγούμενο κεφάλαιο). Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε ψεκασμός των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του καλουπιού οι οποίες ψεκάστηκαν εσωτερικά και εξωτερικά με Teflon ούτως ώστε να καταστεί εφικτή η (κατά το δυνατό) χωρίς φθορές απομάκρυνση των δοκιμίων από το καλούπι μετά την ολοκλήρωση της θερμικής τους επεξεργασίας.

Αμέσως μετά, μέσω του ηλεκτρονικού ζυγού, προσδιορίστηκαν οι απαιτούμενες ανά παρτίδα δοκιμίων ποσότητες ρητίνης, σκληρυντή και πληρωτικού μέσου. Ακολούθησε η σταδιακή τοποθέτηση και ανάμειξη των ανωτέρω συστατικών. Αρχικά τα δύο συστατικά του συστήματος εποξειδικής ρητίνης, τοποθετήθηκαν σε δοχείο και αναμείχθηκαν για χρόνο 5-6 λεπτών (συνεχής ανάδευση) και στη συνέχεια προστέθηκε η κατά περίπτωση απαιτούμενη ποσότητα σκόνης ΑΚΚ. Το τελικό μίγμα (πολυμερές και ΑΚΚ) αναδεύτηκε επίσης για 4-5 λεπτά (Εικόνα 5.1.6.2-3) ώστε να προκύψει ένα ομογενές μίγμα.



Εικόνα 6.1.6.2-3. Μίγμα κατασκευής συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.

Το αναμεμιγμένο υλικό τοποθετήθηκε (χύτευση) εντός των θέσεων του καλουπιού μορφοποίησης και κατόπιν αυτό (το καλούπι) τοποθετήθηκε στο φούρνο, ο οποίος είχε προθερμανθεί στους 60ºC για την κατασκευή των συνθέτων. Η διάρκεια της θερμικής

επεξεργασίας καθορίστηκε στις 6 ώρες μέσω του χρονοδιακόπτη. Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε για το σύνολο των συνθέτων που κατασκευάστηκαν όσο αφορά τα επιμέρους στάδια της. Οι μοναδικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκτέλεσή της, συνίστανται στην κατά περίπτωση διαφοροποίηση της κ. β. αναλογίας εποξειδικής ρητίνης και υλικού πλήρωσης αντίστοιχα.

Για την επίτευξη των βέλτιστων δυνατών αποτελεσμάτων όσο αφορά στο βαθμό σκλήρυνσης των παραπάνω υλικών, μετά την απομάκρυνσή τους από τον φούρνο, τα θερμικά μορφοποιημένα δοκίμια παρέμειναν εντός του καλουπιού σε συνθήκες περιβάλλοντος για 24 ώρες (μετασκλήρυνση).

6.1.6.3. Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών αντοχής σε κάμψη και διάτμηση

Για τη διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς των συνθέτων υλικών πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ελέγχου της αντοχής αυτών σε κάμψη και διάτμηση σύμφωνα με τα όσα έχουν αναλυθεί διεξοδικά στις υποπαραγράφους 6.1.4.3.1 και 6.1.4.3.2 κάνοντας χρήση του ίδιου εργαστηριακού εξοπλισμού (επιμηκυνσιομέτρο).

6.1.7. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με προσθήκη ΑΚΚ-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός

6.1.7.1. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε κάμψη συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με σκόνη ΑΚΚ

Στον Πίνακα 6.1.7.1-1 και στο Γράφημα 6.1.7.1-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για τα σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης και ΑΚΚ. Από την εξέταση τους εξάγεται αρχικά το συμπέρασμα ότι η ενσωμάτωση ΑΚΚ σε πολυμερική μήτρα εποξειδικής ρητίνης έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή συνθέτων υλικών υποβαθμισμένης αντοχής.

Η αρχική ενσωμάτωση (προσθήκη 30% κ. β.) ΑΚΚ οδηγεί στην μείωση της καμπτικής αντοχής των τελικών υλικών σε σύγκριση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά από εποξειδική ρητίνη (0% σκόνη ΑΚΚ), η οποία ανέρχεται στο 64% για τα υλικά στα οποία εμπεριέχεται σκόνη ΑΚΚ 300 μm και αντίστοιχα στο 79.3% για τα υλικά που ως πρόσθετο εμπεριέχουν σκόνη 500 μm. Η αύξηση της κατά βάρος ποσότητας της σκόνης ΑΚΚ στα σύνθετα (από 30% σε 40% κ. β.), οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της αντοχής αυτών σε κάμψη σε σύγκριση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν με πρόσθετο σε ποσοστό 30% κατά βάρος.

Η μείωση αυτή ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως του 26.5% στην περίπτωση που ως πρόσθετο υλικό εισάγεται σκόνη ΑΚΚ 500 μm και σε ποσοστό 33.9% όταν ως πρόσθετο στα ανωτέρω υλικά χρησιμοποιείται η αντίστοιχη σκόνη των 300 μm. Σε σύγκριση με τα υλικά από καθαρή εποξειδική ρητίνη, τα ανωτέρω υλικά παρουσιάζουν ακόμα χαμηλότερες τιμές καμπτικών αντοχών. Πιο συγκεκριμένα η αντοχή σε κάμψη των συνθέτων στα οποία χρησιμοποιήθηκε σκόνη ΑΚΚ 500 μm παρουσιάζεται μειωμένη κατά 84.8% και στα υλικά με σκόνη 300 μm μειωμένη κατά 76.2% συγκριτικά με τα καθαρά εποξειδικά υλικά.

Περαιτέρω αύξηση της ως άνω εμπεριεχόμενης σκόνης από το 40% στο 50% έχει ως αποτέλεσμα ακόμα μεγαλύτερη μείωση της αντοχής σε κάμψη των υπό μελέτη συνθέτων. Διαπιστώνεται ότι η καμπτική αντοχή μειώνεται (σε σύγκριση με τα υλικά περιεκτικότητας 40% σε πρόσθετο) κατά 4% σε ότι αφορά τα σύνθετα υλικά με πληρωτικό υλικό κοκκομετρίας 300 μm και κατά 33.3% για τα υλικά με υλικό πλήρωσης 500 μm. Η αντίστοιχή μείωση της αντοχής σε σχέση με τα υλικά από σκέτη εποξειδική ρητίνη όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των δοκιμών ανέρχεται σε 84.1% για τα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης-ΑΚΚ 300 μm και σε 85.4% για τα αντίστοιχα σύνθετα με τη σκόνη ΑΚΚ 500 μm.

Μια ακόμα παράμετρος η οποία επηρεάζει σημαντικά την μηχανική συμπεριφορά των υπό εξέταση υλικών είναι και η κοκκομετρία της σκόνης που χρησιμοποιείται ως υλικό πλήρωσης για την κατασκευή τους. Εν γένει παρατηρείται ότι η προσθήκη σκόνης διαφορετικών κοκκομετρικών μεγεθών οδηγεί σε διαφοροποίηση της μηχανικής απόκρισης των συνθέτων.

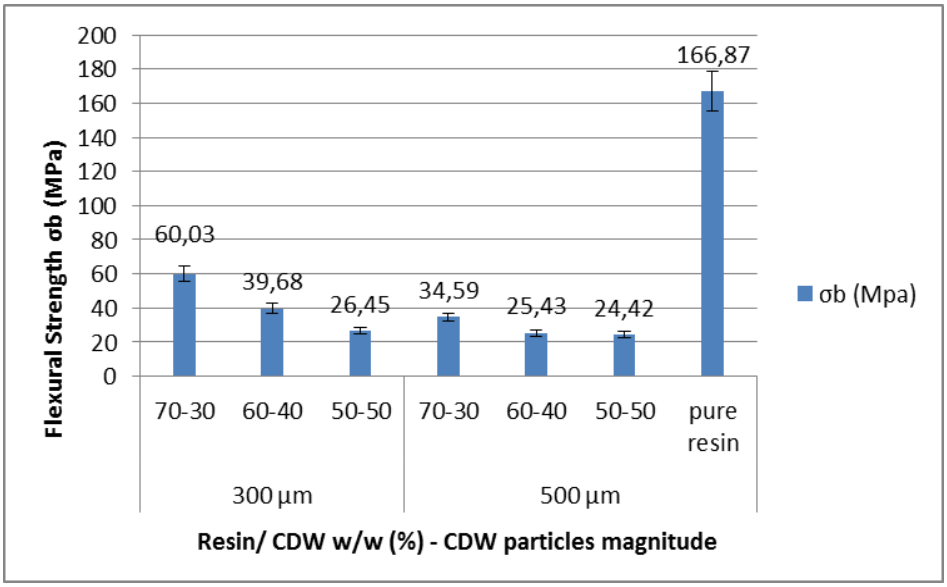
Πιο συγκεκριμένα, η αντοχή σε κάμψη για τα σύνθετα με κατά βάρος ποσοστό υλικού πλήρωσης 30%, παρουσιάζει μείωση της τάξεως του 42.3%, όταν αντί της σκόνης ΑΚΚ 300 μm χρησιμοποιηθεί σκόνη αντιστοίχου μεγαλύτερης κοκκομετρίας και συγκεκριμένα 500 μm.

Η μείωση της αντοχής σε κάμψη για τις περιπτώσεις συνθέτων υλικών με κατά βάρος περιεκτικότητα 40% και 50%, ανέρχεται σε 35.9% και 7.7% αντίστοιχα, ως αποτέλεσμα της χρήσης πληρωτικού υλικού μεγαλύτερης κοκκομετρίας.

Το σφάλμα που εμπεριέχεται στις εν λόγω μετρήσεις ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως -/+ 7%.

Πίνακας 6.1.7.1-1. Αντοχή σε κάμψη συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Αναλογία κ. β. (%) ρητίνης/ΑΚΚ	σ_b (MPa)
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 300 μm	
ER–CDW30-300μm	70-30	60.03
ER–CDW40-300μm	60-40	39.68
ER–CDW50-300μm	50-50	26.45
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 500 μm	
ER–CDW30-500μm	70-30	34.59
ER–CDW40-500μm	60-40	25.43
ER–CDW50-500μm	50-50	24.42



Γράφημα 6.1.7.1-1. Αντοχή σε κάμψη συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.

6.1.7.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε διάτμηση συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με σκόνη ΑΚΚ

Στον Πίνακα 6.1.7.2-1 και στο Γράφημα 6.1.7.2-1 παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων της αντοχής σε διάτμηση για τα σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης με την προσθήκη ΑΚΚ.

Η μηχανική συμπεριφορά των συνθέτων σε όρους αντοχής σε διάτμηση είναι πανομοιότυπη με αυτή που επέδειξαν τα εν λόγω υλικά κατά την πειραματική μελέτη της καμπτικής τους αντοχής. Πιο συγκεκριμένα και στην περίπτωση αυτή η προσθήκη σκόνης ΑΚΚ έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της διατμητικής αντοχής των συνθέτων υλικών.

Η αρχική εισαγωγή του υλικού πλήρωσης σε ποσοστό 30% οδηγεί σε μείωση της διατμητικής αντοχής των συνθέτων κατά 45.4% στην περίπτωση που ως πρόσθετο υλικό

χρησιμοποιούνται ΑΚΚ 300 μm και κατά 73% με την προσθήκη σκόνης ΑΚΚ 500 μm, σε σύγκριση με τα υλικά που παρήχθησαν από σκέτη εποξειδική ρητίνη.

Η αύξηση της κ. β. περιεκτικότητας του πρόσθετου υλικού στα σύνθετα στο 40%, έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση της διατμητικής τους αντοχής (συγκριτικά με τα σύνθετα κ. β. περιεκτικότητας σε πρόσθετο σε ποσοστό 30%) κατά 52.6% στα σύνθετα με ΑΚΚ 500 μm και κατά 8.1% σε αυτά που ως πρόσθετο χρησιμοποιήθηκε σκόνη ΑΚΚ 300 μm.

Αντίστοιχα σε σύγκριση με τα υλικά από καθαρή εποξειδική ρητίνη, τα ανωτέρω υλικά παρουσιάζουν ακόμα χαμηλότερες τιμές διατμητικών αντοχών. Πιο συγκεκριμένα η αντοχή σε διάτμηση των συνθέτων στα οποία χρησιμοποιήθηκε σκόνη ΑΚΚ 500 μm παρουσιάζεται μειωμένη κατά 75.2% και στα υλικά με σκόνη 300 μm μειωμένη κατά 74.1% σε σχέση με τα καθαρά εποξειδικά υλικά.

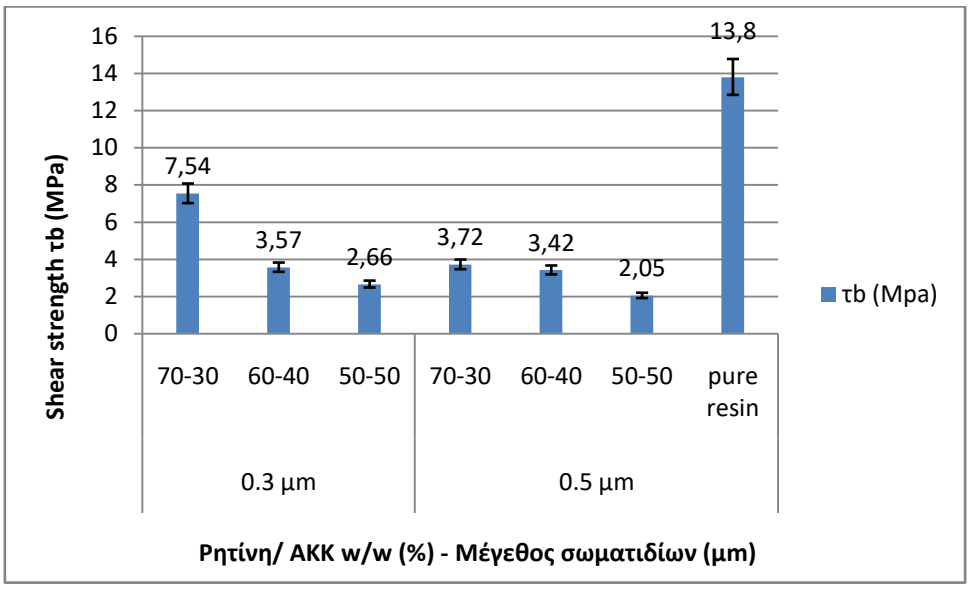
Περαιτέρω αύξηση της κ. β. ποσότητας του υλικού πλήρωσης στο 50%, επιφέρει ακόμα μεγαλύτερη μείωση της διατμητικής αντοχής των συνθέτων υλικών σε σχέση με τα σύνθετα στα οποία προστέθηκαν ΑΚΚ σε ποσοστό 40%, η οποία ανέρχεται στο 40.1% στην περίπτωση που η κοκκομετρία της χρησιμοποιούμενης σκόνης ΑΚΚ είναι 500 μm και το 26% στην περίπτωση χρήσης της αντίστοιχης σκόνης 300 μm.

Η αντίστοιχή μείωση της αντοχής σε σχέση με τα υλικά από σκέτη εποξειδική ρητίνη όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των δοκιμών ανέρχεται σε 80.7% για τα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ 300 μm και σε 85.1% για τα αντίστοιχα σύνθετα με σκόνη ΑΚΚ 500 μm.

Το μέγεθος των κόκκων του υλικού πλήρωσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα και στην περίπτωση της μελέτης της αντοχής σε διάτμηση. Η αύξηση του κοκκομετρικού μεγέθους του πληρωτικού υλικού στα σύνθετα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση-όπως διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα-της διατμητικής τους αντοχής. Πιο συγκεκριμένα η εισαγωγή στο σύνθετο σκόνης ΑΚΚ 500 μm σε αντικατάσταση της αντίστοιχης των 300 μm συντελεί στην μείωση της διατμητικής αντοχής αυτών κατά 50.6%, 4.2% και 22.9% κατά αντιστοιχία για τα σύνθετα με κ. β. περιεκτικότητα σκόνης ΑΚΚ 30%, 40% και 50% [3].

Πίνακας 6.1.7.2-1. Αντοχή σε διάτμηση συνθέτων εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Αναλογία κ. β. (%) ρητίνης/ ΑΚΚ	τ_b (MPa)
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 300 μm	
ER–CDW30-300μm	70-30	7.54
ER–CDW40-300μm	60-40	3.57
ER–CDW50-300μm	50-50	2.66
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 500 μm	
ER–CDW30-500μm	70-30	3.72
ER–CDW40-500μm	60-40	3.42
ER–CDW50-500μm	50-50	2.05



Γράφημα 6.1.7.2-1. Αντοχή σε διάτμηση δοκιμίων εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.

6.2. Σύνθετα Υλικά με βάση τον Πολυεστέρα

6.2.1. Πρώτες ύλες

Αντίστοιχα για την κατασκευή της μήτρας των πολυεστερικών συνθέτων, επιλέχθηκε το εργοστασιακής παραγωγής σύστημα με κωδικό ονομασίας PE6/TC (Εικόνα 6.2.1-1) της σειράς εμπορικών προϊόντων της εταιρίας NEOTEX.

Πρόκειται για σύστημα θιξοτροπικού πολυεστέρα με επιταχυντή που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως οι κατασκευές (πλαστικοποιήσεις) και επισκευές σε σκάφη αναψυχής, βάρκες, δεξαμενές, στέγαστρα. Είναι επίσης κατάλληλος για παραγωγή χυτών αντικειμένων, π.χ. αγάλματα, μπιμπελό κλπ. Ο πολυμερισμός του πραγματοποιείται με την προσθήκη υπεροξειδίου μέθυλο-αίθυλο-κετόνης (MEKP) η οποία παίζει το ρόλο του καταλύτη (σκληρυντικό μέσο) και εισάγεται στην κατάλληλη αναλογία, ήτοι περίπου 15-20 gr/1kg ρητίνης.

Εικόνα 6.2.1-1 Σύστημα πολυεστέρα Neotex PE6/TC.

6.2.2. Ιδιότητες επιλεχθέντος συστήματος πολυεστέρα

Το σύστημα PE6/TC χαρακτηρίζεται από τις ακόλουθες ιδιότητες, οι οποίες σε γενικές γραμμές αποτελούν εν γένει χαρακτηριστικά των περισσότερων πολυεστερικών ρητινών:

- Διαθέτει χαμηλή πυκνότητα
- Χαρακτηρίζεται από καλή αντοχή στη διάβρωση
- Ο διαδικασίες προετοιμασίας και εφαρμογής του είναι απλές
- Η διαδικασία σκλήρυνσης πραγματοποιείται σε γρήγορο χρόνο
- Διαθέτει αρκετά καλές φυσικές και ηλεκτρικές ιδιότητες
- Το κόστος του συγκριτικά με τις άλλες ρητίνες όπως οι φαινολικές ή/και οι εποξειδικές είναι χαμηλό.

Παρόλα αυτά οι πολυεστερικές ρητίνες παρουσιάζουν και μειονεκτήματα τα οποία οδηγούν στην περιορισμένη χρήση ή ακόμα και τον πλήρη αποκλεισμό τους από κάποιες εφαρμογές. Αναλυτικότερα, η χαμηλή τους αντοχή σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών εξαιτίας της οποίας εμφανίζουν έντονη συστολική συμπεριφορά κατά τη σκλήρυνσή τους, είναι μόνο μερικές από τις σημαντικότερες αρνητικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τις πολυεστερικές ρητίνες [4].

6.2.3. Δοκίμια καθαρού πολυεστέρα (μήτρα)

6.2.3.1. Μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς μήτρας πολυεστέρα

Πριν από την κατασκευή συνθέτων υλικών πολυεστέρα με ΑΚΚ (όπως ακριβώς περιγράφηκε στην παράγραφο 6.1.4.1 για την εποξειδική ρητίνη), μελετήθηκε η

συμπεριφορά του ανωτέρω συστήματος, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως μήτρα στα εν λόγω σύνθετα υλικά. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκε η μηχανική συμπεριφορά του συστήματος πολυεστέρα σε σχέση με:

1. Τον κατά περίπτωση επιλεγόμενο χρόνο αρχικής σκλήρυνσης και μετά-σκλήρυνσης. Λόγω του γεγονότος ότι ο πολυεστέρας χρησιμοποιείται κατά βάση σε κατασκευαστικές εφαρμογές όπως αυτές που αναλύθηκαν παραπάνω (παράγραφος 6.2.1) και λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμένο χρόνο εργασιμότητας (pot-life) του συγκεκριμένου πολυεστερικού συστήματος (10-30 λεπτά), αποφασίστηκε να μην μελετηθεί η μεταβολή της συμπεριφοράς ως προς την κατά βάρος περιεκτικότητα του μέσου σκλήρυνσης στο μίγμα. Προς αποφυγή φαινομένων πρόωρης και ταχύτερης σκλήρυνσης κατά την αρχική παρασκευή του μίγματος που θα είχαν ως αποτέλεσμα την αδυναμία κατασκευής συνθέτων και κατ' επέκταση την άσκοπη σπατάλη υλικού αποφασίστηκε να προτιμηθεί η προτεινόμενη από τον κατασκευαστή αναλόγια (15-20 gr σκληρυντής/1 kg πολυεστέρα ≈ 3%).

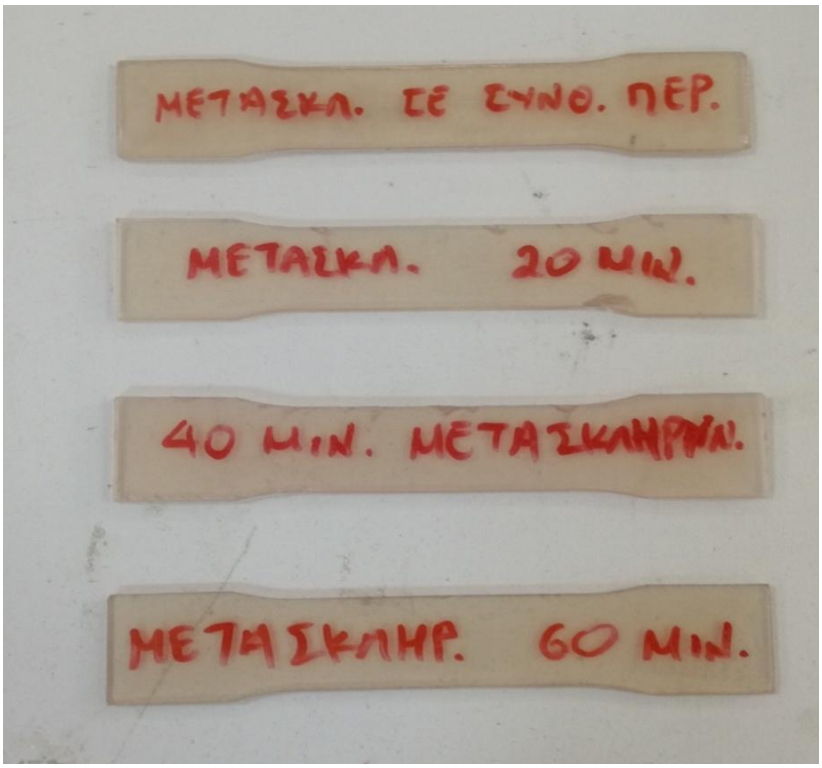
6.2.3.2. Κατασκευή δοκιμίων αποκλειστικά από πολυεστέρα-Μεθοδολογία

Για την κατασκευή των συνθέτων παρασκευάζεται η απαιτούμενη ποσότητα μίγματος λαμβάνοντας υπόψη την προτεινόμενη αναλογία των δύο επιμέρους συστατικών του πολυμερούς συστήματος (πολυεστέρα και σκληρυντή) που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Η κατασκευή των δοκιμίων έγινε χρησιμοποιώντας το ίδιο καλούπι (με το οποίο κατασκευάστηκαν και τα σύνθετα υλικά από εποξειδική ρητίνη) και σύμφωνα με τα όσα αναλύθηκαν στην παράγραφο 6.1.4.2.

Οι περιπτώσεις των υλικών που κατασκευάστηκαν (Εικόνα 6.2.3.1-1) σε συνδυασμό με τις αναλογίες ρητίνης και σκληρυντή που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε υλικό παρατίθενται στον Πίνακα 6.2.3.1-1.

Πίνακας 6.2.3.1-1. Περιπτώσεις κατασκευασθέντων υλικών.

Περιπτώσεις συνθέτων	Χρόνος Θερμοσκλήρυνσης (min)	Χρόνος μετασκλήρυνσης
1	20	24 ώρες σε Σ. Π.
2	20	20 min πυριαντήριο + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος
3	20	40 min πυριαντήριο + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος
4	20	60 min πυριαντήριο + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος



Εικόνα 6.2.3.1-1. Δοκίμια καθαρού πολυεστέρα.

Πριν την προετοιμασία του μίγματος τα επιμέρους τμήματα του καλουπιού απολυμάνθηκαν με ακετόνη, συναρμολογήθηκαν και σταθεροποιήθηκαν κατάλληλα μεταξύ τους. Εν συνεχεία όλες οι επιφάνειες του καλουπιού επαλείφθηκαν με ειδική κηραλοιφή η χρήση της οποίας σκοπό έχει τη διευκόλυνση της αποκόλλησης των τελικών δοκιμίων από το καλούπι. Οι δυσκολίες που παρατηρήθηκαν κατά την απομάκρυνση των δοκιμίων από το καλούπι όταν ως αποκολλητικό μέσο χρησιμοποιήθηκε το spray Teflon, οδήγησαν στην αλλαγή του χρησιμοποιούμενου μέσου αποκόλλησης. Η εφαρμογή της κηραλοιφής πραγματοποιήθηκε στις εσωτερικές επιφάνειες, ήτοι στις θέσεις χύτευσης της ρητίνης, με ειδικό σφουγγάρι επάλειψης καλύπτοντας τα κενά μεταξύ των τμημάτων του καλουπιού ώστε αυτά να στεγανοποιηθούν πλήρως και να περιοριστεί κατά το δυνατόν η περίπτωση διαρροής υλικού.

Μετά το αρχικό «κέρωμα» το καλούπι αφέθηκε για χρονικό διάστημα 20-25 λεπτών με σκοπό την ξήρανση της κηραλοιφής. Με το πέρας του παραπάνω χρόνου το αποξηραμένο κερί απομακρύνθηκε με ειδικό πανί από το σύνολο των επιφανειών του καλουπιού. Η διαδικασία επάλειψης επαναλήφθηκε 4 φορές (οδηγίες από NEOTEX) πριν την αρχική χρήση του καλουπιού για κατασκευή πολυεστερικών δοκιμίων αποσκοπώντας στην πλήρη

στίλβωση των επιφανειών χύτευσης ώστε να διευκολυνθεί η ομαλή αποκόλληση των ανωτέρω. Μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας του εξοπλισμού μορφοποίησης, ξεκίνησε η διαδικασία παρασκευής του πολυμερούς μίγματος για την κατασκευή των δοκιμίων.

Πραγματοποιήθηκε ζύγιση των επιμέρους απαιτούμενων ποσοτήτων ρητίνης και σκληρυντή, για κάθε μία από τις κατασκευαζόμενες παρτίδες δοκιμίων. Τα επιμέρους συστατικά του πολυμερούς συστήματος αναμείχθηκαν για χρόνο 5-6 λεπτών (συνεχής ανάδευση). Εν το μεταξύ κατά την πραγματοποίηση των ανωτέρω ενεργειών ο φούρνος θερμοσκλήρυνσης τέθηκε σε λειτουργία με σκοπό την προθέρμανση του σε θερμοκρασία 60°C. Η ολοκλήρωση της προετοιμασίας του μίγματος συνέπεσε σχεδόν χρονικά με την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας εντός του θαλάμου έψησης όπως επιβεβαιώθηκε μέσω της ένδειξης του θερμοστάτη. Το προϊόν της ανάδευσης χυτεύτηκε στις δύο θέσεις εντός του καλουπιού και το καλούπι εν συνεχεία εισήχθη στον φούρνο προς θερμοσκλήρυνση για 20 λεπτά.

Η διαδικασία που αναλύθηκε προηγούμενα ακολουθήθηκε για την παραγωγή του συνόλου των δοκιμίων. Η μόνη αλλαγή που πραγματοποιήθηκε κατά την εκτέλεσή της αφορά στην διαφοροποίηση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας και πιο συγκεκριμένα του χρόνου μετασκλήρυνσης. Μετά την ολοκλήρωση του αρχικού σταδίου θερμικής επεξεργασίας, τα δοκίμια απομακρύνθηκαν από το καλούπι και τοποθετήθηκαν μεταξύ δυο γυάλινων πινάκων ώστε, α) να αποφευχθεί το ενδεχόμενο εμφάνισης κυρτώσεων στα δοκίμια και β) να επιτευχθεί ο βέλτιστος βαθμός σκλήρυνσης. Στη συνέχεια η εν λόγω διάταξη με τα περιεχόμενα σε αυτήν δοκίμια εισήχθη εκ νέου στο φούρνο με σκοπό την μετασκλήρυνση τους. Παρασκευάστηκαν διαφορετικές παρτίδες δοκιμίων για χρόνους μετασκλήρυνσης 20, 40 και 60 λεπτά αντίστοιχα. Με το πέρας της θερμικής μετασκλήρυνσης και την απομάκρυνσή τους από τον φούρνο, τα δοκίμια παρέμειναν εντός των γυάλινων πλακών σε συνθήκες περιβάλλοντος για 24 ώρες.

6.2.3.3. Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων υλικών καθαρού πολυεστέρα-Εργαστηριακή διάταξη μέτρησης

Η μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς των πολυεστερικών υλικών πραγματοποιήθηκε με την μεθοδολογία και τον εξοπλισμό που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 1.4.3 η οποία

και εφαρμόστηκε για τις αντίστοιχες μελέτες μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών σκέτης εποξειδικής ρητίνης και των συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ.

6.2.4. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων καθαρού πολυεστέρα-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός

6.2.4.1. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε κάμψη υλικών καθαρού πολυεστέρα

Στον Πίνακα 6.2.4.1-1 και στο Γράφημα 6.2.4.1-1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη των υλικών που κατασκευάστηκαν από σκέτο πολυεστέρα. Σύμφωνα με τα ανωτέρω παρατηρείται ότι η μεταβολή του συνολικού χρόνου θερμοσκλήρυνσης δεν οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές όσον αφορά στη μηχανική συμπεριφορά των υπό εξέταση υλικών.

Αναλυτικότερα με βάση τα αποτελέσματα διαφαίνεται πως η επιπλέον θερμική επεξεργασία (μετασκλήρυνση) για χρόνο 20 λεπτά σε συνέχεια της αρχικής σκλήρυνσης των πολυεστερικών δοκιμίων δεν επιφέρει μεταβολές στην αντοχή σε κάμψη των υλικών αυτών.

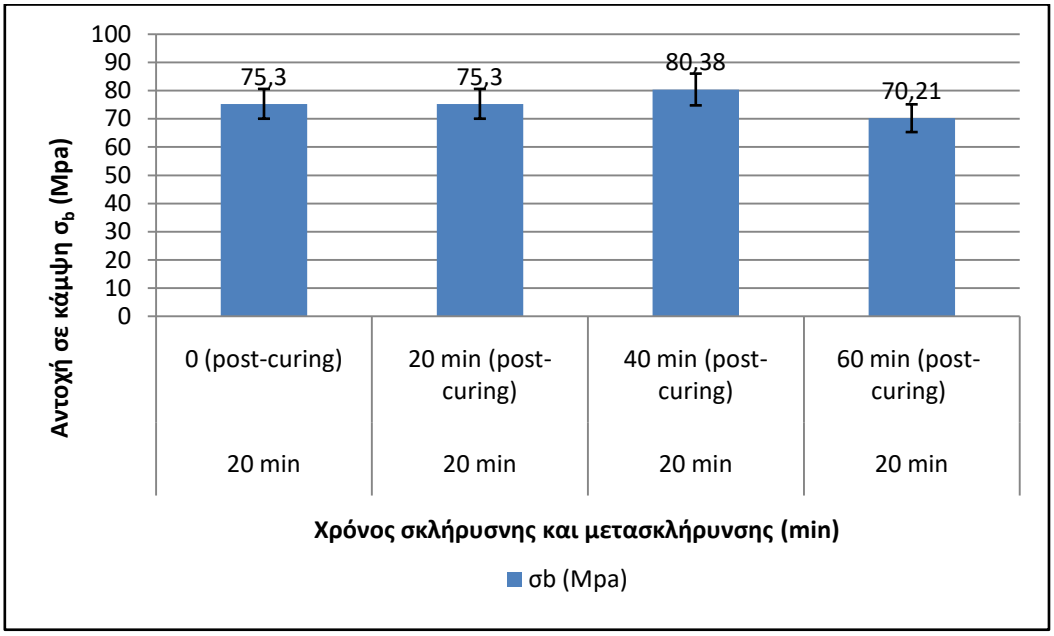
Η περαιτέρω αύξηση του χρόνου μετασκλήρυνσης από τα 20 στα 40 λεπτά έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της καμπτικής αντοχής των δοκιμίων συγκριτικά με αυτά που υπεβλήθησαν σε μετασκλήρυνση για χρόνο 20 λεπτά αλλά και τα υλικά που κατασκευάστηκαν χωρίς καθόλου μετασκλήρυνση, σε ποσοστό 6.32%. Τέλος η επιπλέον επέκταση του χρόνου μετασκλήρυνσης στα 60 λεπτά έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της αντοχής των ανωτέρω συνθέτων σε κάμψη, η οποία ανέρχεται σε ποσοστό 7.25% σε σχέση με τα για 40 λεπτά μετασκληρημένα υλικά και 6.76% σε σχέση με αυτά που υπεβλήθησαν σε μετασκλήρυνση χρονικής διάρκειας 20 λεπτών αντίστοιχα.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα διαφαίνεται ότι η αύξηση του χρόνου θερμικής επεξεργασίας πέραν των 40 λεπτών, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή υλικών με χαμηλές αντοχές σε καμπτικές καταπονήσεις.

Το σφάλμα που εμπεριέχεται στις μετρήσεις ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως -/+ 7%.

Πίνακας 6.2.4.1-1. Αντοχή σε κάμψη υλικών καθαρού πολυεστέρα.

Περιπτώσεις συνθέτων	Χρόνος θερμοσκλήρυνσης (min)	Χρόνος μετασκλήρυνσης	σ_b (MPa)
1	20	24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	75.30
2	20	20 λεπτά (πυριαντήριο) + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	75.30
3	20	40 λεπτά (πυριαντήριο) + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	80.38
4	20	60 λεπτά (πυριαντήριο) + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	70.21



Γράφημα 6.2.4.1-1 Αντοχή σε κάμψη υλικών καθαρού πολυεστέρα.

6.2.4.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε διάτμηση υλικών καθαρού πολυεστέρα

Στον Πίνακα 6.4.2.2-1 και στο Γράφημα 6.4.2.2-1 παρατίθενται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μετρήσεων της αντοχής σε διάτμηση των υλικών που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά χρησιμοποιώντας πολυεστερική ρητίνη.

Βάσει αυτών διαπιστώνεται ότι η αύξηση του συνολικού χρόνου θερμοσκλήρυνσης, και πιο συγκεκριμένα του χρόνου μετασκλήρυνσης, δεν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στη μηχανική συμπεριφορά των υπό εξέταση υλικών σε ότι αφορά στη διατμητική τους αντοχή.

Αναλυτικότερα η μετασκλήρυνση των παραγόμενων δοκιμίων για χρόνο 20 λεπτά μετά το αρχικό στάδιο σκλήρυνσης, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διατμητικής τους αντοχής σε ποσοστό 27.38% σε σχέση με την αντοχή των υλικών τα οποία δεν έχουν υποστεί κατά την κατασκευή τους καθόλου μετασκλήρυνση.

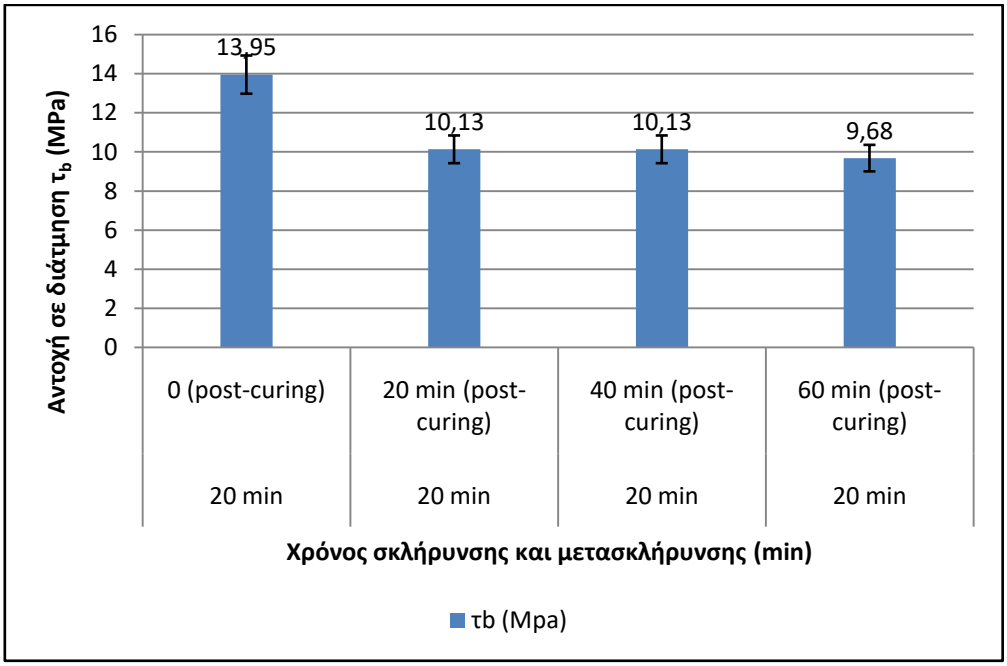
Η αύξηση του παραπάνω χρόνου από τα 20 στα 40 λεπτά δεν επιφέρει επιπλέον μείωση της διατμητικής αντοχής. Περαιτέρω αύξηση αυτού του χρόνου από τα 40 στα 60 λεπτά έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της αντοχής των τελικών υλικών σε διάτμηση η οποία ανέρχεται σε ποσοστό 4.44% συγκριτικά με τα υλικά το στάδιο μετασκλήρυνσης των οποίων διήρκεσε 40 λεπτά και 30.6% σε σχέση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν άνευ θερμικής μετασκλήρυνσεως.

Το σφάλμα που εμπεριέχεται στις μετρήσεις ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως - /+ 7%.

Ως αποτέλεσμα των όσων αναλύθηκαν παραπάνω για την κατασκευή της μήτρας των συνθέτων πολυεστέρα- ΑΚΚ επιλέχθηκαν τα υλικά της περίπτωσης 1 λόγω το γεγονότος ότι επέδειξαν την βέλτιστη διατμητική αντοχή σε σύγκριση με όλες τις άλλες περιπτώσεις που εξετάστηκαν και παράλληλα απαίτησαν τον μικρότερο κατασκευαστικό χρόνο .

Πίνακας 6.4.2.2-1. Αντοχή σε διάτμηση υλικών καθαρού πολυεστέρα.

Περιπτώσεις συνθέτων	Χρόνος θερμοσκλήρυνσης (min)	Χρόνος μετασκλήρυνσης	τ_b (MPa)
1	20	24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	13.95
2	20	20 min (πυριαντήριο) + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	10.13
3	20	40 min (πυριαντήριο) + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	10.13
4	20	60 min (πυριαντήριο) + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	9.68



Γράφημα 6.4.2.2-1. Αντοχή σε διάτμηση υλικών καθαρού πολυεστέρα.

6.2.5. Σύνθετα πολυεστέρα με προσθήκη ΑΚΚ

6.2.5.1. Μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς συνθέτων υλικών

Με την ολοκλήρωση της διερεύνησης της συμπεριφοράς του συστήματος πολυεστερικής ρητίνης που θα χρησιμοποιηθεί ως μήτρα στα σύνθετα υλικά ξεκίνησε το επόμενο στάδιο της έρευνας.

Σε αυτό πραγματοποιήθηκε μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών σε σχέση με:

1. Την κατά βάρος περιεκτικότητα σε αυτά υλικού πλήρωσης
2. Την κοκκομετρία του εμπεριεχόμενου σε αυτά υλικού πλήρωσης.

6.2.5.2. Κατασκευή συνθέτων υλικών πολυεστέρα με προσθήκη ΑΚΚ-Μεθοδολογία

Για την κατασκευή των συνθέτων παρασκευάζεται η απαιτούμενη ποσότητα μίγματος χρησιμοποιώντας σύμφωνα με την προτεινόμενη από την κατασκευάστρια εταιρία, αναλογία πολυεστέρα και σκληρυντικού μέσου. Κατόπιν εισάγεται η κατά βάρος επιλεχθείσα ποσότητα ΑΚΚ αφαιρώντας κάθε φορά την αντίστοιχη κατά περίπτωση ποσότητα μίγματος πολυεστέρα/σκληρυντή.

Κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά πολυεστερικής ρητίνης με ενσωμάτωση ΑΚΚ σε κατά βάρος αναλογίες 30%, 40% και 50% χρησιμοποιώντας σκόνη ΑΚΚ κοκκομετρίας 300 μm και 500 μm αντίστοιχα. Η μεθοδολογία παρασκευής των σκονών πλήρωσης έχει περιγραφεί αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5).

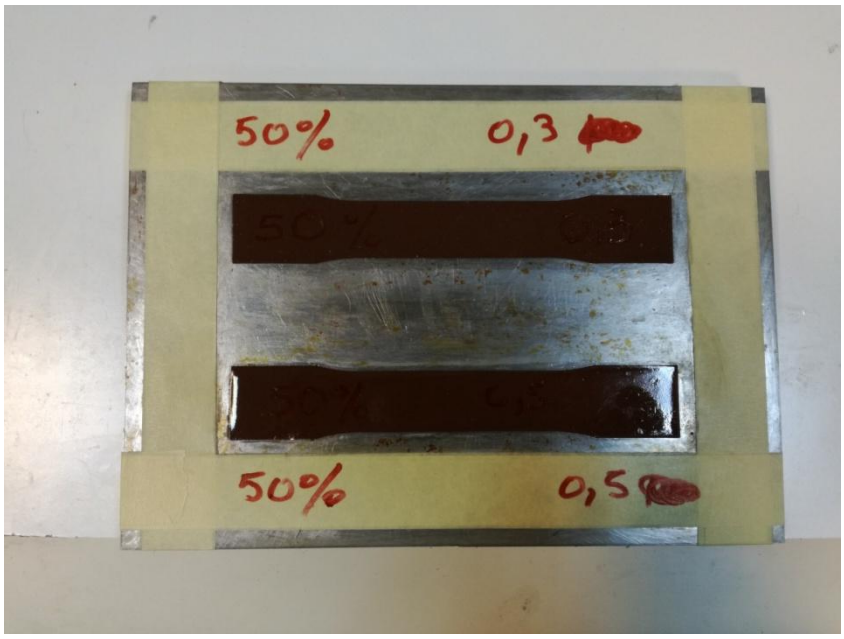
Η κατασκευή των ανωτέρω υλικών έγινε ακολουθώντας τα όσα έχουν περιγραφεί στις παραγράφους 6.1.4 και 6.1.6., χρησιμοποιώντας το ίδιο καλούπι (με το οποίο κατασκευάστηκαν και τα σύνθετα υλικά από εποξειδική ρητίνη).

Οι περιπτώσεις των υλικών που κατασκευάστηκαν (Εικόνες 6.2.5.2-1, 6.2.5.2-2 και 6.2.5.2-3) που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε υλικό παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

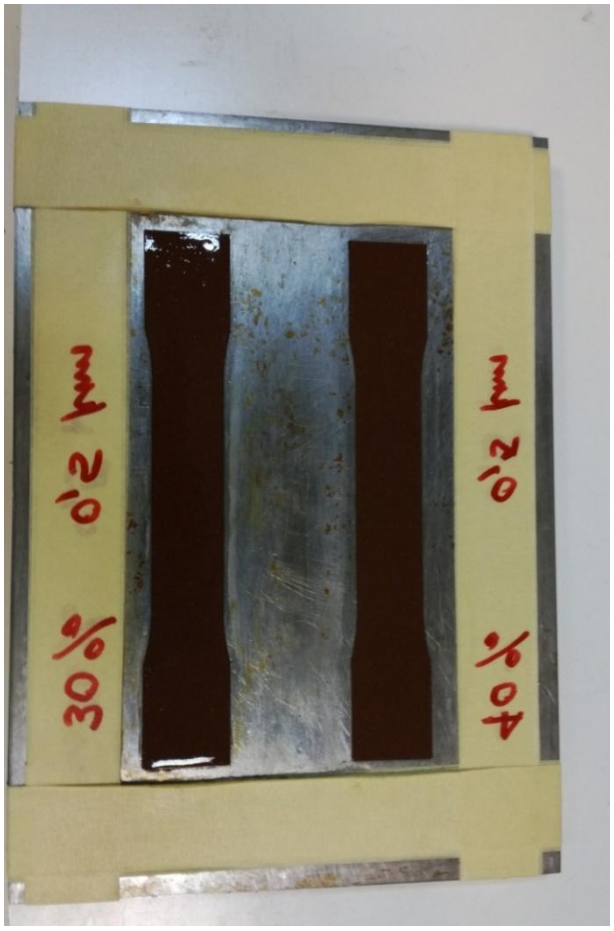
Πίνακας 6.2.5.2-1. Περιπτώσεις κατασκευασθέντων συνθέτων πολυεστέρα με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Χρόνος Θερμοσκλήρυνσης + χρόνος μετασκλήρυνσης	Κοκκομετρία πρόσθετου(μm)	(%) κ. β. (πολυεστέρας)	(%) κ. β. (υλικό πλήρωσης)
UP–CDW30-500μm	20 min + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	500	70	30
UP–CDW40-500μm	20 min + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	500	60	40
UP–CDW50-500μm	20 min + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	500	50	50
UP–CDW30-300μm	20 min + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	300	70	30
UP-CDW40-300μm	20 min + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	300	60	40
UP–CDW50-300μm	20 min + 24 ώρες σε συνθήκες περιβάλλοντος	300	50	50

Εικόνα 6.2.5.2-1. Σύνθετα πολυεστέρα με ΑΚΚ.



Εικόνα 6.2.5.2-2. Σύνθετα πολυεστέρα περιεκτικότητας 50% σε ΑΚΚ προς θερμοσκλήρυνση.



Εικόνα 6.2.5.2-3. Σύνθετα πολυεστέρα περιεκτικότητας 30% και 40% σε ΑΚΚ προς θερμοσκλήρυνση.

Πριν την κατασκευή των συνθέτων τα 2 τμήματα του καλουπιού καθαρίστηκαν εκ νέου επιμελώς και συναρμολογήθηκαν ενισχυόμενα και πάλι στα άκρα τους με χαρτοταινία (Εικόνα 6.2.5.2-3), με σκοπό την σταθεροποίηση του ενός κομματιού επί του άλλου και την αποφυγή διαρροών πολυεστερικής ρητίνης από τα κενά που πιθανώς να δημιουργούνται μεταξύ των δύο τμημάτων που αποτελούν το καλούπι μορφοποίησης. Εν συνεχεία όλες οι επιφάνειες των θέσεων χύτευσης του καλουπιού επαλείφθηκαν με κηραλοιφή αποκόλλησης όπως και στην κατασκευή των υλικών από καθαρό πολυεστέρα. Ο καθαρισμός και το κέρωμα επαναλαμβάνονταν πριν από κάθε νέα χύτευση και κατεπέκταση την παραγωγή κάθε νέας παρτίδας συνθέτων. Η αλοιφή εφαρμόστηκε στις επιφάνειες με το ίδιο ειδικό σφουγγάρι επάλειψης.

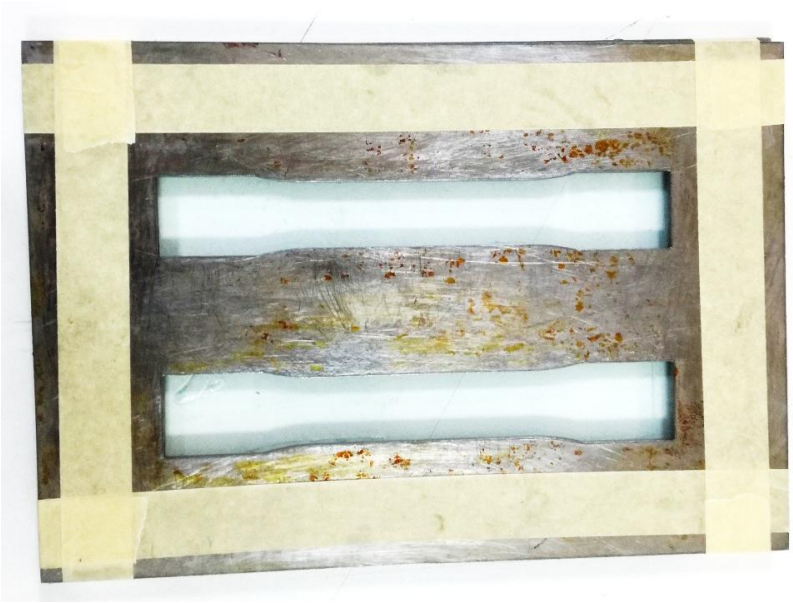
Μετά την συναρμολόγηση και προετοιμασία της διάταξης μορφοποίησης των συνθέτων, ξεκίνησε η προετοιμασία του μίγματος ρητίνης, σκληρυντή και πρόσθετου υλικού το οποίο αποτελεί το υλικό παραγωγής των συνθέτων.

Αρχικά ζυγίστηκαν οι απαιτούμενες ποσότητες των συστατικών (ρητίνης, σκληρυντή και πληρωτικού μέσου). Στη συνέχεια τα επιμέρους συστατικά του συστήματος πολυεστέρα που αποτέλεσε τη μήτρα, αναμείχθηκαν σε κοινό δοχείο για χρόνο περίπου 5-6 λεπτά (συνεχής ανάδευση).

Κατόπιν προστέθηκε η κατά περίπτωση απαιτούμενη ποσότητα υλικού πλήρωσης. Ακολούθησε δεύτερη ανάδευση για 4-5 λεπτά (Εικόνα 6.2.5.2-4). Στόχος του δεύτερου σταδίου ανάδευσης στην περίπτωση των συνθέτων υλικών πολυεστέρα με ΑΚΚ, ήταν να εξασφαλιστεί υψηλότερος βαθμός διασποράς του πληρωτικού υλικού στο μίγμα.

Εικόνα 6.2.5.2-4 Μίγμα πολυεστέρα με ΑΚΚ.

Για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο εμφάνισης πρόωρης σκλήρυνσης κατά το στάδιο της ανάδευσης, λόγω της εισαγωγής της σκόνης ΑΚΚ, η αναμονή των 15-20 λεπτών για να επέλθει το αρχικό ζελάρισμα στο μίγμα, δεν τηρήθηκε, σε αντίθεση με την περίπτωση των δοκιμίων από καθαρή εποξειδική ρητίνη. Έτσι το τελικό προϊόν της ανωτέρω ανάμειξης αποχύθηκε αμέσως εντός των θέσεων χύτευσης του καλουπιού και εισήχθη στο πυριαντήριο με σκοπό την θερμική επεξεργασία και τελική κατασκευή των συνθέτων. Στο μεσοδιάστημα το πυριαντήριο είχε ήδη τεθεί σε λειτουργία με σκοπό την προθέρμανση του σε θερμοκρασία 60ºC. Αμέσως μετά την τοποθέτηση των προς κατασκευή συνθέτων στο θάλαμο έψησης, ο χρονοδιακόπτης ρυθμίστηκε στα 20 λεπτά και η διαδικασία θερμοσκλήρυνσης αφέθηκε να εξελιχθεί αυτόνομα για τον επιλεγμένο χρόνο.



Εικόνα 6.2.5.2-3. Καλούπι μορφοποίησης συνθέτων.

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε για το σύνολο των συνθέτων που κατασκευάστηκαν όσο αφορά τα επιμέρους στάδια της. Οι μοναδικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκτέλεσή της συνίστανται στην κατά περίπτωση διαφοροποίηση της κ. β. αναλογίας πολυεστέρα και υλικού πλήρωσης.

Για την επίτευξη της βέλτιστης δυνατής σκλήρυνσης των παραπάνω υλικών, μετά την απομάκρυνσή τους από το πυριαντήριο και την αποκόλληση τους από το καλούπι αφέθηκαν (τοποθετημένες μεταξύ δυο γυάλινων πλακών για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω) σε συνθήκες περιβάλλοντος για 24 ώρες.

6.2.5.3 Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων συνθέτων πολυεστέρα με ΑΚΚ-Εργαστηριακή διάταξη μέτρησης

Για τη διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς των συνθέτων υλικών πραγματοποιήθηκαν εκ νέου εργαστηριακές δοκιμές ελέγχου της αντοχής αυτών σε κάμψη και διάτμηση χρησιμοποιώντας των εξοπλισμό και ακολουθώντας τη μεθοδολογία που αναλύθηκε στην παράγραφο 1.4.3.

6.2.5.3.1 Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών αντοχής σε κάμψη

Αναλυτικότερα η μελέτη της αντοχής σε κάμψη των συνθέτων υλικών πολυεστέρα με ΑΚΚ, έγινε σύμφωνα με το πρότυπο ASTM-D 790 ή ISO 178 ή DIN 53452. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κάμψης «3 σημείων». Η απόσταση των σημείων στήριξης των υπό εξέταση υλικών επί της διάταξης καθορίστηκε στα 10 cm. Η προκύπτουσα δύναμη μετρήθηκε μέσω

δυναμόμετρου ακριβείας 9.81 N (παράγραφος 6.1.4.3) και η αντίστοιχη τιμή του βέλους κάμψης με βελόμετρο ακριβείας εκατοστού του χιλιοστού.

Η αντοχή σε κάμψη $\boldsymbol{\sigma_b}$ υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$\boldsymbol{\sigma_b = 1{,}5\,\frac{P_{max} L_s}{b \times d^2}}$$

Όπου:

σ_b = Αντοχή σε κάμψη (MPa)

P_{max} = Μέγιστη δύναμη φόρτισης (N)

L_s= Απόσταση σημείων στήριξης (mm)

b = Πλάτος δοκιμίου (mm)

d = Πάχος δοκιμίου (mm)

6.2.5.3.2. Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών αντοχής σε διάτμηση

Ο προσδιορισμός της αντοχής των συνθέτων πολυεστέρα/ΑΚΚ σε διάτμηση, έγινε με βάση το πρότυπο ASTM-NORM.D 2344-65 T. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κάμψης «3 σημείων» επί δοκιμίων με τις ίδιες διαστάσεις με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και στα πειράματα της αντοχής σε κάμψη με ελαττωμένη την απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης επί της διάταξης η οποία για τη μέτρηση της διατμητικής αντοχής ορίστηκε στο 1 cm. Η προκύπτουσα δύναμη μετρήθηκε πάλι μέσω του ανωτέρω δυναμόμετρου ακριβείας.

Η αντοχή σε διάτμηση $\boldsymbol{\tau_b}$, υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$\boldsymbol{\tau_b = 0{,}75\,\frac{P_{max}}{b \times d}}$$

Όπου:

τ_b= Αντοχή σε κάμψη (MPa)

P_{max}= Μέγιστη δύναμη φόρτισης (N)

b = Πλάτος δοκιμίου (mm)

d = Πάχος δοκιμίου (mm)

6.2.6. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων ακόρεστου πολυεστέρα με προσθήκη σκόνης ΑΚΚ-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός

6.2.6.1. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε κάμψη συνθέτων ακόρεστου πολυεστέρα με σκόνη ΑΚΚ

Στον Πίνακα 6.2.6.1-1 και στο Γράφημα 6.2.6.1-1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη των συνθέτων υλικών πολυεστέρα/ΑΚΚ. Όπως διαπιστώνεται από την επεξεργασία των ανωτέρω αποτελεσμάτων, η ενσωμάτωση σκόνης ΑΚΚ έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή υλικών με μειωμένη αντοχή σε κάμψη.

Αναλυτικότερα η μείωση της αντοχής σε κάμψη που παρουσιάζουν τα σύνθετα πολυεστέρα/ΑΚΚ κατόπιν της αρχικής εισαγωγής (προσθήκη 30% κ. β. ΑΚΚ), αγγίζει το 54.1% στην περίπτωση που ως πληρωτικό μέσο χρησιμοποιείται σκόνη ΑΚΚ 300 μm και το 55.4% όταν χρησιμοποιείται σκόνη ΑΚΚ 500 μm αντίστοιχα σε σύγκριση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν από καθαρή πολυεστερική ρητίνη.

Αύξηση του ποσοστού της κατά βάρος περιεχόμενης ποσότητας ΑΚΚ στα σύνθετα σε ποσοστό 40%, έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση της καμπτικής τους αντοχής σε σύγκριση με τα σύνθετα υλικά που κατασκευάστηκαν με ποσοστό ΑΚΚ 30% κατά βάρος. Συγκεκριμένα η αντοχή σε κάμψη αυξάνεται κατά 2.95% στην περίπτωση που ως πρόσθετο υλικό εισάγεται σκόνη ΑΚΚ 500 μm και κατά 2.86% όταν ως πρόσθετο χρησιμοποιείται η σκόνη 300 μm αντίστοιχα. Η αντοχή των υλικών αυτών σε κάμψη, σε σύγκριση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν από καθαρή πολυεστερική ρητίνη, παρουσιάζεται μειωμένη κατά 52.7% για τα υλικά στα οποία χρησιμοποιήθηκε πληρωτικό υλικό 300 μm ΑΚΚ και κατά 54% για τα υλικά των 500 μm αντίστοιχα.

Περαιτέρω αύξηση της σκόνης ΑΚΚ στα σύνθετα από το 40% στο 50% έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής σε κάμψη (συγκριτικά με τα σύνθετα υλικά πολυεστέρα περιεκτικότητας 40% κ. β. σε ΑΚΚ), η οποία για τα σύνθετα υλικά με σκόνη ΑΚΚ 300 μm ανέρχεται σε ποσοστό 15.1% και για τα υλικά των 500 μm σε 20.6% αντίστοιχα.

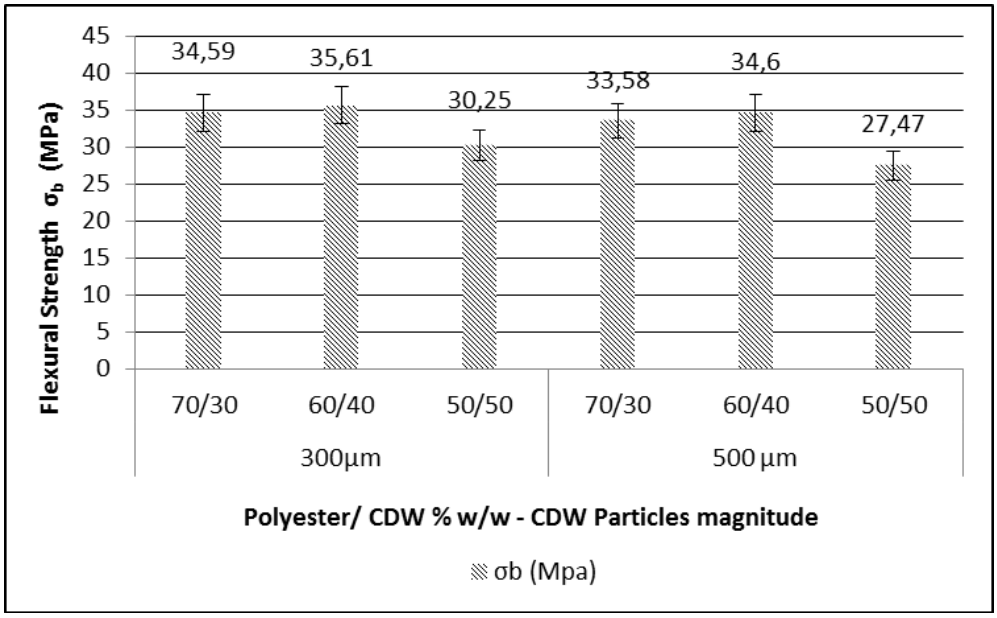
Η προσθήκη σκόνης μεγαλύτερης κοκκομετρίας οδηγεί σε μεταβολές της μηχανικής απόκρισης των συνθέτων και σε ότι αφορά τα σύνθετα υλικά ακόρεστου πολυεστέρα/ΑΚΚ.

Πιο συγκεκριμένα, η αντοχή σε κάμψη για τα σύνθετα περιεκτικότητας σε υλικό πλήρωσης 30% κατά βάρος, παρουσιάζει μείωση της τάξεως του 2.92%, όταν η σκόνη ΑΚΚ 500 μm χρησιμοποιηθεί σε αντικατάσταση αυτής των 300 μm.

Η αντοχή των συνθέτων υλικών με κατά βάρος περιεκτικότητα σκόνης ΑΚΚ 40% και 50%, παρουσιάζει μείωση που ανέρχεται σε ποσοστά 2.84% και 9.19% αντίστοιχα, ως αποτέλεσμα της χρήσης πληρωτικού υλικού μεγαλύτερης κοκκομετρίας. Το σφάλμα που εμπεριέχεται στις μετρήσεις ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως -/+7%

Πίνακας 6.2.6.1-1. Αντοχή σε κάμψη συνθέτων ακόρεστου πολυεστέρα με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Αναλογία κ. β. (%) ρητίνης/ΑΚΚ	σ_b (MPa)
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 300 μm	
UP–CDW30-300μm	70-30	34.59
UP–CDW40-300μm	60-40	35.61
UP–CDW50-300μm	50-50	30.25
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 500 μm	
UP–CDW30-500μm	70-30	33.58
UP–CDW40-500μm	60-40	34.60
UP–CDW50-500μm	50-50	27.47



Γράφημα 6.2.6.1-1. Αντοχή σε κάμψη συνθέτων υλικών ακόρεστου πολυεστέρα με ΑΚΚ.

6.2.6.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε διάτμηση συνθέτων ακόρεστου πολυεστέρα με σκόνη ΑΚΚ

Στον Πίνακα 6.2.6.2-1 και στο Γράφημα 6.2.6.2-1 παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων της αντοχής των συνθέτων υλικών ακόρεστου πολυεστέρα/ΑΚΚ σε διάτμηση.

Η μηχανική συμπεριφορά τους σε ότι αφορά την αντοχή των ανωτέρω υλικών σε διάτμηση είναι πανομοιότυπη αυτής που επέδειξαν τα υλικά αυτά στο πλαίσιο της μελέτης της καμπτικής τους αντοχής.

Πιο συγκεκριμένα η προσθήκη ΑΚΚ έχει ως αποτέλεσμα σε γενικές γραμμές την υποβάθμιση της διατμητικής αντοχής των συνθέτων υλικών πολυεστερικής μήτρας.

Η αρχική ενσωμάτωση σκόνης ΑΚΚ σε ποσοστό 30% έχει ως συνέπεια τη μείωση της διατμητικής αντοχής των συνθέτων κατά 73.3% στην περίπτωση που ως πρόσθετο υλικό χρησιμοποιείται σκόνη 300 μm και κατά 79.9% για τα υλικά με σκόνη 500 μm σε σύγκριση με τα υλικά από σκέτο πολυεστέρα.

Αύξηση της κ. β. περιεκτικότητας του πρόσθετου υλικού στα σύνθετα στο 40%, έχει όπως παρατηρήθηκε και κατά τη μελέτη της αντοχής σε κάμψη ως αποτέλεσμα, την αύξηση της διατμητικής τους αντοχής κατά 27.4% για τα σύνθετα με υλικό πλήρωσης 500 μm και κατά 11% για τα σύνθετα με υλικό 300 μm αντίστοιχα, συγκριτικά με τα σύνθετα που κατασκευάστηκαν με προσθήκη 30% κ. β. σκόνης ΑΚΚ.

Περαιτέρω αύξηση της κ. β. ποσότητας του υλικού πλήρωσης στο 50%, οδηγεί και πάλι σε μείωση της διατμητικής αντοχής (σε σχέση με τα σύνθετα πολυεστέρα/ΑΚΚ αναλογίας 30%, 40% κ. β.) σε ποσοστό που φτάνει το 35.4% στην περίπτωση των σωματιδίων 500 μm και το 36.4% στην περίπτωση των 300 μm αντίστοιχα.

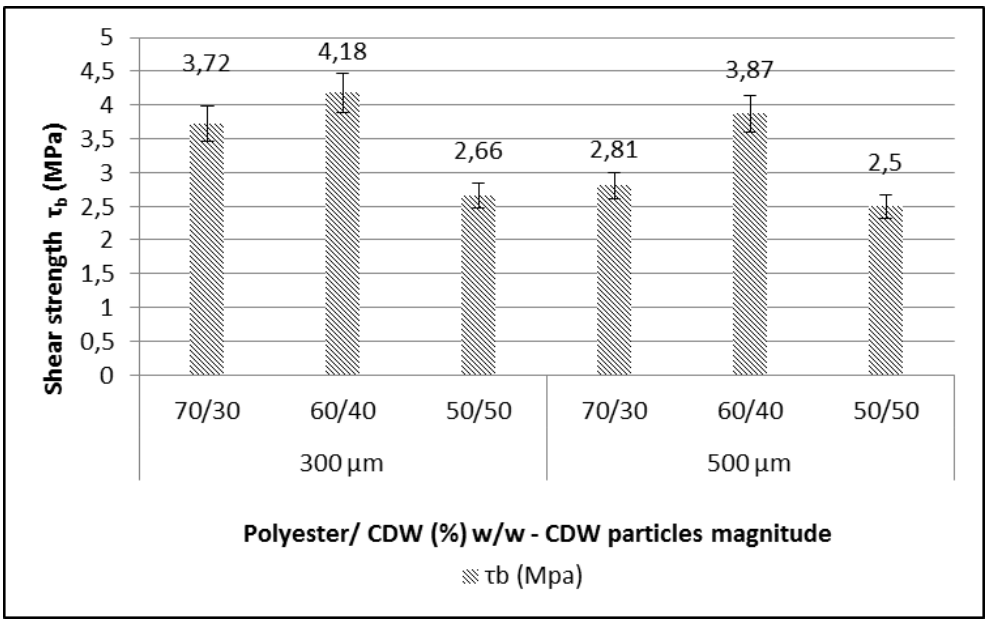
Το μέγεθος της σκόνης ΑΚΚ αποτελεί σημαντικό παράγοντα και στην περίπτωση της μελέτης της αντοχής σε διάτμηση όπως διαπιστώθηκε και μέσω της μελέτης των μηχανικών χαρακτηριστικών των συνθέτων εποξειδικής ρητίνης/ΑΚΚ.

Η χρήση πληρωτικού υλικού μεγαλύτερου κοκκομετρικού μεγέθους στα σύνθετα έχει ως συνέπεια την μείωση – όπως διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα – της διατμητικής τους αντοχής.

Όπως παρατηρείται η εισαγωγή στο σύνθετο σκόνης ΑΚΚ 500 μm σε αντικατάσταση της αντίστοιχης των 300 μm, συντελεί στην ελάττωση της διατμητικής αντοχής αυτών κατά 50.6%, 4.2% και 22.9% κατά αντιστοιχία για τα σύνθετα με κ. β. περιεκτικότητα σκόνης σε ποσοστό 30%, 40% και 50% [5].

Πίνακας 6.2.6.2-1. Αντοχή σε διάτμηση συνθέτων ακόρεστου πολυεστέρα με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Αναλογία κ. β. (%) ρητίνης/ΑΚΚ	τ_b (MPa)
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 300 μm	
UP–CDW30-300μm	70-30	3.72
UP–CDW40-300μm	60-40	4.18
UP–CDW50-300μm	50-50	2.66
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 500 μm	
UP–CDW30-500μm	70-30	2.81
UP–CDW40-500μm	60-40	3.87
UP–CDW50-500μm	50-50	2.50



Γράφημα 6.2.6.2-1. Αντοχή σε διάτμηση συνθέτων υλικών ακόρεστου πολυεστέρα με ΑΚΚ.

6.3. Σύνθετα Υλικά με βάση την ρητίνη Νεολάκη

6.3.1. Πρώτες ύλες

Ως βάση για την κατασκευή της μήτρας στην περίπτωση των συνθέτων με ρητίνη νεολάκη, χρησιμοποιήθηκε νεολάκη που παρασκευάστηκε στο εργαστήριο της σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ [6]. Η σύνθεση της νεολάκης που ως πολυμερές κατατάσσεται στην κατηγορία των ρητινών φαινόλης-φορμαλδεΰδης, πραγματοποιείται μέσω της χημικής αντίδρασης πολυσυμπυκνώσεως φαινόλης (Merck) υπό την παρουσία φορμαλδεΰδης (Fluka) και την προσθήκη οξαλικού οξέος (Fluka) ως χημικού καταλύτη. Το παράγωγο πολυμερές αποχύνεται σε φόρμες αλουμινίου και τοποθετείται σε πυριαντήριο στους 110°C με σκοπό την ξήρανση του. Μετά την ολοκλήρωση του σταδίου της ξήρανσης, το τελικό προϊόν προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή συνθέτων υλικών υπόκειται σε λειοτρίβηση και στη συνέχεια μέσω κοσκίνισης αποκτά την απαιτούμενη κοκκομετρία (≈ 300

μm). Για να καταστεί δυνατή η τελική σκλήρυνση της νεολάκης, αυτή αναμιγνύεται με εξαμεθυλενοτετραμίνη (HEXA, Merck) σε αναλογία 7:2 πριν το στάδιο της κοσκίνισης [6,13].

Εικόνα 6.3.1. Ρητίνη νεολάκη α.) προϊόν μετά από ξήρανση. β) επεξεργασμένη νεολάκη.

6.3.2. Ιδιότητες ρητίνης νεολάκης

Οι ιδιότητες των ρητινών φαινόλης-φορμαλδεΰδης (κατηγορία νεολάκης) παρουσιάζονται ακολούθως:

- Παρουσιάζουν πάρα πολύ καλή πρόσφυση,
- Χαρακτηρίζονται από αρκετά καλές αντοχές στη διάβρωση,
- Είναι ανθεκτικές σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών
- Χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες μηχανικές αντοχές (εφελκυσμός, κάμψη και θλίψη κλπ)
- Είναι κατάλληλες για εφαρμογές στις οποίες απαιτείται ανθεκτικότητα στη φωτιά (υψηλή πυραντοχή)
- Διαθέτουν καλές ηλεκτρικές ιδιότητες.
- Χαρακτηρίζονται από καλές θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες

6.3.3. Σύνθετα υλικά από νεολάκη

6.3.3.1. Κατασκευή υλικών από νεολάκη-Μεθοδολογία

Κατόπιν της ολοκλήρωσης της διαδικασίας παρασκευής της ρητίνης, η απαιτούμενη ποσότητα μίγματος με βάση την αναλογία των δύο επιμέρους συστατικών του συστήματος νεολάκης/καταλύτη (HEXA) και η επιθυμητή ποσότητα ΑΚΚ ζυγίζονται και τοποθετούνται σε ειδικό καλούπι (Εικόνα 6.3.3.1-2).

Εικόνα 6.3.3.1-1. Εργαστηριακή Θερμοπρέσσα Carver με καλούπι ανοιχτού τύπου για την κατασκευή συνθέτων υλικών νεολάκης.

Εικόνα 6.3.3.1-2. Καλούπι κατασκευής συνθέτων νεολάκης.

Το εν λόγω καλούπι παραγωγής των δοκιμίων είναι διαιρούμενο και κατάλληλο για κατασκευή υλικών μέσω της μόρφωσης με τη μέθοδο της θερμό-συμπίεσης (Εικόνα 6.3.3.1-1). Από κάθε παρτίδα προκύπτουν δύο δοκίμια διαστάσεων 21 cm μήκος, 1.7 cm πλάτος και 0.3 cm πάχος και δυο δοκίμια διαστάσεων 21 cm μήκος, 1.0 cm πλάτος και 0.3 cm πάχος αντίστοιχα, εκ των οποίων τα πρώτα χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των δοκιμών της διάτμησης, ενώ τα δεύτερα είναι κατάλληλα για τις πειραματικές δοκιμές της κάμψης αντίστοιχα.

Πριν την κατασκευή των δοκιμίων καθαρής νεολάκης και των συνθέτων νεολάκης με ΑΚΚ, τα τμήματα του καλουπιού απολυμάνθηκαν με ακετόνη, συναρμολογήθηκαν και σταθεροποιήθηκαν μέσω των κοχλιών σταθεροποίησης. Εν συνεχεία όλες οι επιφάνειες του καλουπιού επαλείφθηκαν εσωτερικά και εξωτερικά με κηραλοιφή για τους λόγους που αναλύθηκαν και προηγούμενα στη μεθοδολογία κατασκευής των συνθέτων εποξειδικής ρητίνης και ακόρεστου πολυεστέρα.

Η εφαρμογή της αλοιφής έγινε χρησιμοποιώντας ειδικό σφουγγάρι επάλειψης. Η χρήση της κηραλοιφής έγινε με σκοπό την κάλυψη των κενών (χαραμάδες) μεταξύ των εσωτερικών επιφανειών, των μερών του καλουπιού και την πλήρη στεγανοποίηση αυτών ούτως ώστε να αποκλειστεί το ενδεχόμενο διαρροής υλικού. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην ποσότητα της κηραλοιφής. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η ελάχιστη δυνατή ποσότητα που διασφαλίζει ταυτόχρονα την αποφυγή ενδεχόμενης ανάμειξης του αποκολλητικού μέσου με την ρητίνη

και την ομαλή αποκόλληση των τελικών δοκιμίων, η παρουσία των οποίων σε συνδυασμό ή και μεμονωμένα θα είχε ως συνέπεια την παραγωγή υλικών χαμηλής ποιότητας και άρα περιορισμένων μηχανικών αντοχών.

Το καλούπι με το εμπεριεχόμενο προς θερμική επεξεργασία υλικό τοποθετήθηκε εντός του εργαστηριακού εξοπλισμού θερμομόρφωσης (Εικόνα 6.3.3.1-1) σε θερμοκρασία 160°C αρχικά για χρονικό διάστημα 15 λεπτών χωρίς την εφαρμογή εξωτερικής πίεσης (για το διάστημα αυτό) και εν συνεχεία με την εφαρμογή σταθερής πίεσης 9 MPa για 30 λεπτά μέσω των θερμαινόμενων πλακών της πρέσας. Με το πέρας του συνολικού προαναφερθέντος χρόνου (15+30=45 λεπτά), η παροχή θέρμανσης διακόπηκε και το καλούπι με τα υπό κατασκευή σύνθετα υλικά, αφέθηκε να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, παραμένοντας ωστόσο υπό την εφαρμοζόμενη πίεση των 9 MPa. Εν συνεχεία απομακρύνθηκε από την θερμοπρέσσα, οι συνδετικοί κοχλίες αφαιρέθηκαν και πραγματοποιήθηκε σταδιακά και με προσοχή η αφαίρεση των επιμέρους τμημάτων και των εμπεριεχόμενων στο καλούπι συνθέτων υλικών [7].

Μέσω της παραπάνω αναλυθείσας διαδικασίας κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν δοκίμια νεολάκης με τα χαρακτηριστικά που παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα (Εικόνα 6.3.3.1-1).

Πίνακας 6.3.3.1-1. Περιπτώσεις κατασκευασθέντων συνθέτων ρητίνης νεολάκης με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Κοκκομετρία πρόσθετου (μm)	(%) κ. β. ρητίνη	(%) κ. β. ΑΚΚ	Παρατηρήσεις
N-100	-	100	0	-
N-CDW30-500μm	500	70	30	-
N-CDW40-500μm	500	60	40	Δεν κατέστη δυνατή η κατασκευή
N-CDW50-500μm	500	50	50	Δεν κατέστη δυνατή η κατασκευή
N-CDW30-300μm	300	70	30	-
N-CDW40-300μm	300	60	40	Δεν κατέστη δυνατή η κατασκευή
N-CDW50-300μm	300	50	50	Δεν κατέστη δυνατή η κατασκευή

6.3.3.2. Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων συνθέτων νεολάκης

Για τη διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς των συνθέτων υλικών νεολάκης με ΑΚΚ, πραγματοποιήθηκαν όπως και για τα σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης και ακόρεστου πολυεστέρα, εργαστηριακές δοκιμές ελέγχου της αντοχής αυτών σε κάμψη και διάτμηση αντίστοιχα.

Εικόνα 6.3.3.2-1. Δοκίμιο συνθέτου ρητίνης νεολάκης με ΑΚΚ μετά την θραύση.

6.3.3.3. Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών αντοχής σε κάμψη

Η εκτέλεση των πειραμάτων για τη μελέτη της αντοχής σε κάμψη των συνθέτων νεολάκης με ΑΚΚ, έγινε με βάση το πρότυπο ASTM-D 790 ή ISO 178 ή DIN 53452.

Πραγματοποιήθηκαν και πάλι δοκιμές κάμψης «3 σημείων» επί των συνθέτων. Η απόσταση των σημείων στήριξης επί της διάταξης ήταν 10 cm.

Η προκύπτουσα δύναμη μετρήθηκε μέσω δυναμόμετρου ακριβείας 9.81 N, όπως περιγράφεται στις παραγράφους 5.1.4.3.1 και 5.1.4.3.2 και η αντίστοιχη τιμή του βέλους κάμψης με βελόμετρο ακριβείας εκατοστού του χιλιοστού.

Η αντοχή σε κάμψη σ_b υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$\sigma_b = 1{,}5\frac{P_{max}L_s}{b \times d^2}$$

Όπου:

σ_b = Αντοχή σε κάμψη (MPa)

P_{max}= Μέγιστη δύναμη φόρτισης (N)

L_s= Απόσταση σημείων στήριξης (mm)

b = Πλάτος δοκιμίου (mm)

d = Πάχος δοκιμίου (mm)

6.3.3.4. Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών αντοχής σε διάτμηση

Αντιστοίχως, τα πειράματα για τον προσδιορισμό της αντοχής σε διάτμηση για τα υπό μελέτη σύνθετα υλικά, έγιναν με βάση το πρότυπο ASTM-NORM.D 2344-65 T. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κάμψης «3 σημείων» χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα δοκίμια (παράγραφος 6.3.3.1.) και με ελαττωμένη την απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης. Πιο συγκεκριμένα η απόσταση των σημείων στήριξης επί της διάταξης ήταν για τις δοκιμές μέτρησης της διατμητικής αντοχής 1 cm βάσει του σχετικού προτύπου.

Η προκύπτουσα δύναμη μετρήθηκε μέσω δυναμόμετρου ακριβείας 9.81 N και η αντίστοιχη τιμή του βέλους κάμψης με βελόμετρο ακριβείας εκατοστού του χιλιοστού.

Η αντοχή σε διάτμηση τ_b, υπολογίστηκε μέσω της σχέσης:

$$\tau_b = 0{,}75\frac{P_{max}}{b \times d}$$

Όπου:

τ_b= Αντοχή σε κάμψη (MPa)

P_{max}= Μέγιστη δύναμη φόρτισης (N)

b = Πλάτος δοκιμίου (mm)

d = Πάχος δοκιμίου (mm)

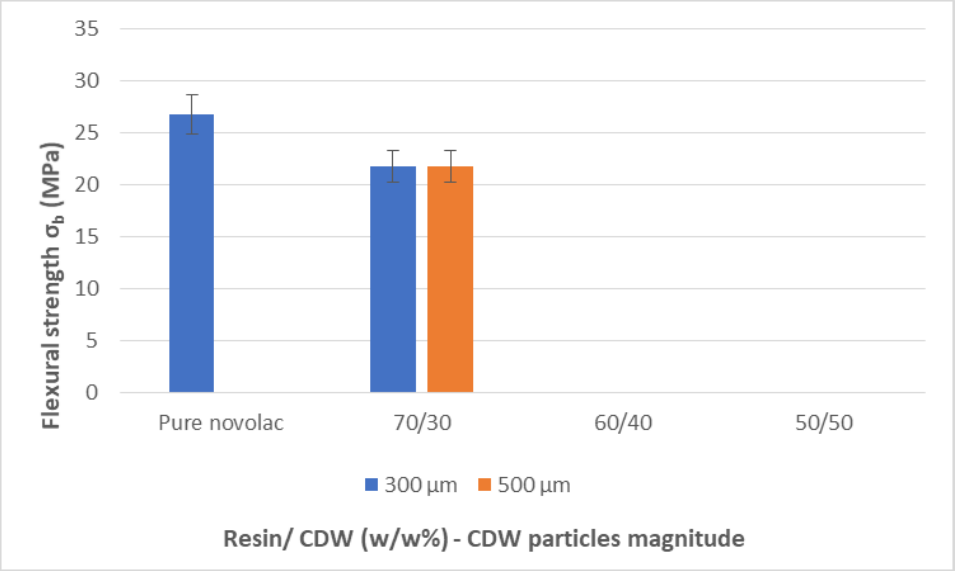
6.3.4. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων νεολάκης-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός

6.3.4.1. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε κάμψη συνθέτων υλικών νεολάκης- ΑΚΚ

Όπως προκύπτει βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 6.3.3.1-1 της παραγράφου 6.3.3.1 δεν κατέστη δυνατή η κατασκευή δοκιμίων νεολάκης/ΑΚΚ για τις μεγάλες κατά βάρος περιεκτικότητες (40% και 50% κ. β.) και για τις δυο κοκκομετρίες του υλικού πλήρωσης. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στον περιορισμό της συγκολλητικής ικανότητας της ρητίνης, η οποία επέρχεται με την αύξηση του υλικού πλήρωσης στα σύνθετα σε ποσοστά άνω του 30% κ. β. [7].

Όσον αφορά στην μηχανική συμπεριφορά των συνθέτων νεολάκης και ειδικότερα την αντοχή αυτών σε κάμψη, όπως παρατηρείται και από το Γράφημα 6.3.4.1-1 και τον Πίνακα 6.3.4.1-1, η χρήση σκόνης ΑΚΚ ως πληρωτικό μέσο σε σύνθετα υλικά μήτρας νεολάκης έχει ως αποτέλεσμα την μείωσή της αντοχής των υλικών αυτών σε κάμψη κατά 18.7% σε σύγκριση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά από νεολάκη.

Σε αντίθεση με τα σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης και πολυεστέρα, η καμπτική αντοχή των συνθέτων των οποίων όπως διαπιστώθηκε περιορίζεται περαιτέρω όταν σε αυτά χρησιμοποιηθεί ως πληρωτικό υλικό μεγαλύτερης κοκκομετρίας, στην περίπτωση των συνθέτων νεολάκης η καμπτική αντοχή παραμένει αμετάβλητη όπως επιβεβαιώνεται και από τα σχετικά αποτελέσματα. Το σφάλμα που εμπεριέχεται στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως -/+ 7%.



Γράφημα 6.3.4.1-1. Αντοχή σε κάμψη συνθέτων νεολάκης με ΑΚΚ.

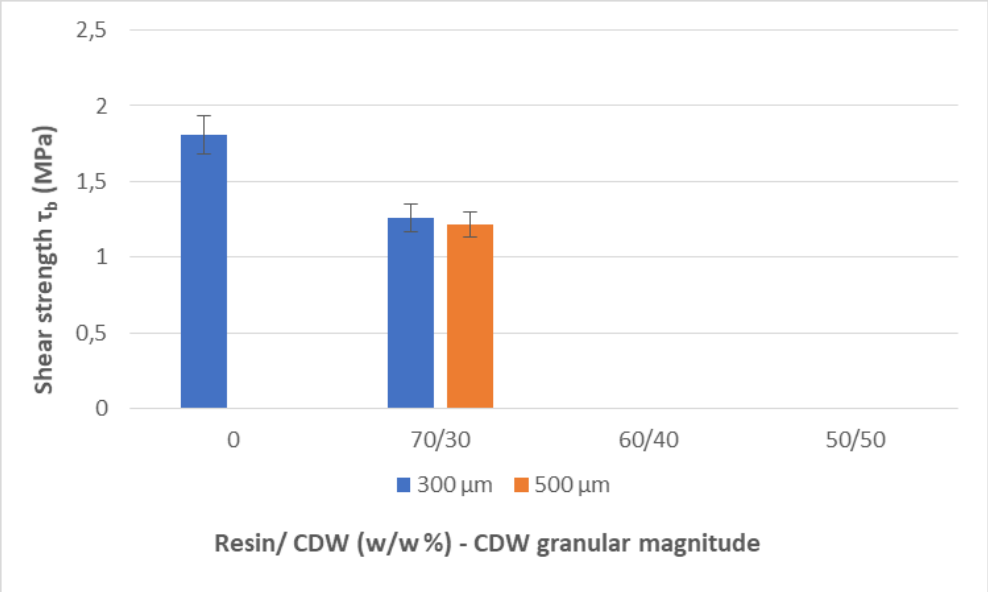
Πίνακας 6.3.4.1-1. Αντοχή σε κάμψη συνθέτων ρητίνης νεολάκης με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Αναλογία κ. β. (%) ρητίνης/ΑΚΚ	σ_b (MPa)
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 300 μm	
N-CDW30-300μm	70-30	21.79
N-CDW40-300μm	60-40	-
N-CDW50-300μm	50-50	-
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 500 μm	
N-CDW30-500μm	70-30	21.79
N-CDW40-500μm	60-40	-
N-CDW50-500μm	50-50	-

6.3.4.2. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε διάτμηση συνθέτων υλικών νεολάκης-ΑΚΚ

Αντίστοιχα και όσον αφορά στην αντοχή των συνθέτων υλικών νεολάκης/ΑΚΚ σε διάτμηση, όπως παρατηρείται και από το Γράφημα 6.3.4.2-1 και τον Πίνακα 6.3.4.2-1, η χρήση σκόνης ΑΚΚ ως πληρωτικό μέσο σε σύνθετα υλικά μήτρας νεολάκης, έχει ως αποτέλεσμα την μείωσή της αντοχής των υλικών αυτών σε κάμψη κατά 30.4% σε σχέση με τα υλικά από καθαρή νεολάκη όταν ως πρόσθετο χρησιμοποιηθεί σκόνη ΑΚΚ 300 μm και 32.9% όταν χρησιμοποιηθεί (ως πρόσθετο) σκόνη ΑΚΚ 500 μm αντίστοιχα.

Το σφάλμα που εμπεριέχεται στις μετρήσεις διατμητικής αντοχής που πραγματοποιήθηκαν ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως -/+ 7%.



Γράφημα 6.3.4.2-1. Αντοχή σε διάτμηση συνθέτων νεολάκης με ΑΚΚ.

Πίνακας 6.3.4.2-1. Αντοχή σε διάτμηση συνθέτων νεολάκης με ΑΚΚ.

Περιπτώσεις συνθέτων	Αναλογία κ. β. (%) ρητίνης/ΑΚΚ	τ_b (MPa)
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 300 μm	
N-CDW30-300μm	70-30	1.26
N-CDW40-300μm	60-40	-
N-CDW50-300μm	50-50	-
	Κοκκομετρία υλικού πλήρωσης 500 μm	
N-CDW30-500μm	70-30	1.22
N-CDW40-500μm	60-40	-
N-CDW50-500μm	50-50	-

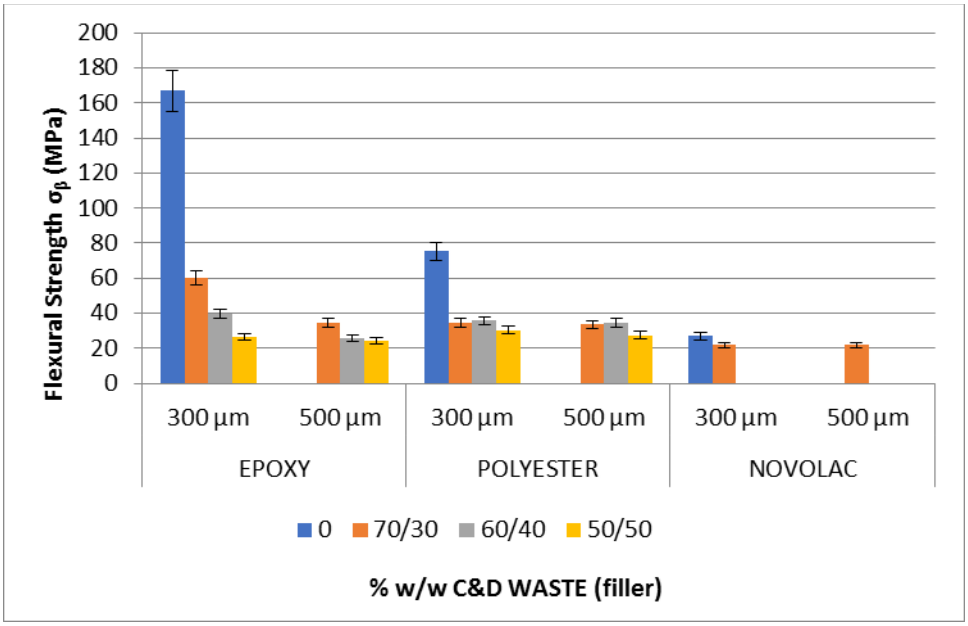
6.3.5. Μηχανικές ιδιότητες συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ- Συγκριτική ανάλυση αποτελεσμάτων

Στα ακόλουθα γραφήματα παρατίθενται συγκριτικά τα αποτελέσματα των αντοχών σε κάμψη και διάτμηση για το σύνολο των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας ως μήτρες τις πιο διαδεδομένες σε χρήση πολυμερικές ρητίνες, ήτοι την εποξειδική ρητίνη τον ακόρεστο πολυεστέρα του εμπορίου και την εργαστηριακά παρασκευασμένη ρητίνη νεολάκη.

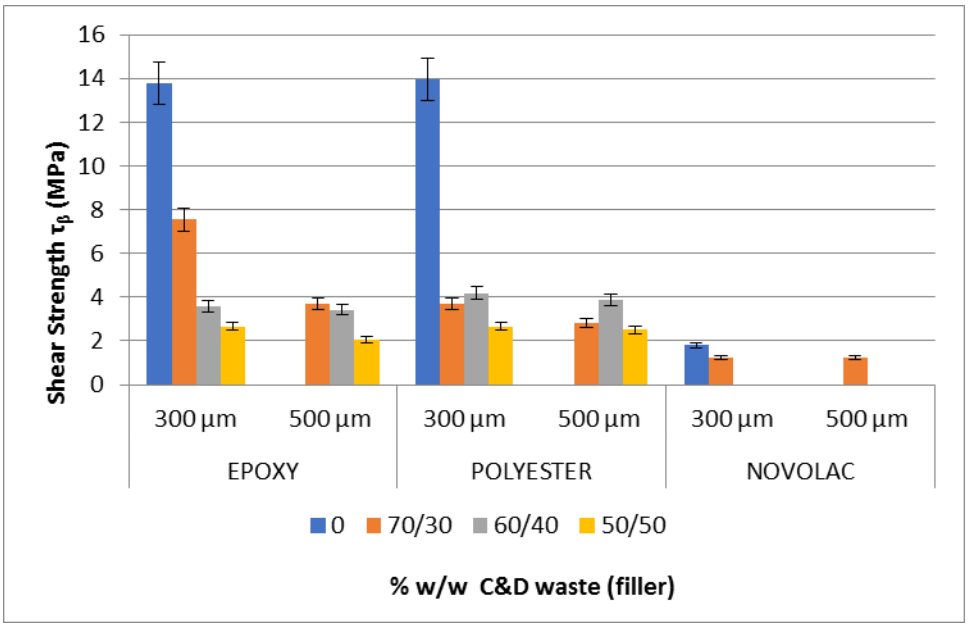
Διαπιστώνεται ότι, η αντοχή σε κάμψη και διάτμηση των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας ελαττώνεται α) με την αύξηση της κατά βάρος περιεχόμενης ποσότητας υλικού πλήρωσης στο σύνθετο β) με τη χρήση υλικού πλήρωσης μεγαλύτερης κοκκομετρίας. Πιο συγκεκριμένα, η εισαγωγή σκόνης πλήρωσης από ΑΚΚ εντός της πολυμερικής μήτρας έχει, ως συνέπεια την υποβάθμιση της μηχανικής απόδοσης των τελικών συνθέτων. Εξαίρεση σε

αυτό όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, αποτέλεσαν τα σύνθετα υλικά μήτρας πολυεστέρα και περιεκτικότητας 40% κ. β. σε υλικό πλήρωσης, των οποίων οι τιμές της αντοχής σε κάμψη και διάτμηση παρουσίασαν βελτίωση σε σύγκριση με τα αντίστοιχα υλικά που εμπεριείχαν πληρωτικό μέσο, σε ποσοστό 30% κ. β. Το σύνολο των συνθέτων που μελετήθηκαν επέδειξαν, όπως παρατηρείται, ψαθυρή θραύση όπως συμβαίνει με τα περισσότερα θερμοσκληρονόμενα υλικά [8,9].

Παράλληλα τα εν λόγω υλικά χαρακτηρίζονται από μειωμένες μηχανικές ιδιότητες, παραμένοντας όμως σε αποδεκτά επίπεδα μηχανικών αντοχών συγκριτικά με τα κλασικά δομικά υλικά [10-12]. Επιπλέον των παραπάνω, διαπιστώνεται η σαφής υπεροχή (από πλευράς μηχανικών ιδιοτήτων) των συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης έναντι όλων των άλλων υλικών με τα σύνθετα του πολυεστέρα να έρχονται στην δεύτερη θέση και αυτά της νεολάκης στην τελευταία, παρουσιάζοντας τις χαμηλότερες μηχανικές αντοχές. Αναλυτικότερα τα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης/ΑΚΚ επέδειξαν έως και 2 φορές μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε κάμψη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα υλικά που είχαν ως μήτρα τον πολυεστέρα και ως και 3 φορές μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με τα σύνθετα υλικά ρητίνης νεολάκης. Όσον αφορά τις τιμές της αντοχής σε διάτμηση, τα σύνθετα υλικά εποξειδικής μήτρας παρουσίασαν περίπου 2 φορές μεγαλύτερη διατμητική αντοχή σε σχέση με τα πολυεστερικά υλικά και έως και 6 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα σύνθετα νεολάκης.



Γράφημα 6.3.5-1. Αντοχή σε κάμψη συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ .



Γράφημα 6.3.5-2 Αντοχή σε διάτμηση συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ .

6.3.6. Σύγκριση μηχανικών αντοχών συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ με σύνθετα υλικά με άλλα ανόργανα πρόσθετα.

Στο παρόν κεφάλαιο διεξάγεται η συγκριτική ανάλυση των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας/ΑΚΚ με αντίστοιχου τύπου σύνθετα υλικά, για την κατασκευή των οποίων επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά είδη πληρωτικών/πρόσθετων υλικών όπως για παράδειγμα τα οξείδια του σιδήρου και το τιτανικό βάριο. Τα υλικά που αναπτύσσονται και εξετάζονται στο πλαίσιο της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας, συγκρίνονται ως προς τις μηχανικές τους ιδιότητες με τα υλικά που αναφέρθηκαν προηγούμενα και τα οποία με τη σειρά τους αναπτύχθηκαν και μελετήθηκαν κατά την εκπόνηση άλλων ερευνητικών διατριβών [14,15]. Όπως φαίνεται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 6.3.4.2-2, 6.3.4.2-3) τα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας/ΑΚΚ παρουσιάζουν εφάμιλλες και σε κάποιες περιπτώσεις καλύτερες αντοχές σε κάμψη και διάτμηση σε σχέση με σύνθετα υλικά στα οποία ως μέσο πλήρωσης χρησιμοποιήθηκε σκόνη τιτανικού βαρίου και οξειδίων του σιδήρου (μαγνητίτης, αιματίτης, μαγκεμίτης). Τα εν λόγω σύνθετα υλικά (ΣΥΠΜ/τιτανικού βαρίου, ΣΥΠΜ/οξειδίων σιδήρου) όπως μπορεί να διαπιστωθεί από τα αποτελέσματα εμφανίζουν πανομοιότυπη συμπεριφορά με τα ΣΥΠΜ/ΑΑΚ, αφού η αρχική εισαγωγή αλλά και η αύξηση του ανόργανου υλικού που σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται ως πρόσθετο οδηγεί στην υποβάθμιση των μηχανικών τους αντοχών. Συγκεκριμένα οι αντοχές των ER-

CDW είναι παραπλήσιες με αυτές των ΣΥΠΜ με οξείδια του σιδήρου για κατά βάρος περιεκτικότητες πληρωτικού υλικού στα σύνθετα της τάξεως του 30% με τα σύνθετα με μαγνητίτη να παρουσιάζονται ελαφρώς βελτιωμένα συγκριτικά με τα υλικά ER. Η αντικατάσταση του μαγνητίτη με αιματίτη ή μαγκεμίτη οδηγεί σε υλικά με χαμηλότερη καμπτική αντοχή σε σύγκριση με τα ΣΥΠΜ με ΑΚΚ. Τα σύνθετα ER-CDW, παρουσιάζονται ανθεκτικότερα ως προς την καμπτική τους αντοχή σε σχέση με τα υλικά στην κατασκευή των οποίων χρησιμοποιήθηκε τιτανικό βάριο παρά το γεγονός ότι για την κατασκευή των τελευταίων χρησιμοποιήθηκαν χαμηλότερες κατά βάρος περιεκτικότητες (πληρωτικού υλικού) που κυμαίνονται από 5%-20%.

Η αύξηση των εμπεριεχόμενων ΑΚΚ στο 40% οδηγεί στην παραγωγή υλικών βελτιωμένης καμπτικής αντοχής σε σχέση με τα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης/οξειδίων του σιδήρου. Η περαιτέρω αύξηση της περιεκτικότητας του ανόργανου υλικού στο 50% έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή συνθέτων υλικών με σχεδόν πανομοιότυπες-ως προς την αντοχή σε κάμψη-ιδιότητες με τα ΣΥ με μαγκεμίτη να παρουσιάζονται ελαφρώς ενισχυμένα σε σύγκρισή με τα υλικά εποξειδικής ρητίνης/ΑΚΚ.

Τα ER-CDW με σκόνη ΑΚΚ μεγαλύτερης κοκκομετρίας παρουσιάζουν μειωμένες καμπτικές αντοχές σε σχέση με τα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης/οξειδίων του σιδήρου. Εξαίρεση σε αυτό αποτελούν τα σύνθετα υλικά αιματίτη και μαγκεμίτη με κατά βάρος περιεκτικότητα του εμπεριεχόμενου σε αυτά πρόσθετου σε ποσοστά 40% και 50% αντίστοιχα, η αντοχή των οποίων είναι χαμηλότερη από αυτή των συνθέτων ER-CDW.

Σε ότι αφορά στην διατμητική αντοχή των ανωτέρω υλικών από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι, με μοναδική εξαίρεση τα ER-CDW 300 μm, περιεκτικότητας 30% κ.β. σε πρόσθετο τα οποία παρουσιάζουν καλύτερη διατμητική συμπεριφορά συγκριτικά με τα αντίστοιχα σύνθετα μαγνητίτη και αιματίτη, το σύνολο των συνθέτων υλικών ER/ΑΚΚ χαρακτηρίζεται από διατμητικές αντοχές υποδεέστερες των αντοχών των ΣΥΠΜ/τιτανικού βαρίου και ΣΥΠΜ/οξειδίων του σιδήρου.

Στον αντίποδα τα UP-CDW, επικρατούν σε όρους αντοχής σε κάμψη και διάτμηση σε σύγκριση με το σύνολο των συνθέτων υλικών τιτανικού βαρίου, μαγνητίτη, αιματίτη και μαγκεμίτη αντίστοιχα. Η υπεροχή των συνθέτων πολυεστέρα/ΑΚΚ από πλευράς μηχανικής απόδοσης διαπιστώνεται ανεξαρτήτως της κοκκομετρίας του πληρωτικού υλικού που χρησιμοποιείται και της κατά βάρος περιεκτικότητας του στα σύνθετα υλικά.

Τέλος σε ότι αφορά στις μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων νεολάκης/ΑΚΚ διαπιστώνεται ότι, τα ανωτέρω υλικά χαρακτηρίζονται από καλές μηχανικές αντοχές. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζουν βελτιωμένες αντοχές σε κάμψη και διάτμηση σε σχέση με τα σύνθετα υλικά νεολάκης/τιτανικού βαρίου. Η εν λόγω διαπίστωση επιβεβαιώνεται όπως μπορεί να παρατηρηθεί και βάσει των αποτελεσμάτων που παρατίθενται στους πίνακες 6.3.4.2-2, 6.3.4.2-3 για το σύνολο των συνθέτων ΣΥΠΜ νεολάκης/ΑΚΚ ενώ η κατά βάρος περιεκτικότητα του ανόργανου πληρωτικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τους, είναι αρκετά μεγαλύτερη αυτής του τιτανικού βαρίου στα αντίστοιχα σύνθετα N-BT.

Πίνακας 6.3.4.2-2. Συγκριτική ανάλυση της αντοχής σε κάμψη ΣΥΠΜ με προσθήκη διαφορετικού τύπου ανόργανων υλικών.

Σύνθετα Υλικά πολυμερικής μήτρας Εποξειδικής Ρητίνης (ER)					
Είδος Πρόσθετου	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ % (κ.β.) ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ				
	10%	20%	30%	40%	50%
Αντοχή σε κάμψη σ_b (MPa)					
CDW 300 μm	-	-	60.03	39.68	26.45
CDW 500 μm	-	-	34.59	25.43	24.42
$BaTiO_3$	55.24	43.45	-	-	-
Fe_3O_4 (μαγνητίτης)	74.70	73.65	63.29	31.72	23.95
α-Fe_2O_3 (Αιματίτης)	66.88	61.78	45.47	23.89	20.18
γ-Fe_2O_3 (Μαγκεμίτης)	71.75	65.46	34.04	33.73	28.72
Σύνθετα Υλικά πολυμερικής μήτρας Ακόρεστου Πολυεστέρα (UP)					
Είδος Πρόσθετου	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ % (κ.β.) ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ				
	10%	20%	30%	40%	50%
Αντοχή σε κάμψη σ_b (MPa)					
CDW 300 μm	-	-	34.59	35.61	30.25
CDW 500 μm	-	-	33.58	34.60	27.47
$BaTiO_3$	24.12	18.76	-	-	-
Fe_3O_4 (μαγνητίτης)	32.86	30.79	23.92	20.53	17.82
α-Fe_2O_3 (Αιματίτης)	26.43	12.79	10.99	5.53	4.80
γ-Fe_2O_3 (Μαγκεμίτης)	24.37	21.61	20.53	17.65	17.02

Σύνθετα Υλικά πολυμερικής μήτρας Νεολάκης (N)					
Είδος Πρόσθετου	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ % (κ.β.) ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ				
	10%	20%	30%	40%	50%
Αντοχή σε κάμψη σ_b (MPa)					
CDW 300 μm	-	-	21.79	-	-
CDW 500 μm	-	-	21.79	-	-
$BaTiO_3$	2.68	0.54	-	-	-
Fe_3O_4 (μαγνητίτης)	-	-	-	-	-
α-Fe_2O_3 (Αιματίτης)	-	-	-	-	-
γ-Fe_2O_3 (Μαγκεμίτης)	-	-	-	-	-

Πίνακας 6.3.4.2-3. Συγκριτική ανάλυση της αντοχής σε διάτμηση ΣΥΠΜ με προσθήκη διαφορετικού τύπου ανόργανων υλικών.

Σύνθετα Υλικά πολυμερικής μήτρας Εποξειδικής Ρητίνης (ER)					
Είδος Πρόσθετου	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ % (κ.β.) ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ				
	10%	20%	30%	40%	50%
Αντοχή σε διάτμηση τ_b (MPa)					
CDW 300 μm	-	-	7.54	3.57	2.66
CDW 500 μm	-	-	3.72	3.42	2.05
$BaTiO_3$	5.87	5.11	-	-	-
Fe_3O_4 (μαγνητίτης)	4.16	4.07	4.00	3.87	3.10
α-Fe_2O_3 (Αιματίτης)	14.90	11.49	4.20	4.13	3.76
γ-Fe_2O_3 (Μαγκεμίτης)	14.74	10.30	10.12	6.37	6.29
Σύνθετα Υλικά πολυμερικής μήτρας Ακόρεστου Πολυεστέρα (UP)					
Είδος Πρόσθετου	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ % (κ.β.) ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ				
	10%	20%	30%	40%	50%
Αντοχή σε διάτμηση τ_b (MPa)					
CDW 300 μm	-	-	3.72	4.18	2.66
CDW 500 μm	-	-	2.81	3.87	2.50
$BaTiO_3$	2.26	2.01	-	-	-
Fe_3O_4 (μαγνητίτης)	2.20	1.82	1.10	0.96	0.89
α-Fe_2O_3 (Αιματίτης)	1.93	1.85	1.74	1.50	1.01
γ-Fe_2O_3 (Μαγκεμίτης)	2.25	1.88	1.70	1.64	1.46
Σύνθετα Υλικά πολυμερικής μήτρας Νεολάκης (N)					
Είδος Πρόσθετου	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ % (κ.β.) ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ				
	10%	20%	30%	40%	50%
Αντοχή σε διάτμηση τ_b (MPa)					
CDW 300 μm	-	-	1.26	-	-
CDW 500 μm	-	-	1.22	-	-
$BaTiO_3$	0.43	0.34	-	-	-
Fe_3O_4 (μαγνητίτης)	-	-	-	-	-
α-Fe_2O_3 (Αιματίτης)	-	-	-	-	-
γ-Fe_2O_3 (Μαγκεμίτης)	-	-	-	-	-

Βιβλιογραφία 6ου Κεφαλαίου

1. ASTM D 790-03. *American Society of Testing and Material, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*; ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2003.

2. ASTM D 2344-00. *American Society of Testing and Material, Standard Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates*; ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2000.

3. C. Bogiatzidis, L. Zoumpoulakis, *Development of Building and Insulation Epoxy Based Composite Materials Loaded with Construction and Demolition Wastes; Mechanical and Thermal- Insulation Behaviour Analysis*, Journal of Materials Science Research and Reviews, 2018, 1, 1–11.

4. E. Kandare, B. K. Kandola, D. Price, S. Nazaré, R. A. Horrocks, *Study of the thermal decomposition of flame-retarded unsaturated polyester resins by thermogravimetric analysis and Py-GC/MS*, Polymer Degradation and Stability, 2008*,* 93,1-11, 1996–2006.

5. C. Bogiatzidis, D. Semitekolos, L. Zoumpoulakis, Recycling and Exploitation of Construction and Demolition Wastes as Additives in Unsaturated Polyester Composite Building and Insulation Materials; Mechanical and Thermal Properties Investigation, Journal of Materials Science Research and Reviews, 2018, 1, 1–11.

6. I. Asimakopoulos, L. Zoumpoulakis, G.C. Psarras, *Development and Characterization of a Novolac Resin/$BaTiO_3$ Nanoparticles Composite System*, Journal of Applied Polymer Science, 2012, 125, 3737–3744.

7. C. Bogiatzidis, L. Zoumpoulakis, *Manufacture and Characterization of Novolac Resin-Construction and Demolition Wastes Composites,* Emerging Materials Research, 2021, 10, 1–6.

8. J. Simitzis, *Correlation between the production parameters and the mechanical properties of novolac resins reinforced with carbon fibers*, Angewandte Makromolekulare Chemie, 1989, 165, 21–34.

9. G.Kallergis, M. Pisania, J. Simitzis, *Manufacture and Characterization of Heat Resistant and Insulating New Composites Based on Novolac Resin-Carbon-Perlite*, Macromolecular Symposia*,* 2013, 331, 137–143.

10. Radhakrishna;, K. Praveen Kumar, K. Venugopal, S. Vinod, *Characteristics of Alternative building materials* In Proceedings of the 2015 International Conference on Food Nutrition and Civil Engineering (ICFNCE' 2015), Dubai, UAE, 14–15 March 2015.

11. N.N. Klimenko, I.Y. Kolokol'chikov, N.Y. Mikhailenko, L.A. Orlova, V.N. Sigaev, *New High-Strength Building Materials Based on Metallurgy Wastes*, Glass Ceramics*,* 2018, 75, 206–210.

12. H.C. Plummer, Brick *and Tile Engineering*; Brick Institute of America: Reston, VA, USA, 1977.

13. Ι. Χ. Σιμιτζής, *Επιστήμη και Τεχνική των Πολυμερών και Σύνθετων Υλικών*, Αθήνα Φεβρουάριος 2017, pp. 12-42, 628-633.

14. Ι.Α Ασημακόπουλος, *Κατασκευή, Χαρακτηρισμός και Ιδιότητες Συνθέτων Διηλεκτρικών Υλικών πολυμερικής Μήτρας,* Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2015.

15. Σ. Καραγιοβαννάκη, *Κατασκευή Συνθέτων Μαγνητικών Υλικών Πολυμερικής Μήτρας και Εφαρμογές τους,* Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2013.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΗΣ – ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

7.1. Θερμικές ιδιότητες συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με προσθήκη ΑΚΚ

7.1.1. Μελέτη θερμικής συμπεριφοράς συνθέτων υλικών

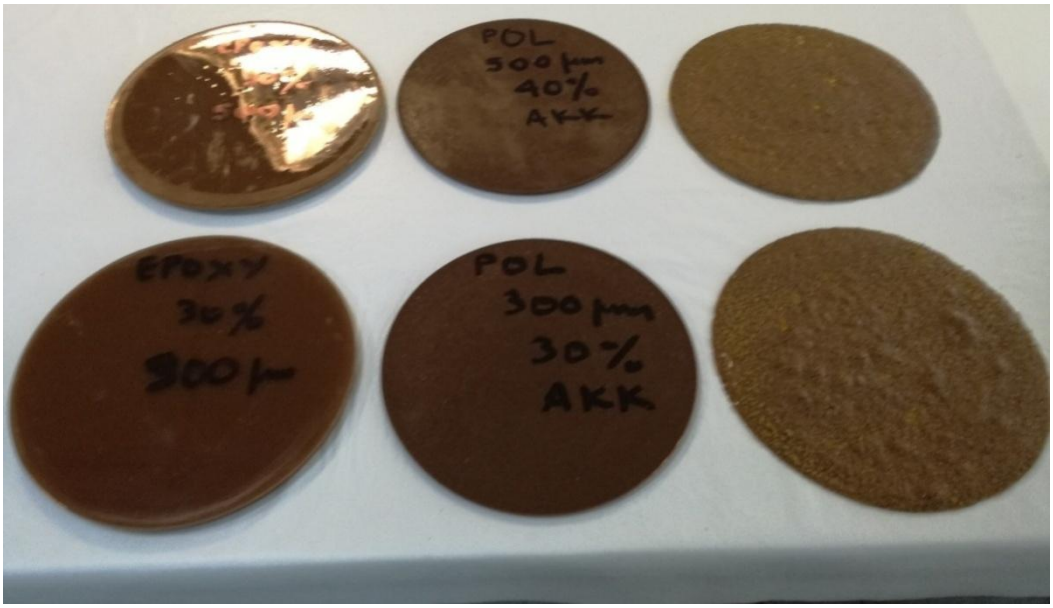
Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης των μηχανικών ιδιοτήτων των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας, ακολούθησε διερεύνηση της θερμικής συμπεριφοράς των ανωτέρω υλικών. Πιο συγκεκριμένα στο πλαίσιο της μελέτης που παρουσιάζεται αναλυτικά στις ακόλουθες παραγράφους, ερευνήθηκε και αξιολογήθηκε η θερμομονωτική απόδοση των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με προσθήκη υλικού πλήρωσης από ΑΚΚ. Η έρευνα που διεξήχθη εστίασε στα ακόλουθα:

- Μελέτη της θερμομονωτικής συμπεριφοράς των συνθέτων σε σχέση με την κ. β. περιεκτικότητα σε αυτά του υλικού πλήρωσης
- Μελέτη της θερμομονωτικής συμπεριφοράς των συνθέτων σε σχέση με την κοκκομετρία του περιεχόμενου σε αυτά υλικού πλήρωσης
- Μελέτη της θερμομονωτικής συμπεριφοράς για κάθε κατηγορία συνθέτων (εποξειδικά, πολυεστερικά και από νεολάκη) σε σχέση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά από την αντίστοιχη ρητίνη
- Συγκριτική μελέτη της θερμομονωτικής απόδοσης των κατασκευασθέντων συνθέτων υλικών

7.1.1.1. Κατασκευή συνθέτων υλικών για τον προσδιορισμό της θερμικών ιδιοτήτων

Η προετοιμασία των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν για την εξέταση της θερμομονωτικής συμπεριφοράς προσομοιάζει (αναλογίες επιμέρους συστατικών, θερμοκρασίες, χρόνοι θερμικής επεξεργασίας) με αυτή της κατασκευής των αντίστοιχων υλικών με βάση τα οποία προσδιορίστηκαν οι μηχανικές ιδιότητες [1-4]. Κατασκευάστηκαν με την μέθοδο της χύτευσης, σύνθετα υλικά διαμέτρου περίπου 30 cm χρησιμοποιώντας ως μήτρα α) την εποξειδική ρητίνη β) τον ακόρεστο πολυεστέρα και γ) την ρητίνη νεολάκη, ενσωματώνοντας υλικό πλήρωσης από ανακυκλούμενα ΑΚΚ σε δυο διαφορετικές κοκκομετρίες (300 μm και 500 μm) και για περιεκτικότητες αυτού σε ποσοστό 0%, 30% και 40% κ. β. στο τελικό σύνθετο (Εικόνες 7.1.1.1-1, 7.1.1.1-2, 7.1.1.1-3 και 7.1.1.1-4). Για κάθε περίπτωση συνθέτου

υλικού που μελετήθηκε, κατασκευάστηκαν 2 δοκίμια. Επισημαίνεται όμως ότι σύμφωνα με τα σχετικό πρότυπο το οποίο και μνημονεύεται ακολούθως, η συγκεκριμένη δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τη χρήση ενός μόνο δοκιμίου [5].



Εικόνα 7.1.1.1-1. Δοκίμια προσδιορισμού θερμικών ιδιοτήτων (Από αριστερά προς τα δεξιά δοκίμια εποξειδικής, δοκίμια πολυεστέρα, δοκίμια νεολάκης).

Εικόνα 7.1.1.1-2. Δοκίμια νεολάκης μετά τη σκλήρυνση.

Εικόνα 7.1.1.1-3. Δοκίμια πολυεστέρα με ΑΚΚ χυτευμένα πριν τη σκλήρυνση.

Εικόνα 7.1.1.1-4. Δοκίμιο εποξειδικής ρητίνης με ΑΚΚ χυτευμένα πριν τη σκλήρυνση.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι περιπτώσεις των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν ως προς τη θερμομονωτική τους απόδοση στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Διευκρινίζεται ότι τα σύνθετα υλικά κ. β. περιεκτικότητας 50% σε υλικό πλήρωσης ΑΚΚ δεν εξετάστηκαν στο πλαίσιο της μελέτης θερμικών ιδιοτήτων λαμβάνοντας υπόψη τις χαμηλές μηχανικές αντοχές που παρουσίασαν κατά την υποβολή στις μηχανικές δοκιμές που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 7.1.1.1-1. Περιπτώσεις κατασκευασθέντων συνθέτων υλικών.

Σύνθετο Υλικό/Ονομασία	**ΑΚΚ (%w/w)**	**Ρητίνη (%w/w)**
ER-100	0	100
ER-CDW30-500μm	30	70
ER-CDW40-500μm	40	60
ER-CDW30-300μm	30	70
ER-CDW40-300μm	40	60
UP-100	0	100
UP-CDW30-500μm	30	70
UP-CDW40-500μm	40	60
UP-CDW30-300μm	30	70
UP-CDW40-300μm	40	60
N-100	0	100
N-CDW30-500μm	30	70
N-CDW30-300μm	30	70

7.1.1.2. Μεθοδολογία εκτέλεσης δοκιμών προσδιορισμού συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ

Η θερμομονωτική απόδοση των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας προσδιορίστηκε μέσω υπολογισμού του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, λ. Για την διεξαγωγή των μετρήσεων, κατασκευάστηκαν κατάλληλα δοκίμια σε σχήμα δίσκου διαμέτρου περίπου 30 cm, όπως προαναφέρθηκε και χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακή (Εικόνα 7.1.1.2-1) διάταξη η κατασκευή και η λειτουργία της οποίας βασίζεται στο πρότυπο ASTM C177-04 [5] και

συγκεκριμένα στη μέθοδο «Προστατευμένης Θερμής Πλάκας» (Guarded Hot Plate). Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ, προκύπτει από τον τύπο:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{\Phi \times S_m}{2A(\Theta_{wm} - \Theta_{cm})}}$$

Όπου:

A, η μέση επιφάνεια δοκιμίου (m^2)

S_m, το μέσο πάχος δοκιμίων (m)

Θ_{wm}, η μέση θερμοκρασία των θερμών επιφανειών των δοκιμίων (°K)

Θ_{cm}, η μέση θερμοκρασία των ψυχρών επιφανειών των δοκιμίων (°K)

Φ, η ροή θερμότητας

Εικόνα 7.1.1.2-1. Εργαστηριακή διάταξη τύπου «Προστατευμένης Θερμής Πλάκας» μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

7.1.2. Θερμικές ιδιότητες συνθέτων πολυμερικής μήτρας με προσθήκη ΑΚΚ-Αποτελέσματα μετρήσεων-Σχολιασμός

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ, παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1.2-1. Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι η ενσωμάτωση επεξεργασμένων ΑΚΚ σε μορφή σκόνης σε σύνθετα πολυμερικής μήτρας έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή υλικών που παρουσιάζουν βελτιωμένη θερμομονωτική απόδοση σε σύγκριση με τα αντίστοιχα υλικά που φτιάχτηκαν

χρησιμοποιώντας καθαρή ρητίνη. Η αύξηση δε της κατά βάρος ποσότητας του υλικού πλήρωσης και η χρήση (πληρωτικού) υλικού μικρότερης κοκκομετρίας στα σύνθετα είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των υλικών αυτών και συνεπώς την ενίσχυση της θερμομονωτικής απόδοσής τους [1-4]. Τα σύνθετα νεολάκης και ακόρεστου πολυεστέρα επέδειξαν βελτιωμένες θερμομονωτικές ιδιότητες σε σχέση με αυτά που φτιάχτηκαν χρησιμοποιώντας εποξειδική ρητίνη. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στις καλές θερμομονωτικές ιδιότητες από τις οποίες χαρακτηρίζονται ο πολυεστέρας και η νεολάκη. Επιπροσθέτως, η βελτιωμένη θερμομονωτική απόδοση των ανωτέρω έρχεται ως αποτέλεσμα της κατασκευαστικής ιδιομορφίας των υλικών αυτών η οποία οφείλεται στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την θερμική επεξεργασία και σκλήρυνση τους και αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια.

Αναλυτικότερα σε ότι αφορά στα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης η αύξηση της κ. β. εμπεριεχόμενης (στη μήτρα) ποσότητας σκόνης ΑΚΚ, έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ κατά 41.67% (ER–CDW30-500 μm), και κατά 46.67% (ER–CDW40-500μm) συγκριτικά με τα υλικά που κατασκευάστηκαν 100% από εποξειδική ρητίνη. Αντιστοίχως τα σύνθετα στα οποία χρησιμοποιήθηκε σκόνη ΑΚΚ 300 μm, παρουσιάζουν βελτίωση της τάξεως του 15% (ER–CDW30-300μm) και 55.83% (ER–CDW40-300μm) σε σχέση με τα αντίστοιχα υλικά καθαρής εποξειδικής ρητίνης.

Η χρήση σκόνης ΑΚΚ μεγαλύτερης κοκκομετρίας υπό την προϋπόθεση ότι, η κατά βάρος περιεκτικότητα αυτής στα σύνθετα παραμένει σταθερή, φαίνεται να έχει ως αποτέλεσμα διαφοροποιήσεις σε ότι αφορά στην θερμομονωτική απόδοση των τελικών συνθέτων. Έτσι στην περίπτωση των συνθέτων υλικών με περιεκτικότητα 30% κ. β. σε ΑΚΚ τα υλικά που εμπεριέχουν σκόνη 500 μm (ER–CDW30-500μm) παρουσιάζουν μειωμένο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και κατά συνέπεια βελτιωμένη θερμομονωτική απόδοση κατά 31.37% συγκριτικά με τα αντίστοιχα των 300 μm (ER–CDW30-300μm). Αυξάνοντας το ποσοστό της σκόνης στο 40% η συμπεριφορά αυτή διαφοροποιείται, με τα ER–CDW40-300μm να παρουσιάζονται κατά 17.19% πιο βελτιωμένα σε σχέση με τα ER–CDW40-500μm σε ότι αφορά στην θερμομονωτική τους ικανότητα.

Στα UP-CDW παρατηρείται μικρή αύξηση των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας σε σύγκριση με τα αντίστοιχα που κατασκευάστηκαν αποκλειστικά με πολυεστερική ρητίνη, κάτι το οποίο όμως είναι αναμενόμενο εξαιτίας της πολύ χαμηλής τιμής λ που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο πολυμερές, με τις τιμές που καταγράφονται παρόλα αυτά να παραμένουν σχετικά κοντά στην τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του καθαρού πολυεστερικού δοκιμίου. Η θερμομονωτική απόδοση των συνθέτων πολυεστέρα περιορίζεται με την αρχική εισαγωγή του πρόσθετου υλικού και εν συνεχεία βελτιώνεται με την περαιτέρω αύξηση της κατά βάρος περιεκτικότητας ΑΚΚ στα σύνθετα. Πιο συγκεκριμένα τα UP–CDW30-500μm, παρουσιάζουν μικρότερη θερμομονωτική απόδοση κατά 54.24% σε σχέση με τα UP-100. Η εισαγωγή επιπλέον ποσότητας ΑΚΚ έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των τελικών συνθέτων (UP–CDW40-500μm) σε ότι αφορά στην θερμομονωτική τους ικανότητα σε σχέση με τα υλικά της προηγούμενης κατηγορίας (UP–CDW30-500μm), κατά 22.03%. Παρατηρείται επίσης ότι η αύξηση της κατά βάρος ποσότητας του υλικού πλήρωσης στο σύνθετο σε ποσοστό 40% οδήγησε σε βελτιωμένες τιμές λ σε σχέση με αυτές των αντίστοιχων υλικών που εμπεριείχαν 30% σκόνης ΑΚΚ (αρχική εισαγωγή). Πανομοιότυπη συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα υλικά στα οποία χρησιμοποιήθηκε σκόνη ΑΚΚ 300 μm, με τα UP–CDW30-300μm να επιδεικνύουν μειωμένη θερμομονωτική απόδοση κατά 57.14% και τα UP–CDW40-300 μm κατά 30.77% αντίστοιχα (συγκριτικά με τα UP-100). Η αύξηση της ποσότητας ΑΚΚ (από το 30% στο 40%) στα σύνθετα έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της θερμομονωτικής τους αποτελεσματικότητας, η οποία ανέρχεται σε ποσοστό της τάξεως του 38.09%.

Τέλος αναφορικά με τα σύνθετα νεολάκης με ΑΚΚ, για τους λόγους που αναλύθηκαν στην παράγραφο 6.3.4.1 του προηγούμενου κεφαλαίου δεν κατέστη δυνατή η κατασκευή δοκιμίων εκτός των N–CDW30-500μm και N–CDW30-300μm. Όπως διαπιστώνεται από τα ακόλουθα αποτελέσματα η αρχική εισαγωγή ΑΚΚ έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή συνθέτων με βελτιωμένες θερμομονωτικές ιδιότητες. Η βελτίωση αυτή γίνεται ακόμα μεγαλύτερη στην περίπτωση που η σκόνη ΑΚΚ αντικατασταθεί από αντίστοιχη μικρότερης

κοκκομετρίας. Η βελτίωση του λ ανέρχεται σε ποσοστό 41.67% για τα N–CDW30-500μm και σε 50% για τα N–CDW30-300μm αντίστοιχα, σε σύγκριση με τα αυτά της καθαρής νεολάκης. Βέλτιστα από πλευράς θερμομονωτικών χαρακτηριστικών εμφανίζονται τα σύνθετα υλικά νεολάκης και πολυεστέρα με εύρος τιμών λ μεταξύ 0.36 και 0.63 W/ m·K, με τα αντίστοιχα εποξειδικά υλικά να ακολουθούν με τιμές μεταξύ 0.53 και 1.20 W/ m·K.

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά, σε ότι αφορά στα σύνθετα πολυεστέρα πέρα από τις καλές θερμομονωτικές των δυο αυτών πολυμερών που ήδη αναφέρθηκαν προηγούμενα, οφείλονται επίσης στην καλύτερη διασπορά του πρόσθετου υλικού στη μήτρα που επιτυγχάνεται λόγω της ταχύτερης χρονικά σκλήρυνσής του πολυεστέρα, διαδικασία μέσω της οποίας τα σωματίδια (κόκκοι) της σκόνης ΑΚΚ ενσωματώνονται «αιωρούμενα» στο πολυμερές έτσι ώστε η κατανομή τους στον συνολικό όγκο του συνθέτου να είναι καλύτερη, με αποτέλεσμα την παραγωγή υλικών περιορισμένης θερμικής διαπερατότητας (μονωτές). Σε ότι αφορά τις αντίστοιχα καλές (με αυτές των πολυεστερικών συνθέτων) θερμομονωτικές ιδιότητες των σύνθετων νεολάκης, αυτές αποδίδονται στην κοκκώδη φύση της ρητίνης και του πληρωτικού μέσου που χρησιμοποιήθηκαν στα εν λόγω υλικά η οποία και έδωσε τη δυνατότητα επίτευξης της καλύτερης δυνατής ανάμειξης των επιμέρους συστατικών (ρητίνη και σκόνη ΑΚΚ) και κατά συνέπεια της βέλτιστης διασποράς του πληρωτικού μέσου στο τελικό σύνθετο.

Πίνακας 7.1.2-1. Συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ.

Σύνθετο Υλικό/Ονομασία	**ΑΚΚ (%w/w)**	**Ρητίνη (%w/w)**	**Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας, λ [W/ m·K]**
ER-100	0	100	1.20
ER–CDW30-500μm	30	70	0.70
ER–CDW40-500μm	40	60	0.64
ER–CDW30-300μm	30	70	1.02
ER–CDW40-300μm	40	60	0.53
UP-100	0	100	0.27
UP–CDW30-500μm	30	70	0.59
UP–CDW40-500μm	40	60	0.46
UP–CDW30-300μm	30	70	0.63
UP–CDW40-300μm	40	60	0.39
N-100	0	100	0.72
N–CDW30-500μm	30	70	0.42
N–CDW30-300μm	30	70	0.36

Βιβλιογραφία 7ου Κεφαλαίου

1. C. Bogiatzidis, L. Zoumpoulakis, *Development of Building and Insulation Epoxy Based Composite Materials Loaded with Construction and Demolition Wastes; Mechanical and Thermal- Insulation Behaviour Analysis*, *Journal of Materials Science Research and Reviews,* 2018, 1, 1–11.

2. C. Bogiatzidis, D. Semitekolos, L. Zoumpoulakis, *Recycling and Exploitation of Construction and Demolition Wastes as Additives in Unsaturated Polyester Composite Building and Insulation Materials; Mechanical and Thermal Properties Investigation*, Journal of Materials Science Research Reviews*,* 2018, 1, 1–11.

3. C. Bogiatzidis, L. Zoumpoulakis, *Manufacture and Characterization of Novolac Resin-Construction and Demolition Wastes Composites*, *Emerging Materials Research,* 2021, 10, 1–6.

4. C. Bogiatzidis, L. Zoumpoulakis, *Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester, and Novolac Resin Embedding Construction and Demolition Wastes powder: A Comparative Study*, Polymers, 2021, *13*, 737.

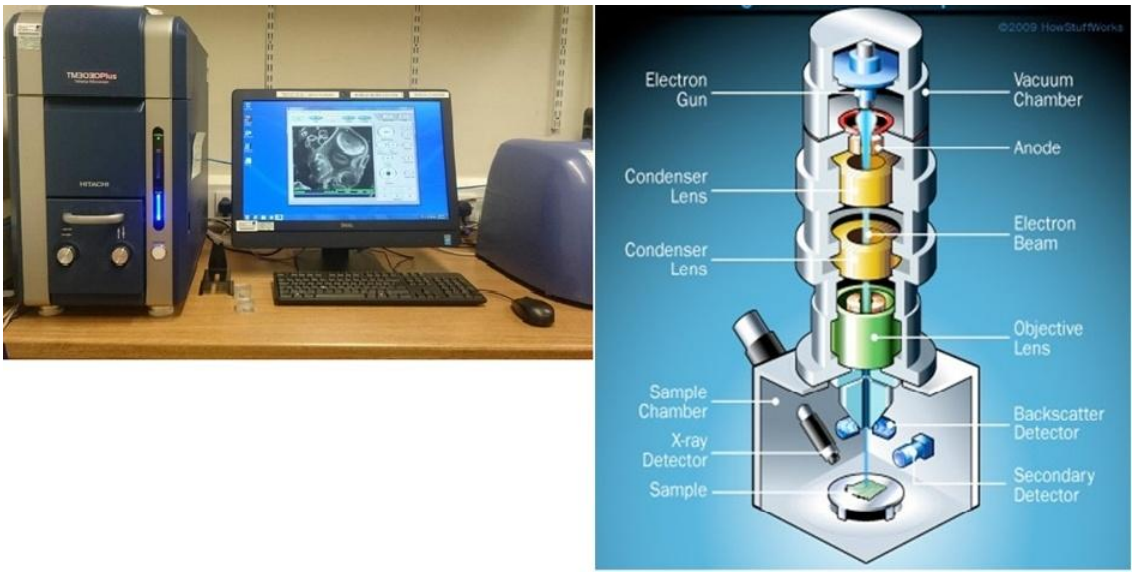
5. ASTM C 177-04. *American Society of Testing and Material, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*; ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2004.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΟΜΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ (SEM) ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (EDX) ΚΑΙ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)

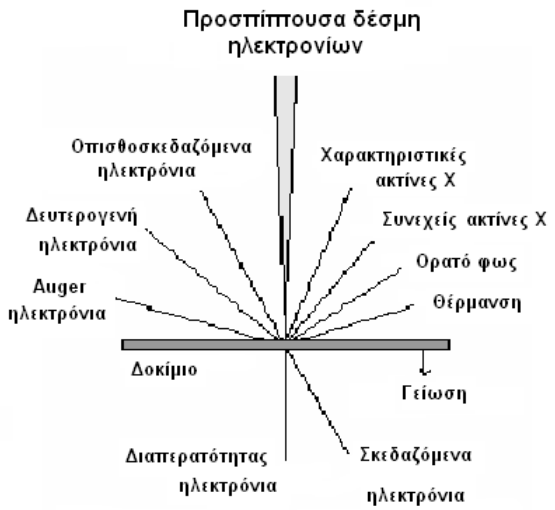
8.1. Θεωρητικό υπόβαθρο

8.1.1. Ανάλυση μεθοδολογίας Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy) αποτελεί μια από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους απεικόνισης και ανάλυσης της μορφολογίας και της μικροδομής των υλικών. Οι τεράστιες δυνατότητες των συγκεκριμένων οργάνων ως προς την ανάλυση δειγμάτων, τα έχουν αναγάγει σε απαραίτητο μέσο σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Η θεμελιώδης αρχή της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης διατυπώθηκε αρχικά από τον Knoll (1935) με το πρώτο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης να κατασκευάζεται λίγα χρόνια αργότερα (1938) από τον von Adrenne [2, 6]. Κατά την διενέργεια μιας τέτοιου τύπου ανάλυσης/σάρωσης, μια καλά εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας εκπέμπεται προς το υπό εξέταση δείγμα ενός υλικού σαρώνοντας (scanning) την επιφάνεια του. Ως αποτέλεσμα αυτής της σάρωσης δημιουργείται πλήθος αλληλεπιδράσεων μεταξύ του ακτινοβολούμενου δείγματος και της δέσμης ηλεκτρονίων από την οποία εντοπίζεται και καταγράφεται ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών σε ότι αφορά στη δομή, το σχήμα, τη σύσταση, την κρυσταλλογραφία και άλλα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του μελετώμενου υλικού (δείγματος) [1-6, 8]. Οι αλληλεπιδράσεις περιλαμβάνουν α) την φόρτιση, δηλαδή την «απόθεση» ηλεκτρονιακού φορτίου στο δείγμα, β) την ελαστική σκέδαση ηλεκτρονίων και γ) την μη ελαστική σκέδαση ηλεκτρονίων (Εικόνα 8.1.1-2) [4].



Εικόνα 8.1.1-1. SEM Hitachi TM3030 Plus 9 (αριστερά), Γενική άποψη διάταξης SEM (δεξιά).



Εικόνα 8.1.1-2. Αλληλεπιδράσεις δέσμης ηλεκτρονίων και υπό σάρωση δείγματος.

Η διάταξη ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (Εικόνα 8.1.1-1) περιλαμβάνει τα κάτωθι [2,4,5,8]:

- Πηγή (electron gun) παραγωγής της απαιτούμενης δέσμης ηλεκτρονίων τάσεως από 0.1 έως 30 keV. Συνήθως στα SEM χρησιμοποιείται νήμα βολφραμίου.
- Σύστημα ηλεκτρομαγνητικών φακών και διαφραγμάτων μέσω των οποίων γίνεται ο σχηματισμός και η εστίαση της δέσμης ηλεκτρονίων για την σάρωση και κατεπέκταση την ανάλυση του δείγματος.
- Σύστημα ανίχνευσής, καταγραφής και μετατροπής των αλληλεπιδράσεων σε εικόνα. Συνήθως στα συστήματα που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων και οι ανιχνευτές ενεργειακής διασποράς ακτίνων-X (EDX).
- Σύστημα δημιουργίας συνθηκών κενού για το σύνολο των υποσυστημάτων του μικροσκοπίου το οποίο επιτρέπει την κίνηση των ηλεκτρονίων εμποδίζοντας την σκέδαση και την απορρόφηση τους από τον αέρα.

8.1.2. Προετοιμασία δειγμάτων

Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή αναλύσεων και χαρακτηρισμού των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου παρουσιάζουν ελάχιστες απαιτήσεις σε ότι αφορά τη διαδικασία προετοιμασίας τους. Σε κάθε περίπτωση η βέλτιστη δυνατή προεργασία σε συνδυασμό με την ορθή χρήση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου οδηγούν όσον αφορά στην απεικόνιση σε αποτελέσματα

υψηλής ποιότητας και ακρίβειας εκ των οποίων μπορούν να προκύψουν πληροφορίες αναφορικά με τα επιμέρους χαρακτηριστικά των υπό μελέτη υλικών.

Η απεικόνιση μέσω ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης προϋποθέτει τα εξεταζόμενα δείγματα (ή τουλάχιστον η επιφάνεια τους) να είναι ηλεκτρικά αγώγιμα. Επιπροσθέτως θα πρέπει να διασφαλίζεται η ηλεκτρική γείωση των εν λόγω υλικών που είναι απαραίτητη, ώστε να αποτραπεί η συσσώρευση ηλεκτροστατικού φορτίου η οποία θα περιορίσει την ποιότητα των απεικονιστικών αποτελεσμάτων της σάρωσης.

Στην περίπτωση που απαιτείται η βελτίωση της αγωγιμότητας των δειγμάτων, εκτός από την επεξεργασία για να αποκτήσουν τα ανωτέρω το κατάλληλο μέγεθος (τεμαχισμός) ώστε να είναι δυνατή η τοποθέτησή τους με ασφάλεια στην υποδοχή του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, πραγματοποιείται επιφανειακή επικάλυψη με ηλεκτρικά αγώγιμα υλικά. Με την εναπόθεση των υλικών αυτών στο δείγμα, είτε μέσω της μεθόδου επίστρωσης χαμηλού κενού ή μέσω της μεθόδου εξάτμισης υπό κενό (συνήθως χρησιμοποιείται χρυσός, γραφίτης ή λευκόχρυσος) επιτυγχάνεται η βελτίωση της ευκρίνειας και της ανάλυσης των εικόνων που θα προκύψουν από τη σάρωση τους μέσω SEM. Σε ότι αφορά στη διαμόρφωση των δειγμάτων μέσω τεμαχισμού σε κατάλληλο μέγεθος ώστε να μπορούν να εισαχθούν εντός του δειγματοφορέα του μηχανήματος δεν απαιτήθηκαν ιδιαίτερες ενέργειες λαμβάνοντας υπόψη ότι, χρησιμοποιήθηκαν τα ήδη θραυσμένα κομμάτια/τμήματα των συνθέτων που προέκυψαν από τις μηχανικές δοκιμές [5, 7, 8]. Μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας του το κάθε δείγμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του SEM. Για την καλύτερη δυνατή στερέωσή του υλικού επί του δειγματοφορέα εφαρμόζεται στην πλευρά του υπό εξέταση υλικού που έρχεται σε επαφή με τη θυρίδα υποδοχής συγκολλητική ταινία. Για ακόμα καλύτερα αποτελέσματα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και αγώγιμη κολλητική ταινία [5].

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κάνοντας χρήση του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) της εταιρίας HITACHI, μοντέλο TM3030 Plus εξοπλισμένο με σύστημα στοιχειακής ανάλυσης δειγμάτων HITACHI, μοντέλο QUANTAX 70. Μέσω του SEM ελήφθη ο απαιτούμενος αριθμός εικόνων για τα σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης, ακόρεστου πολυεστέρα και ρητίνης νεολάκης που επέδειξαν τις βέλτιστες μηχανικές αντοχές βάσει των

αποτελεσμάτων των αντίστοιχών δοκιμών και μέσω του συστήματος μικροανάλυσης ακτίνων X (EDX) μελετήθηκε η δομή και στοιχειακή σύσταση τους.

8.1.3. Αποτελέσματα SEM-Σχολιασμός

Ακολούθως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την σάρωση των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας ER-CDW 30% κ. β. ΑΚΚ, UP-CDW 40% κ. β. ΑΚΚ και N-CDW 30% κ. β. ΑΚΚ κοκκομετρίας 500 μm και 300 μm, οι οποίες αποτελούν τις πιο αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις σε ότι αφορά στην μελέτη των επιμέρους χαρακτηριστικών των υλικών εποξειδική ρητίνη και πολυεστέρα και νεολάκης. Ειδικά σε ότι αφορά στα σύνθετα νεολάκης, εξετάζονται μόνο τα υλικά των οποίων η κατασκευή και κατεπέκταση η μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς κατέστη δυνατή σύμφωνα με τα όσα αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Στην πρώτη κατηγορία υλικών, στα σύνθετα ER-CDW (Εικόνες 8.1.3-1, 8.1.3-2), ο βαθμός διασποράς της σκόνης ΑΚΚ στην ρητίνη είναι αρκετά καλός όπως διαπιστώνεται και από τις σχετικές φωτογραφίες μέσω SEM με πολύ αραιά εμφανιζόμενες συσσωματώσεις επί της μήτρας εποξειδικής ρητίνης που έχει σε όλες τις εικόνες μαύρο χρώμα, ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στοιχείο των συνθέτων πολυμερικών υλικών. Ο βαθμός διασποράς της σκόνης στα σύνθετα όπως προκύπτει από την μελέτη των φωτογραφιών του SEM, βελτιώνεται αισθητά όταν χρησιμοποιηθεί πληρωτικό υλικό μικρότερης κοκκομετρίας. Το γεγονός αυτό αιτιολογεί τις βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες από τις οποίες χαρακτηρίζονται τα υλικά αυτά σε σύγκριση με όλα τα άλλα υλικά που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν. Όλα σύνθετα υλικά ER-CDW χαρακτηρίζονται από την παρουσία σε μικρό βαθμό μικρό-φθορών στην επιφάνειά τους οι οποίες έχουν δημιουργηθεί ως αποτέλεσμα της διαδικασίας απομάκρυνσής τους από το καλούπι κατασκευής. Η συγκεκριμένη διαπίστωση αφορά το σύνολο των εξεταζόμενων συνθέτων υλικών (ER, UP, N) [12]. Ειδικότερα για τα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 6, § 6.5.2.3.2.) λόγω της χρήσης Teflon ως αποκολλητικού μέσου, παρουσιάστηκαν δυσκολίες κατά την απομάκρυνση/αποκόλληση των τελικών δοκιμίων από το καλούπι θερμικής σκλήρυνσής τους. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στις αξιοσημείωτες μηχανικές ιδιότητες των υλικών αυτών που είναι αποτέλεσμα των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εποξειδικής

ρητίνης και πιο συγκεκριμένα της αυξημένης πρόσφυσης που παρουσιάζει όταν χρησιμοποιηθεί επάνω σε συγκεκριμένα υλικά (μέταλλο, γυαλί κλπ). Η παρουσία μικρών επιφανειακών ατελειών σε κάποια δοκίμια αποδίδεται στην τριπλή αλληλεπίδραση μεταξύ καλουπιού, δοκιμίου και αποκολλητικού υλικού, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό του (αποκολλητικού υλικού) μεταξύ των επιφανειών του συνθέτου υλικού και της γυάλινης βάσης της θυρίδας χύτευσης του καλουπιού.

Περνώντας στα σύνθετα UP-CDW (Εικόνες 8.1.3-3 και 8.1.3-4) διαπιστώνεται η σαφώς καλύτερη κατανομή (διασπορά) του υλικού πλήρωσης από ΑΚΚ στο σύνθετο σε σύγκριση με τα αντίστοιχα υλικά που κατασκευάστηκαν με εποξειδική ρητίνη. Η βελτίωση της διασποράς σχετίζεται άμεσα με τον μικρότερο χρόνο σκλήρυνσης που απαιτείται για τα δοκίμια πολυεστέρα ο οποίος ανέρχεται στα 20 λεπτά. Και σε αυτή την κατηγορία συνθέτων, η χρήση υλικού πλήρωσης μικρότερων κοκκομετρικών διαστάσεων οδηγεί στη βελτίωση του βαθμού διασποράς του εισαγόμενου υλικού στην πολυμερική μήτρα και κατεπέκταση στην παραγωγή υλικών βελτιωμένων μηχανικών αντοχών ως προς αυτά που κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας ως μήτρα τον ακόρεστο πολυεστέρα και σκόνη ΑΚΚ μεγαλύτερης κοκκομετρίας. Παρατηρούνται και εδώ αραιές συσσωματώσεις όπως και στα ER-CDW, αλλά σε μικρότερο βαθμό. Τα φαινόμενα συσσωματώσεων είναι αναμενόμενα σε ότι αφορά στα σύνθετα που μελετώνται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Η εμφάνιση τους οφείλεται, στην εισαγωγή υψηλών κ. β. ποσοτήτων σκόνης ΑΚΚ. Αναλυτικότερα, η χρήση αυξημένης ποσότητας πρόσθετου υλικού οδηγεί σε αντιστρόφως ανάλογη μείωση της ποσότητας του πολυμερούς μίγματος περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την διαβρεκτική ικανότητα της ρητίνης, η οποία δεν δύναται πλέον να περικλείσει (να διαβρέξει) τα σωματίδια της εισαγόμενης σε αυτήν σκόνης με αποτέλεσμα, σε κάποια σημεία του δοκιμίου οι κόκκοι να ενώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας μεγαλύτερους κόκκους δηλαδή, συσσωματώσεις. Επιπρόσθετα όπως διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα του SEM, τα ανωτέρω υλικά παρουσιάζουν την μορφολογική δομή των πολυεστερικών υλικών που συνήθως χαρακτηρίζεται από την παρουσία μικροκενών (οπών) επί της επιφάνειας των δοκιμίων [9, 10]. Οι οπές αυτές είναι αποτέλεσμα την έκλυσης πτητικών αερίων και πιο συγκεκριμένα

στυρενίου στην περίπτωση των πολυεστερικών υλικών το οποίο εμπεριέχεται στα επιμέρους συστατικά του πολυμερούς μίγματος και συγκεκριμένα στον σκληρυντή. Με αυτόν τον τρόπο κατά την θερμική επεξεργασία (σκλήρυνση) των συνθέτων, το εμπεριεχόμενο στυρένιο εξατμίζεται (λόγω της πτητικής του ιδιότητας) δημιουργώντας τις αναγκαίες εξόδους διαφυγής πάνω στην επιφάνεια του συνθέτου για την ολοκλήρωση της απαιτούμενης χημικής διεργασίας, δηλαδή της εξάτμισης [11]. Η περιορισμένη ωστόσο κάλυψη της επιφάνειας των υλικών αυτών από την ανωτέρω κατασκευαστική ατέλεια αποδίδεται ενδεχομένως στην χαμηλή περιεκτικότητα στυρενίου του εμπορικού πολυεστέρα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των συγκεκριμένων υλικών. Τα μικροκενά παρατηρήθηκαν υπό μορφή φυσαλίδων και στο εσωτερικό των δοκιμίων κατά την μακροσκοπική παρατήρηση των θραυσμάτων τους. Η παρουσία τους αποδίδεται στον εγκλωβισμό ποσότητας στυρενίου το οποίο δεν κατέστη δυνατό να εξατμιστεί μέσω της παραπάνω αναλυθείσας διαδικασίας οδηγώντας στην ενίσχυση των θερμομονωτικών ιδιοτήτων των υλικών αυτών. Επιπροσθέτως οι εν λόγω κατασκευαστικές ιδιομορφίες στα υλικά UP-CDW αποτελούν τη βασική αιτία ελάττωσης των μηχανικών τους αντοχών. Και εδώ, η μαύρου χρώματος επιφάνεια που απεικονίζεται στις φωτογραφίες του SEM αποτελεί την πολυμερική μήτρα από πολυεστέρα.

Η χρήση κηραλοιφής αποκόλλησης που χρησιμοποιήθηκε σε αντικατάσταση του Teflon, βοήθησε σαφώς την διαδικασία αποκόλλησης των πολυεστερικών δοκιμίων, καθιστώντας την ευκολότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη διαδικασία η οποία έλαβε χώρα στα εποξειδικά. Ο εγκλωβισμός ποσότητας της αποκολλητικής αλοιφής μεταξύ των συνθέτων και των θέσεων χύτευσης/μορφοποίησης του καλουπιού των δοκιμίων είχε και στην περίπτωση των υλικών UP-CDW ως αποτέλεσμα την εμφάνιση επιφανειακών ατελειών που ήταν πιο ευδιάκριτες συγκριτικά με αυτές που παρατηρήθηκαν στις επιφανειακές απεικονίσεις SEM των συνθέτων ER.

Τέλος στα N-CDW (Εικόνες 8.1.3-5 και 8.1.3-6) παρατηρείται καλή διασπορά της σκόνης ΑΚΚ και στα δύο δοκίμια που υποβλήθηκαν σε ανάλυση μέσω Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης, γεγονός που οφείλεται στην στερεά κοκκώδη φύση της ρητίνης νεολάκης και του

πληρωτικού μέσου ΑΚΚ μέσω της οποίας δόθηκε η δυνατότητα της καλύτερης δυνατής ανάμειξης των δύο επιμέρους συστατικών των συνθέτων και την ομοιόμορφη κατανομή τους στα τελικώς παραγόμενα δοκίμια.

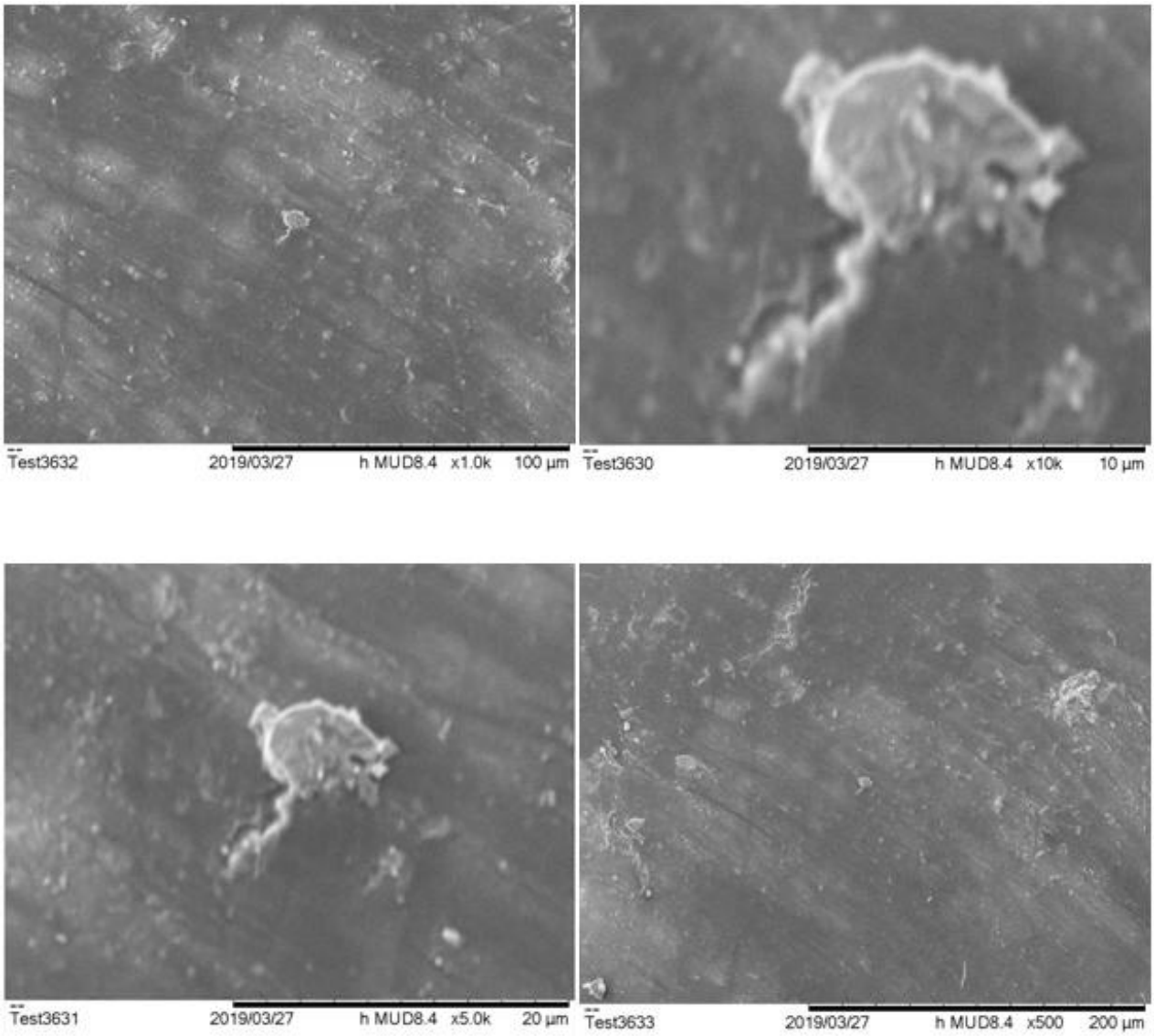
Παρατηρούνται όπως και στις άλλες δύο κατηγορίες υλικών που εξετάστηκαν επιφανειακές ατέλειες όπως μικροκενά, οπές και φθορές η παρουσία των οποίων οφείλεται σε λόγους αντίστοιχους εκείνων που παρουσιάστηκαν προηγούμενα στις αντίστοιχες αναλύσεις για τα σύνθετα ER-CDW και UP-CDW.

Ο βαθμός της επιφανειακής κάλυψης των δοκιμίων από τις ανωτέρω ατέλειες είναι εμφανώς αυξημένος σε σύγκριση με τα UP-CDW, γεγονός που οφείλεται ενδεχομένως στην αύξηση των πτητικών αερίων που εκλύονται ως αποτέλεσμα της διαφορετικής διαδικασίας σκλήρυνσης με την οποία κατασκευάστηκαν τα υλικά αυτά (σκλήρυνση με θερμοσυμπίεση).

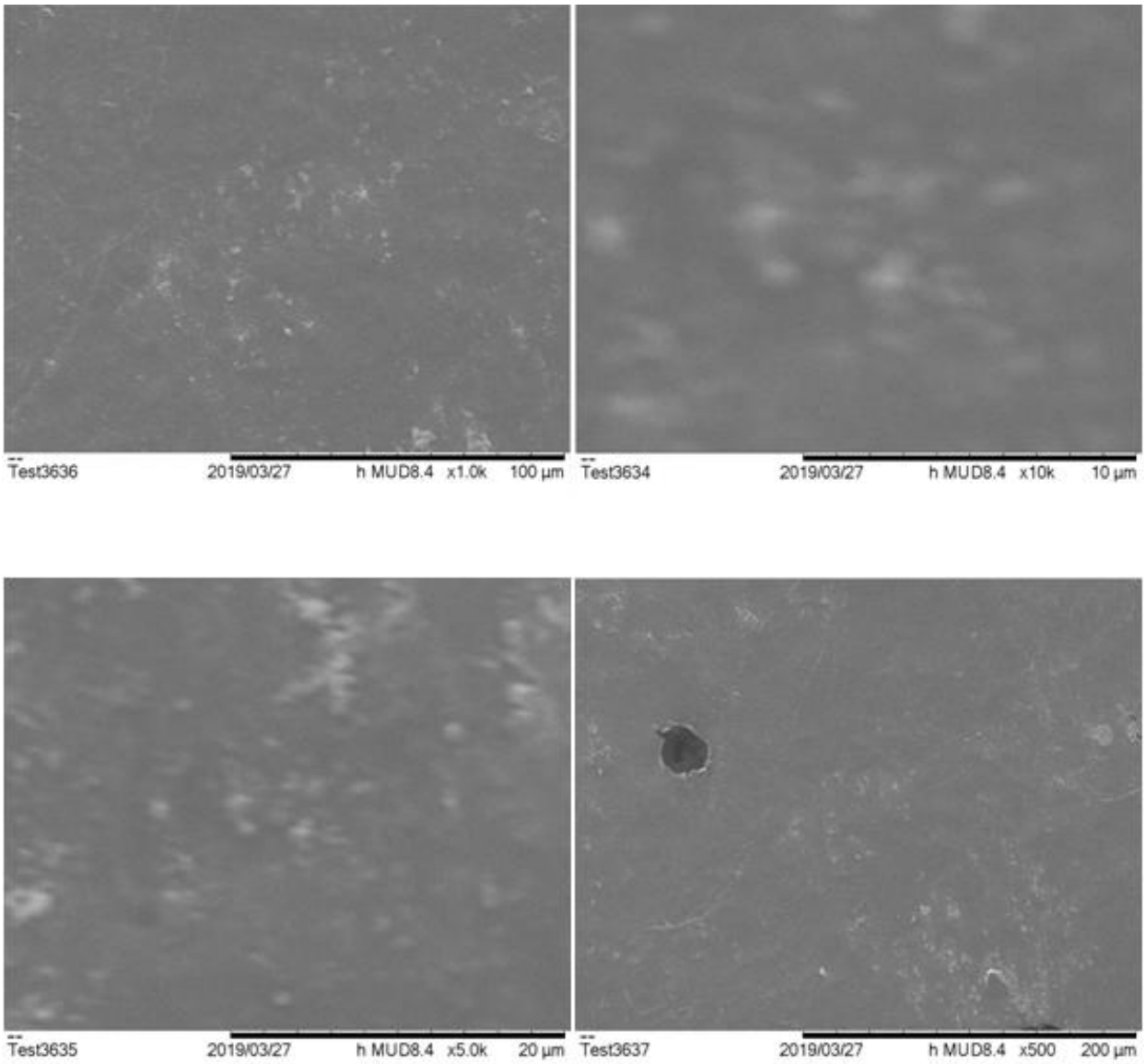
Η μεγαλύτερη κάλυψη της επιφάνειας από οπές που δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν με γυμνό μάτι αποτελεί το βασικό λόγο για τον οποίο, από τα 3 είδη υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, τα N-CDW εμφανίζουν τις πιο περιορισμένες μηχανικές και ταυτοχρόνως τις βέλτιστες θερμομονωτικές ιδιότητες. Η αυξημένη έκλυση αερίων (αμμωνίας στα εν λόγω σύνθετα) και κατεπέκταση η μεγαλύτερη κάλυψη της επιφάνειας από μικροκενά που παρουσιάζουν τα σύνθετα νεολάκης σε σύγκριση με τα αντίστοιχα πολυεστερικά υλικά, επιβεβαιώνεται εκτός των άλλων και από τα αποτελέσματα των μηχανικών αντοχών των υλικών αυτών. Το χαρακτηριστικό μαύρο χρώμα με το οποίο εμφανίζεται στις φωτογραφίες του SEM το μεγαλύτερο μέρος του κάθε δοκιμίου το οποίο αποτελεί τη μήτρα του υπάρχει όπως αναμενόταν και στα σύνθετα υλικά N-CDW.

Εκτός των δοκιμίων υποβλήθηκαν σε σάρωση μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και οι σκόνες ΑΚΚ που χρησιμοποιήθηκαν εισαγόμενες στα δοκίμια ως υλικά πλήρωσης (Εικόνες 8.1.3-7, 8.1.3-8, 8.1.3-9, 8.1.3-10). Μέσω των απεικονίσεων του SEM διαπιστώνεται η ύπαρξη κόκκων διαφόρων και ακαθόριστων σχημάτων και διαφορετικών διαστάσεων που αποδίδεται στην πολυδιασπορά, χαρακτηριστικό των στερεών σωματιδιακών υλικών που προκύπτουν από διαδικασίες τεμαχισμού, διαχωρισμού κλπ [12] όπως αυτές που

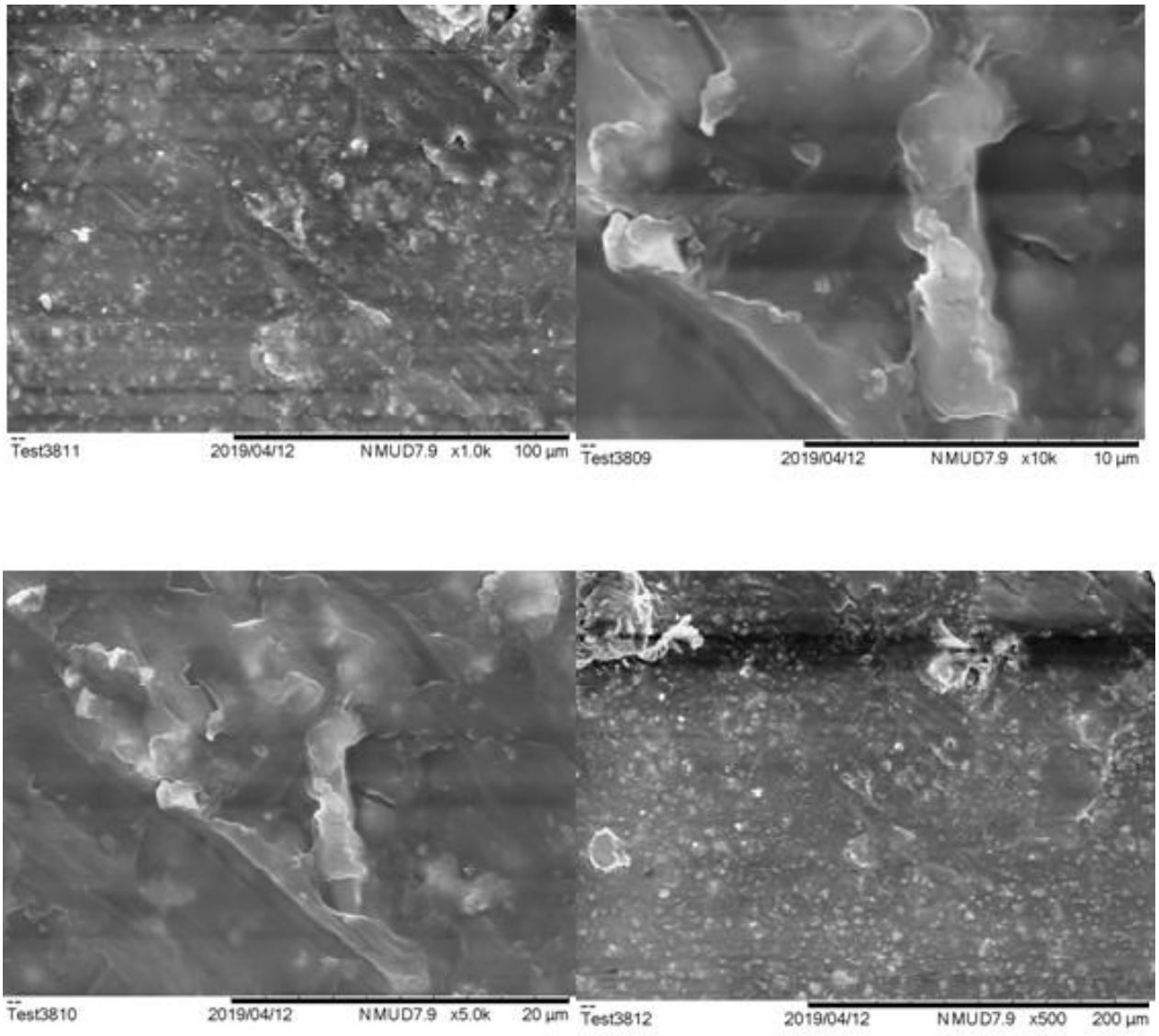
εφαρμόστηκαν για την προετοιμασία των προσθέτων που χρησιμοποιήθηκαν για τις ερευνητικές ανάγκες της διατριβής. Παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στο κέντρο σε όλες τις φωτογραφίες που λήφθηκαν. Το παραπάνω γεγονός οφείλεται στην εισαγωγή και διευθέτηση του πληρωτικού υλικού στο δειγματοφορέα του SEM, το σχήμα και οι διαστάσεις του οποίου «συμπιέζουν» το περιεχόμενο που με τη σειρά του μεταφέρει (μέσω των κόκκων του) την πίεση που δέχεται από τα τοιχώματα του περιέκτη με αποτέλεσμα τη συσσώρευση μέρους του περιεχομένου στο κέντρο της περιοχής σάρωσης.



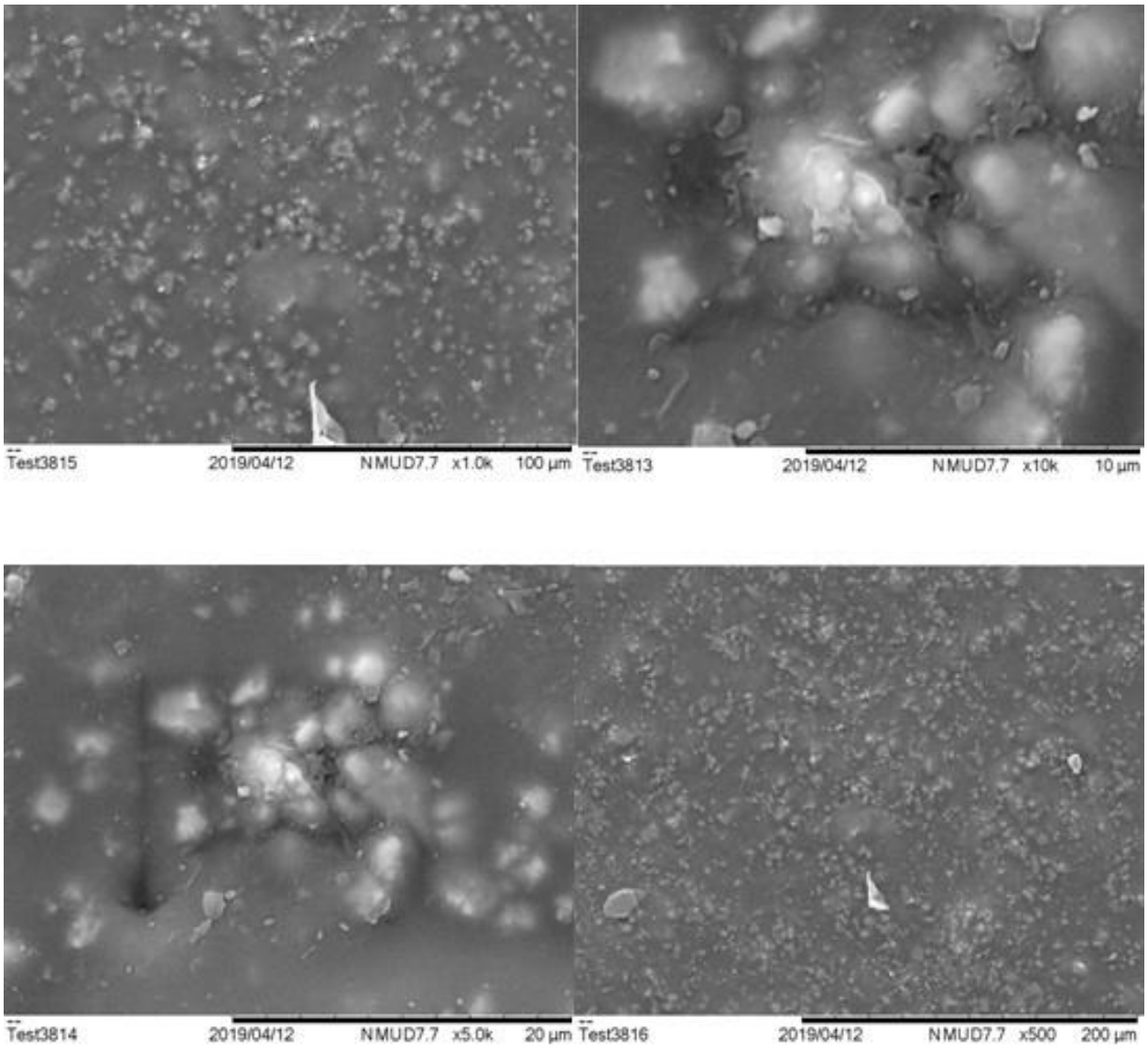
Εικόνα 8.1.3-1. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×500, ×1000, ×5000 και ×10000 για το δοκίμιο ER–CDW30-500μm.



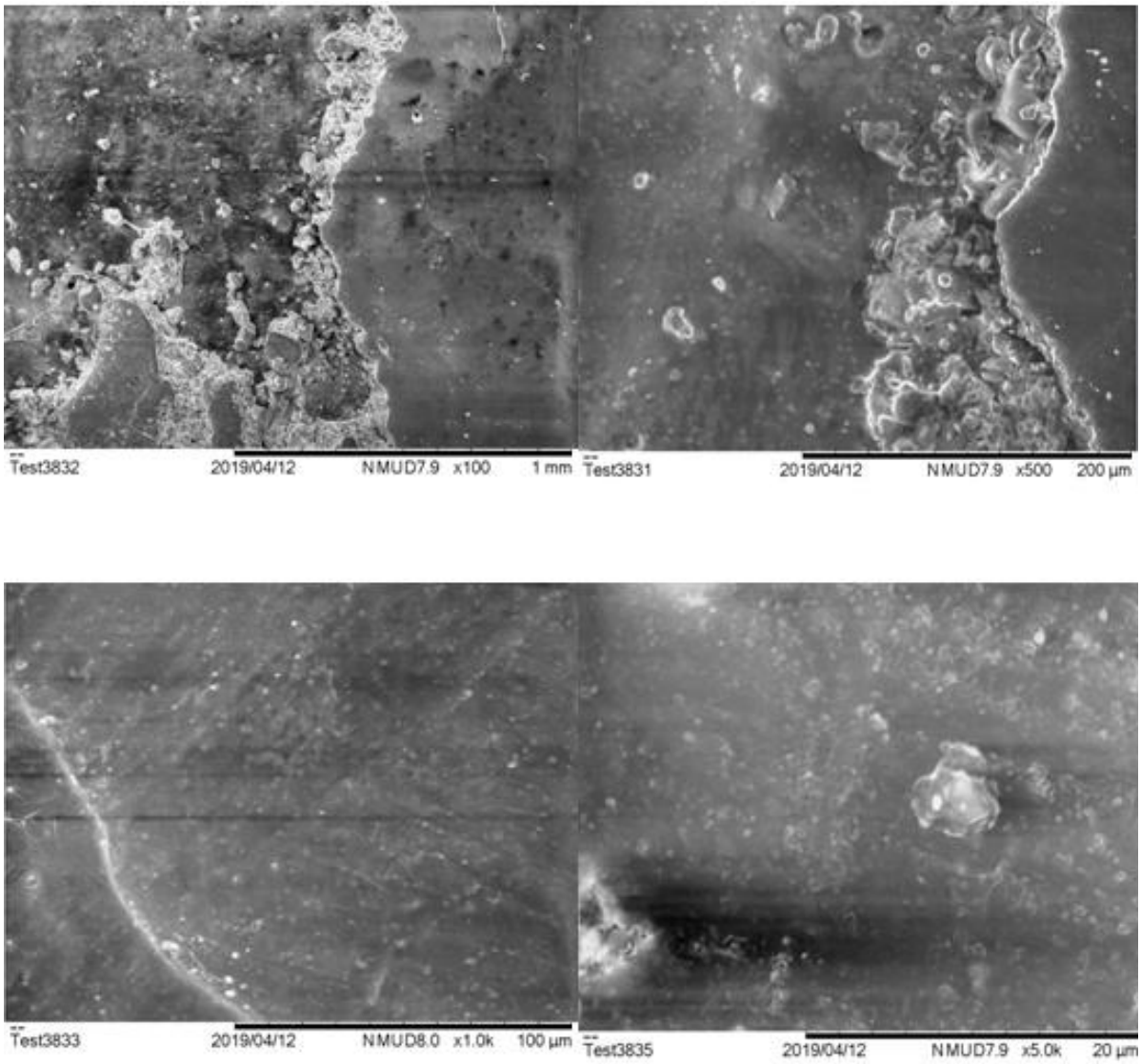
Εικόνα 8.1.3-2 Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×500, ×1000, ×5000 και ×10000 για το δοκίμιο ER–CDW30-300μm.



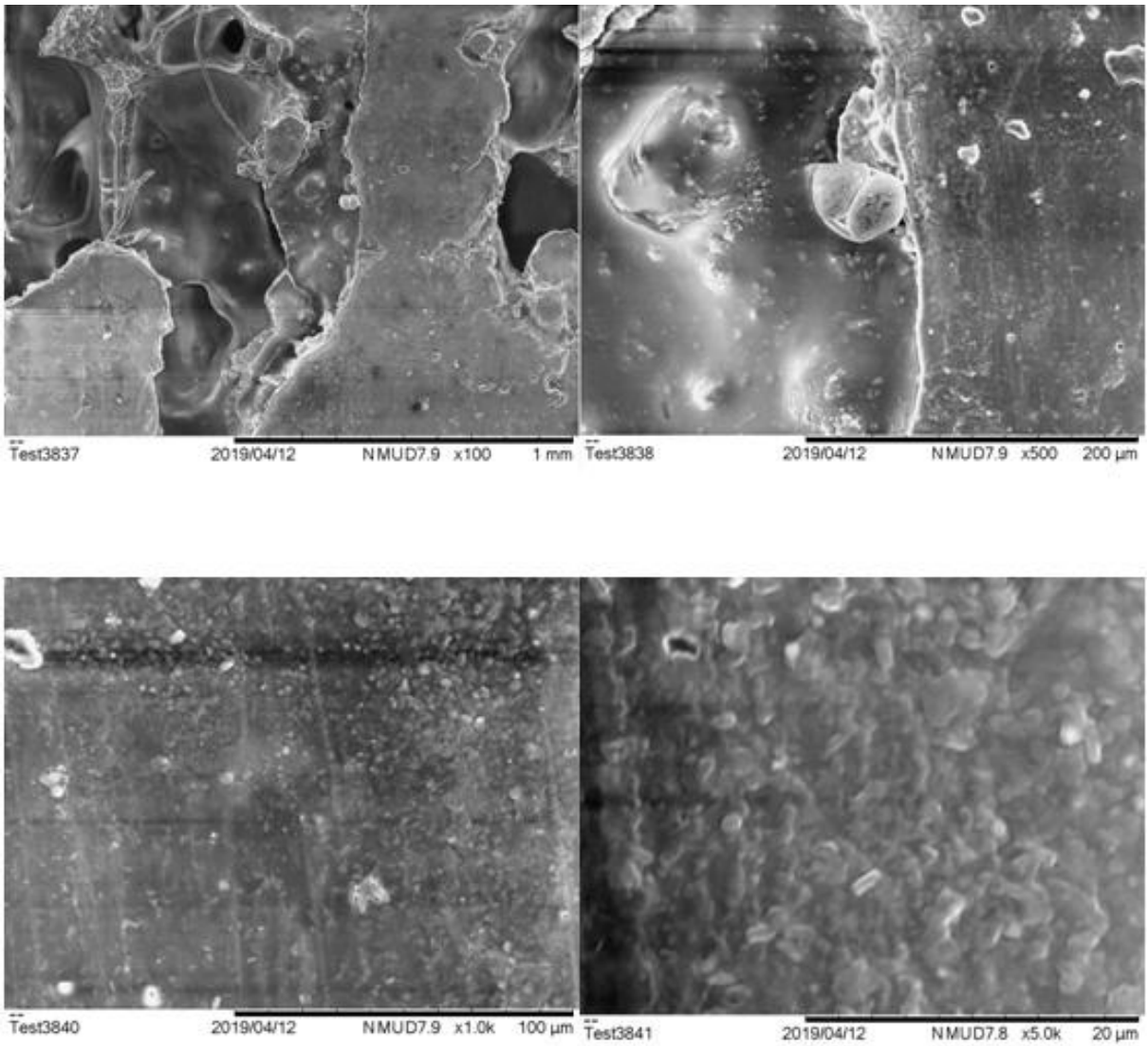
Εικόνα 8.1.3-3. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×500, ×1000, ×5000 και ×10000 για το δοκίμιο UP–CDW40-500μm.



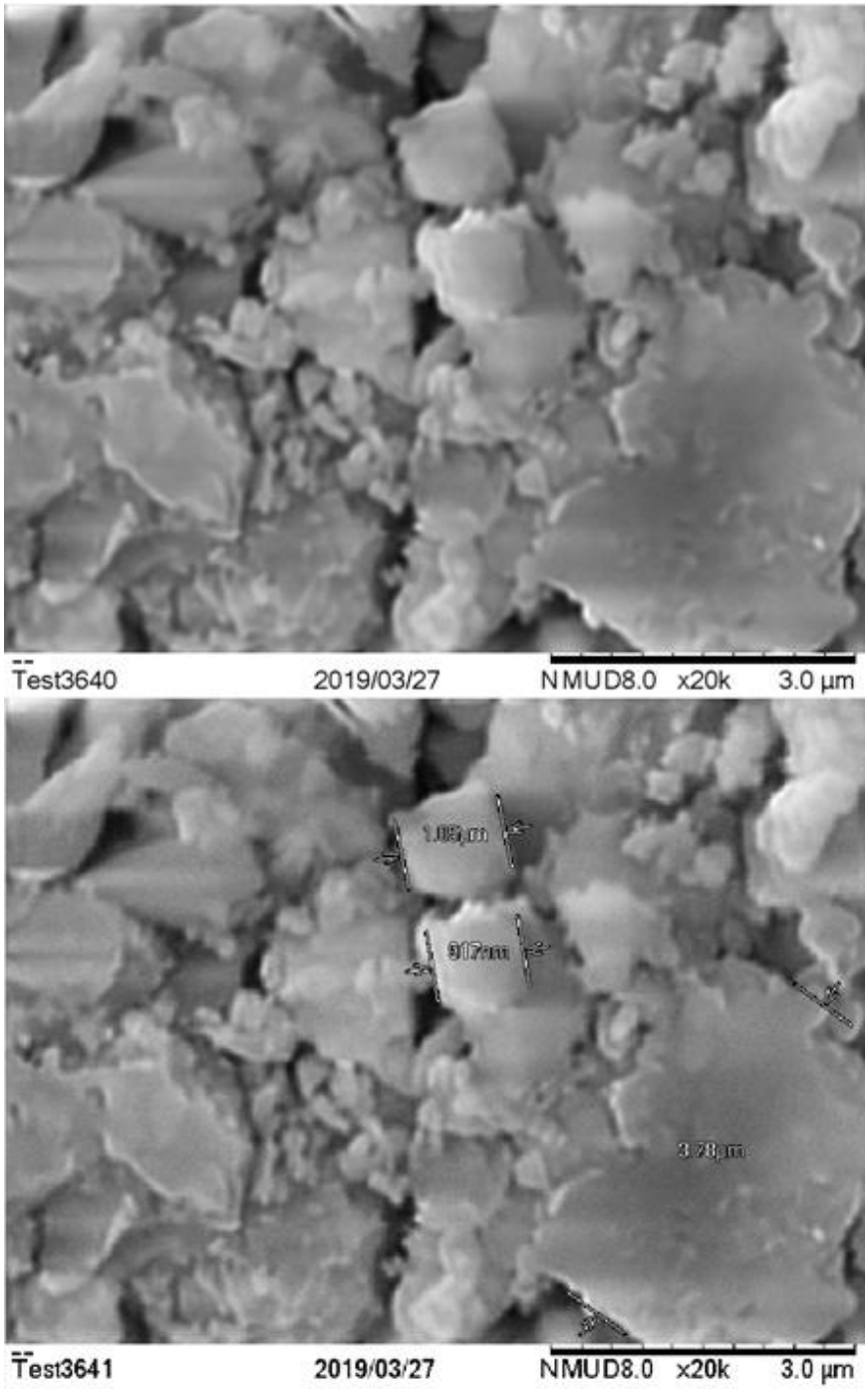
Εικόνα 8.1.3-4. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×500, ×1000, ×5000 και ×10000 για το δοκίμιο UP–CDW40-300μm.



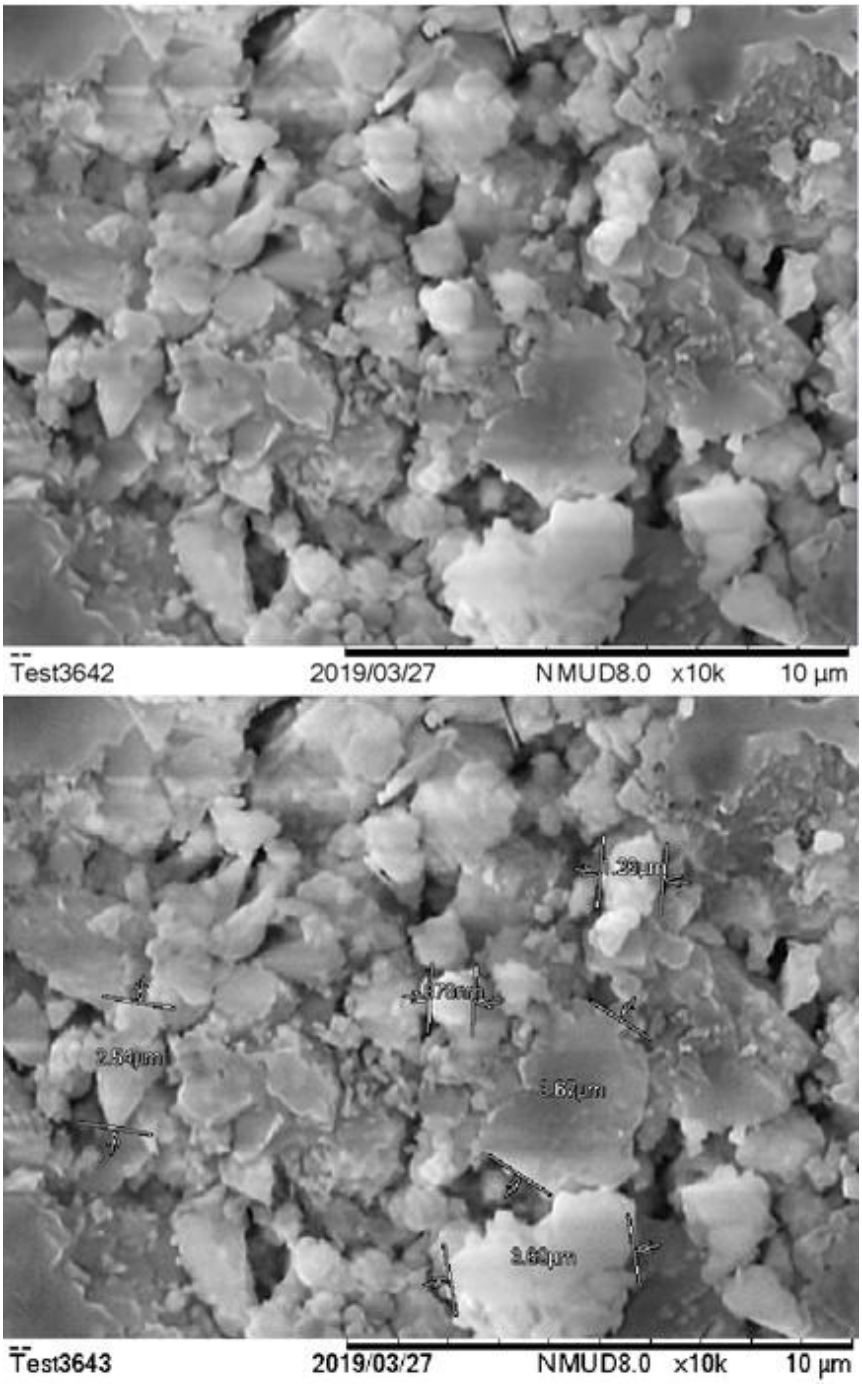
Εικόνα 8.1.3-5. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×100, ×500, ×1000 και ×5000 για το δοκίμιο N–CDW30-500μm.



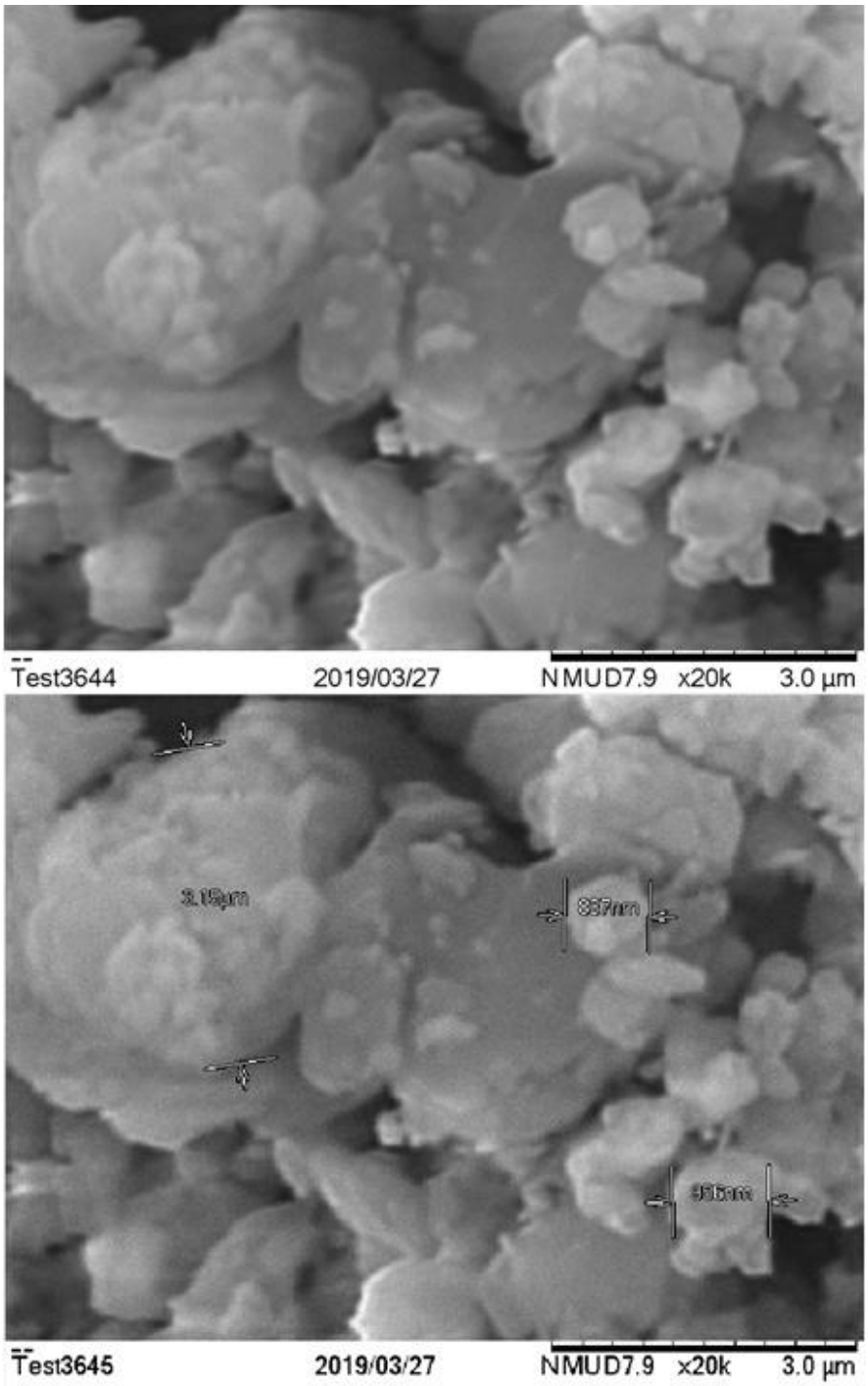
Εικόνα 8.1.3-6. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×100, ×500, ×1000 και ×5000 για το δοκίμιο N–CDW30-300μm.



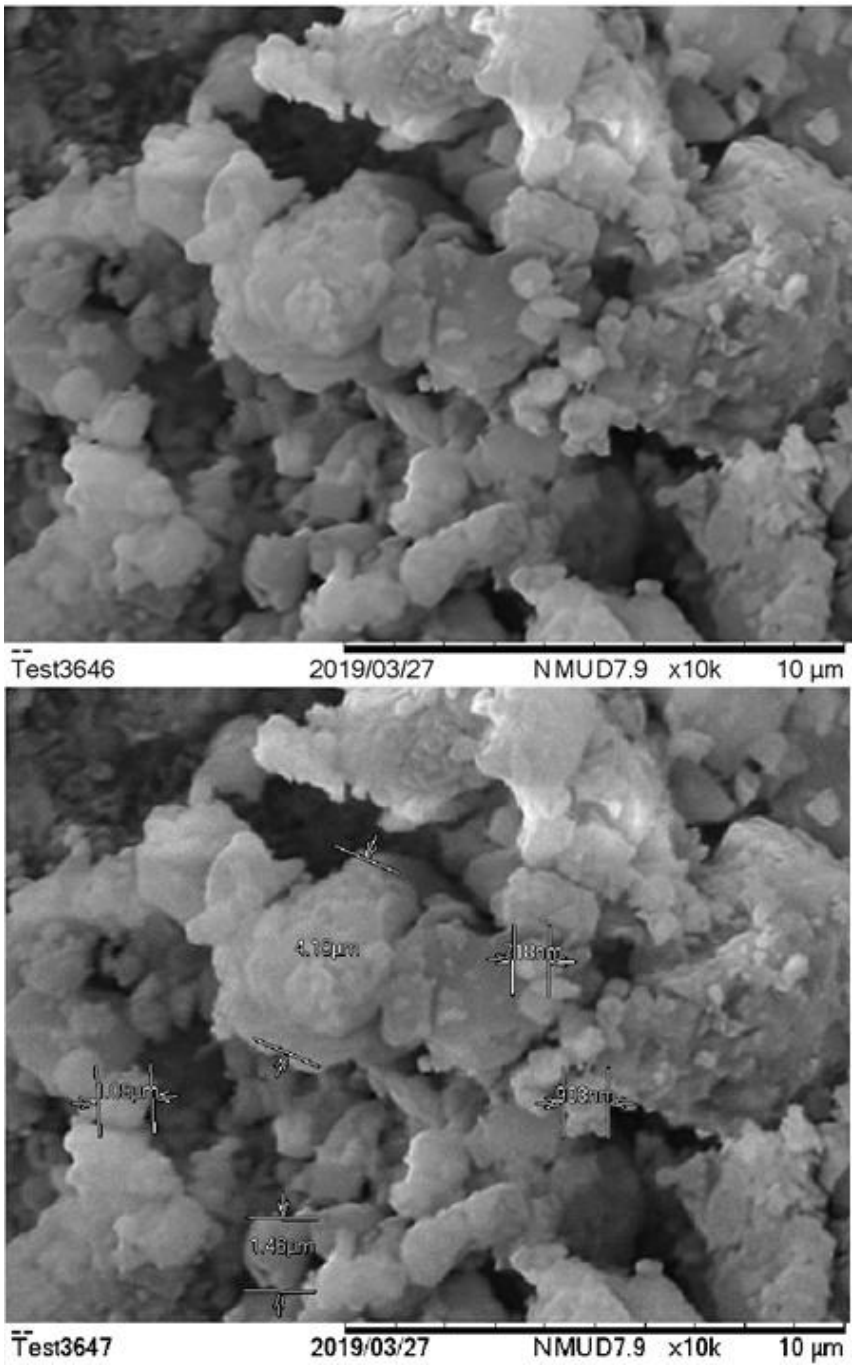
Εικόνα 8.1.3-7. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×20000 για τη σκόνη CDW-500μm.



Εικόνα 8.1.3-8. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×10000 για τη σκόνη CDW-500μm.



Εικόνα 8.1.3-9. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×20000 για τη σκόνη CDW-300μm.



Εικόνα 8.1.3-10. Απεικόνιση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) σε μεγέθυνση ×10000 για τη σκόνη CDW-300μm.

8.1.4. Αποτελέσματα EDX-Σχολιασμός

Τα αποτελέσματα της στοιχειακής ανάλυσης των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας εποξειδικής ρητίνης, ακόρεστου πολυεστέρα και ρητίνης νεολάκης παρατίθενται στα διαγράμματα και τους πίνακες που ακολουθούν. Μέσω των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο διεξαγωγής σημειακής μελέτης της επιφανείας των

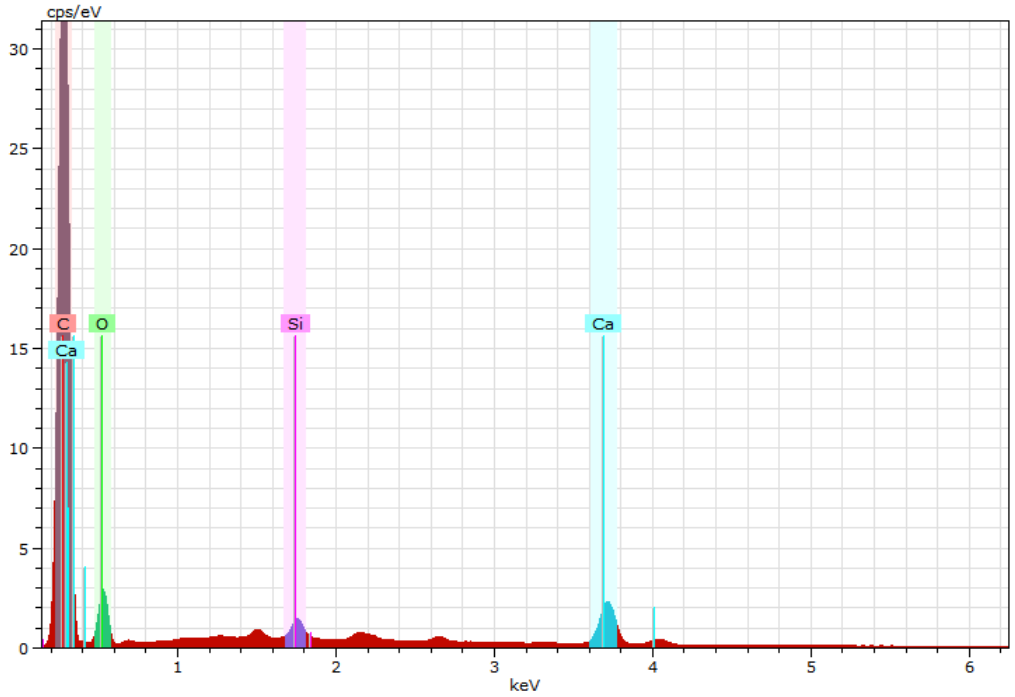
δοκιμίων κάνοντας χρήση του συστήματος μικροανάλυσης ακτίνων X (EDX), ανιχνεύθηκε, ταυτοποιήθηκε και προσδιορίστηκε η ποσοστιαία κατά βάρος ποσότητα του καθενός από τα εμπεριεχόμενα στοιχεία στα υπό εξέταση υλικά.

Η διεξοδική μελέτη των εξεταζόμενων υλικών οδηγεί σε μια σειρά από συμπεράσματα τα οποία και αναλύονται ακολούθως.

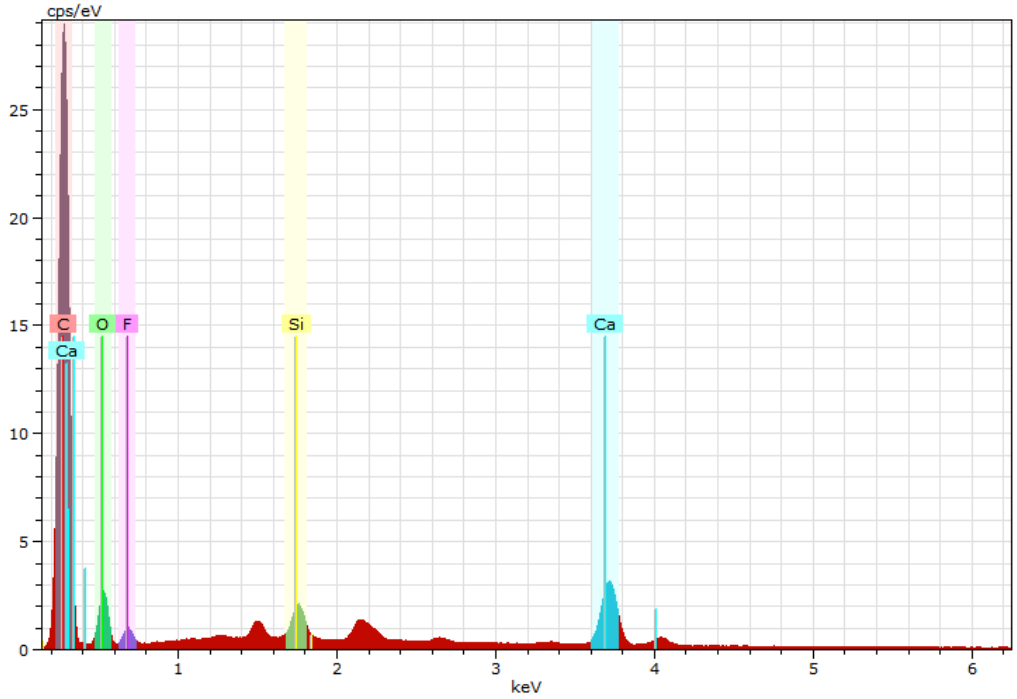
Κυρίαρχα χημικά στοιχεία βάσει της ποσοστιαίας παρουσίας τους στα αναλυθέντα δείγματα των συνθέτων είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ο άνθρακας και το οξυγόνο κάτι που αναμενόταν λόγω της πολυμερικής μήτρας που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των υλικών. Μεταξύ του συνόλου των συστατικών στοιχείων που ανιχνεύθηκαν με τη βοήθεια του EDX το μεγαλύτερο ποσοστό φαίνεται να καταλαμβάνει ο άνθρακας. Εντοπίστηκαν επίσης πυρίτιο και ασβέστιο. Τα προαναφερθέντα αποτελούν βασικά συστατικά στοιχεία των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αρκετών δομικών υλικών (τούβλα, πλακάκια, σοβάδες, μπετόν, τσιμέντο, άμμος κ.α.) από τα οποία συνίστανται κατά βάση τα απόβλητα κατασκευών/επισκευών/ανακαινίσεων και κατεδαφίσεων (ΑΚΚ).

Τα χαμηλά ποσοστά του πυριτίου (0.35% έως 1.66%) και του ασβεστίου (1.60% έως 7.01%) που κατεγράφησαν μέσω της σημειακής σάρωσης των υλικών αυτών είναι ακόμη ένας τρόπος επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων του SEM σχετικά με το βαθμό διασποράς της σκόνης ΑΚΚ στα σύνθετα.

Το γεγονός ότι οι ποσότητες άνθρακα και οξυγόνου μεταβάλλονται όταν αυξάνεται η κατά βάρος ποσότητα της σκόνης πλήρωσης από ΑΚΚ αλλά και στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σκόνη διαφορετικής κοκκομετρίας στα σύνθετα, επιβεβαιώνει στην πράξη μέσω των αποτελεσμάτων το συμπέρασμα που διατυπώθηκε παραπάνω αναφορικά με το ότι η ανίχνευση (στα δοκίμια) των δύο αυτών στοιχείων αποδίδεται στην πολυμερική μήτρα. Με την εισαγωγή της σκόνης ΑΚΚ η ποσότητα της ρητίνης ελαττώνεται επηρεάζοντας ταυτόχρονα την ποσοστιαία συμμετοχή των επιμέρους χημικών στοιχείων από τα οποία συνίσταται, που με τη σειρά τους ελαττώνονται.



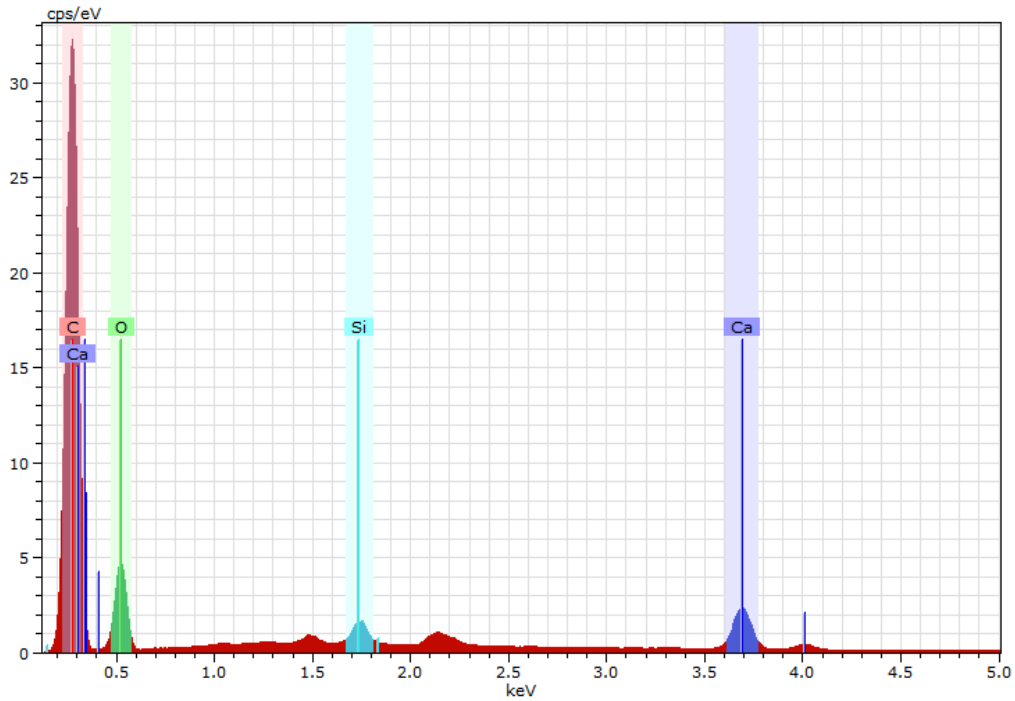
Εικόνα 8.1.4-1. Διάγραμμα EDX για το δοκίμιο ER–CDW30-500μm.



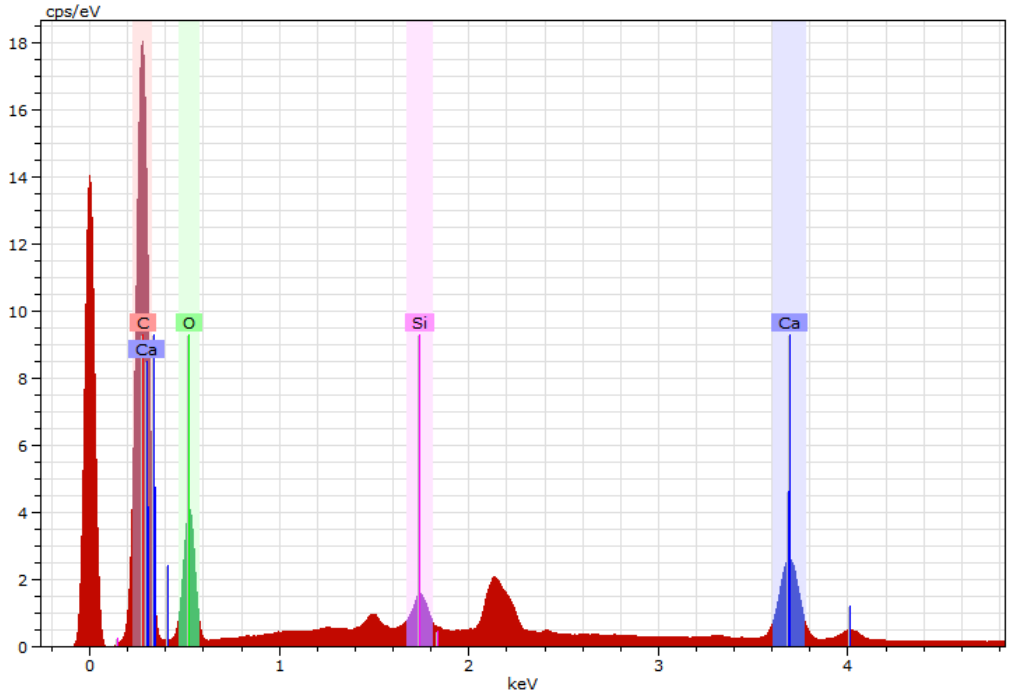
Εικόνα 8.1.4.-2. Διάγραμμα EDX για το δοκίμιο ER–CDW30-300 μm.

Πίνακας 8.1.4-1. Στοιχειακή ανάλυση EDAX δοκιμίων ER-30CDW300 μm και ER-30CDW500 μm.

Σύνθετο Υλικό/Ονομασία	C (wt. %)	O (wt. %)	Ca (wt. %)	Si (wt. %)	Al (wt. %)	Mg (wt. %)	Σύνολο
ER–CDW30-500 μm	77.27	18.18	3.73	0.81	-	-	**100.00**
ER–CDW30-300 μm	73.75	19.03	5.55	1.66	-	-	**100.00**



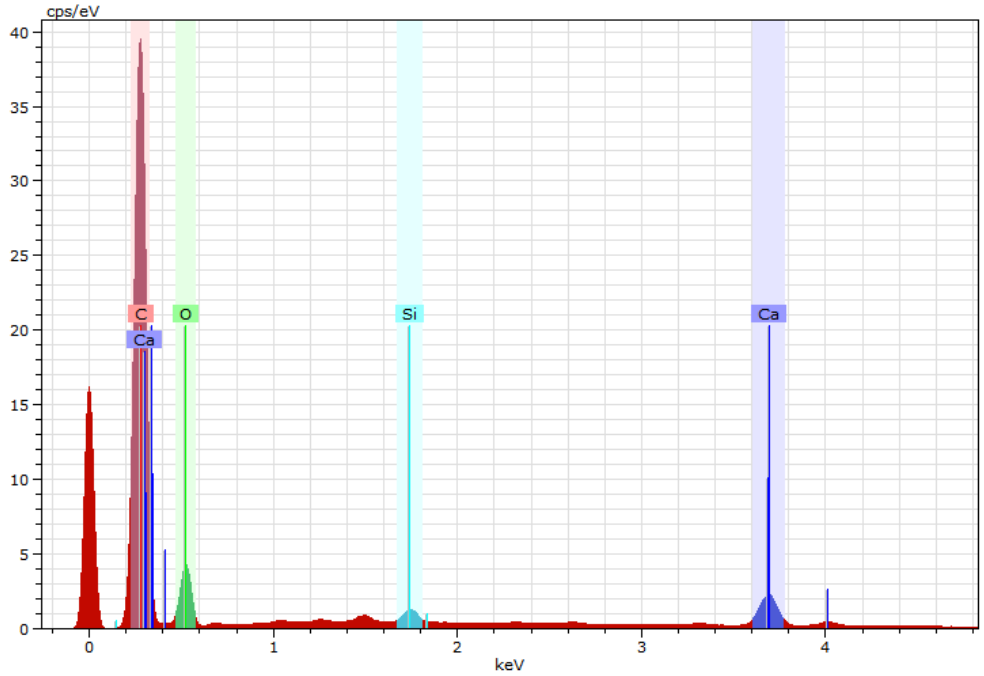
Εικόνα 8.1.4-3. Διάγραμμα EDX για το δοκίμιο UP–CDW40-500 μm.



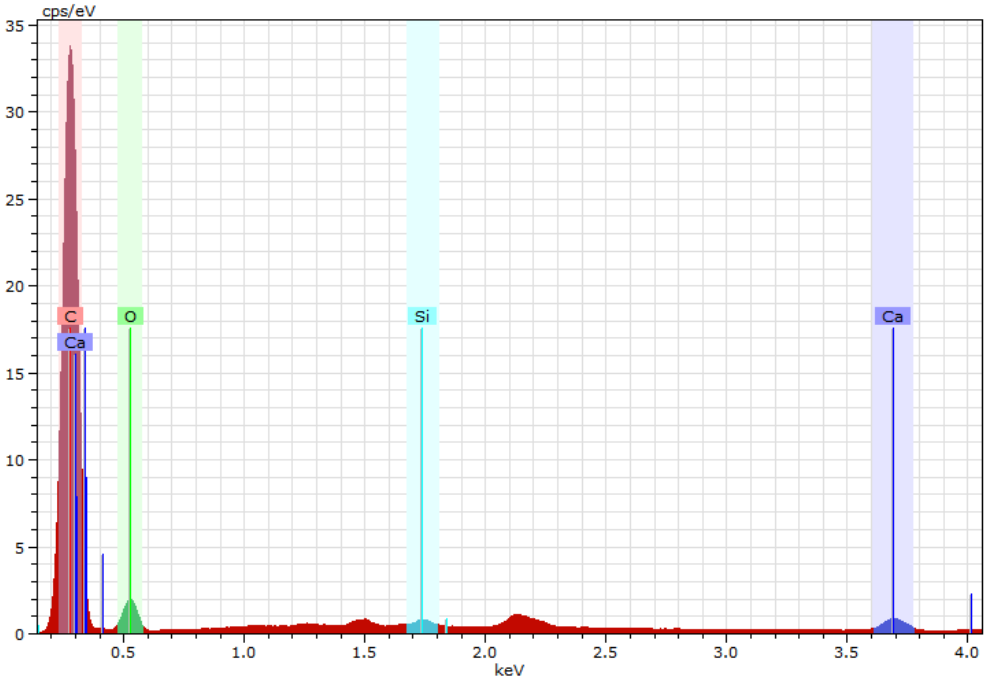
Εικόνα 8.1.4-4. Διάγραμμα EDX για το δοκίμιο UP–CDW40-300μm.

Πίνακας 8.1.4-2. Στοιχειακή ανάλυση EDAX δοκιμίων UP-40CDW300 μm και UP-40CDW500 μm.

Σύνθετο Υλικό/Ονομασία	C (wt. %)	O (wt. %)	Ca (wt. %)	Si (wt. %)	Al (wt. %)	Mg (wt. %)	Σύνολο
UP–CDW40-500 μm	69.08	26.24	3.69	0.99	-	-	**100.00**
UP–CDW40-300 μm	60.57	31.21	7.01	1.21	-	-	**100.00**



Εικόνα 8.1.4-5. Διάγραμμα EDX για το δοκίμιο N–CDW30-500 μm.



Εικόνα 7.1.4-6. Διάγραμμα EDX για το δοκίμιο N–CDW30-300 μm.

Πίνακας 8.1.4-3. Στοιχειακή ανάλυση EDAX δοκιμίων N-30CDW300 μm και N-30CDW500 μm.

Σύνθετο Υλικό/Ονομασία	C (wt. %)	O (wt.%)	Ca (wt.%)	Si (wt.%)	Al (wt.%)	Mg (wt.%)	Σύνολο
N–CDW30-500 μm	72.01	23.75	3.62	0.62	-	-	**100.00**
N–CDW30-300 μm	81.94	16.12	1.60	0.35	-	-	**100.00**

8.2. Θεωρητικό υπόβαθρο

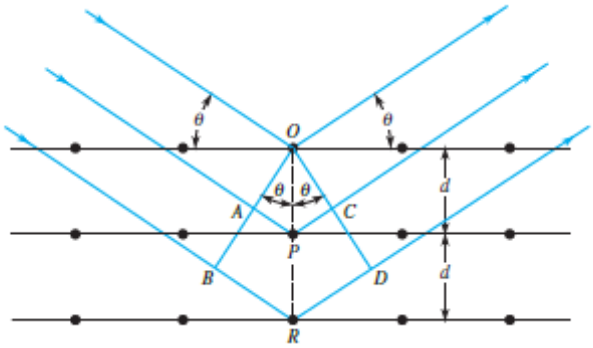
8.2.1. Ανάλυση μεθοδολογίας Περίθλασης Ακτίνων Χ

Η περίθλαση ακτίνων Χ, (X-Ray Diffraction) αποτελεί ένα επιπλέον εργαλείο για την μελέτη της μικρό-δομής των υλικών. Ως τεχνική πρωτοεμφανίζεται μέσω της ανακάλυψης του von Laue ότι οι κρύσταλλοι που υποβάλλονται σε εκπομπή ακτίνων Χ έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν μέρος αυτής προς διάφορες διευθύνσεις μέσω του φαινομένου της περίθλασης. Η φασματοσκοπική απεικόνιση που προκύπτει αποκαλύπτει στοιχεία σχετικά με την κρυσταλλική δομή, μοναδικά για κάθε κρύσταλλο [3, 13, 14]. Ο προσδιορισμός της δομής των κρυστάλλων αποτέλεσε την αποκλειστική εφαρμογή της τεχνικής αρχικά. Η τεχνολογική εξέλιξη οδήγησε στην αξιοποίηση της και σε άλλους τομείς μέσω της ανάπτυξης νέων εφαρμογών με αποτέλεσμα η χρήση της να επεκταθεί, εκτός από την μελέτη και τον προσδιορισμό της δομής και στην επίλυση πιο σύνθετων ζητημάτων αναφορικά με την χημική ανάλυση, τον προσδιορισμό του μεγέθους των σωματιδίων των υλικών και ποικίλες άλλες εφαρμογές [14].

Σε αντιστοιχία με άλλες μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όταν οι ακτίνες Χ διαπεράσουν τη δείγμα ενός υλικού, η αλληλεπίδραση της εκπεμπόμενης δέσμης ακτίνων με τα άτομα του ακτινοβολούμενου αντικειμένου προκαλούν τη σκέδασή των ηλεκτρονίων (της δέσμης) προς διάφορες διευθύνσεις. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται περίθλαση και είναι αποτέλεσμα της σκέδασης των ακτίνων μέσω της κρυσταλλικής δομής του υπό ακτινοβόληση υλικού [3,15].

Κατά τον Bragg ($n\lambda=2d\sin\theta$) ο οποίος μελέτησε περαιτέρω τα φαινόμενα περίθλασης, όταν μια δέσμη ακτίνων Χ προσκρούει σε μια επιφάνεια υπό γωνία πρόσπτωσης θ, μέρος αυτής της δέσμης σκεδάζεται από το επιφανειακό στρώμα των ατόμων της. Στη συνέχεια το μη σκεδαζόμενο μέρος της ακτινοβολίας εισχωρεί στο επόμενο στρώμα όπου και πάλι μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο εν λόγω στρώμα, σκεδάζεται από την επιφάνεια και μέρος της εισχωρεί διαδοχικά στα επόμενα στρώματα του υλικού (Εικόνα 8.2.1-1) ακολουθώντας την ίδια διαδικασία. Προϋπόθεση για την περίθλαση αποτελεί η ικανοποίηση της σχέσης $n\lambda=2d\sin\theta$ (νόμος του Bragg) και επίσης απαιτείται η απόσταση μεταξύ των

στρωμάτων των ατόμων να είναι περίπου ίδια με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και τα κέντρα διασποράς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να είναι σε ότι αφορά στην απόσταση μεταξύ αυτών τακτικά κατανεμημένα.



Εικόνα 8.2.1-1. Περίθλαση Ακτίνων Χ μέσω κρυσταλλικού υλικού [3].

Η διάταξη ενός περιθλασίμετρου (Εικόνα 8.2.1-2) περιλαμβάνει [15]:

- Πηγή ακτίνων Χ (περιλαμβάνει ηλεκτρικό σύστημα υψηλής τάσης από 35-50 kV και λυχνία ακτίνων Χ),
- Τράπεζα δείγματος
- Αισθητήρα-μετρητή (περιλαμβάνει γωνιόμετρο δύο κύκλων θ, 2θ με κοινό άξονα περιστροφής, κινητήρα κύκλων, μετρητική διάταξη),
- Σύστημα μετατροπής ηλεκτρικού σήματος σε ψηφιακό και συνδεόμενο Η/Υ

Τα αυτόματου τύπου περιθλασίμετρα, παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου των παραμέτρων λειτουργίας όπως η τάση και ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, η ταχύτητα γωνιομέτρου, η ευαισθησία κλπ. Σημαντική παράμετρος που ορίζεται από τον χειριστή μηχανήματος στο πλαίσιο και τις απαιτήσεις της κάθε μελέτης και κυρίως του μελετώμενου υλικού αποτελεί το εύρος της γωνίας σε μοίρες, εντός του οποίου θα πραγματοποιηθούν οι αναλύσεις. Κατόπιν ολοκλήρωσης των σχετικών ρυθμίσεων σειρά έχει η διαδικασία ελέγχου ακριβούς λειτουργίας του οργάνου (calibration). Οι γωνίες ανάκλασης και η ένταση των ακτίνων Χ των κρυσταλλικών επιπέδων καταγράφονται μέσω του αισθητήρα-μετρητή του περιθλασίμετρου [15].

Εικόνα 8.2.1-3. Siemens D 5000 X-Ray Diffractometer.

8.2.2. Προετοιμασία δειγμάτων

Όπως και στην ανάλυση μέσω της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, έτσι κι εδώ υπεβλήθησαν σε XRD τα πιο αντιπροσωπευτικά δείγματα συνθέτων εποξειδικής ρητίνης, ακόρεστου πολυεστέρα και νεολάκης, ήτοι ER-CDW 30% κ. β. ΑΚΚ, UP-CDW 40% κ. β. ΑΚΚ και N-CDW 30% κ. β. ΑΚΚ κοκκομετρίας 500 μm και 300 μm.

Η ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση των επιμέρους φάσεων των ανωτέρω συνθέτων υλικών πραγματοποιήθηκαν μέσω της εργαστηριακής διάταξης XRD μοντέλο D5000 X-Ray Diffractometer (Εικόνα 7.2.1-3) της εταιρίας SIEMENS η οποία είναι εξοπλισμένη με πηγή Cu Ka (λ=0.15406nm) και με το λογισμικό CRYSTALLOGRAPHICA της εταιρίας OXFORD CRYOSYSTEMS. Αρχικά αποσκοπώντας στον προσδιορισμό του εύρους εντός του οποίου παρατηρούνται οξείες κορυφές, τα δυο δείγματα της σκόνης (300 μm και 500 μm) υπεβλήθησαν σε ακτινοβόληση για γωνίες 5°≥2θ≥90°. Από τη διαδικασία αυτή διαπιστώθηκε

πως και για τις δυο σκόνες δεν παρατηρούνται οξείες κορυφές για γωνίες μεγαλύτερες των 70°. Κατά συνέπεια το εύρος ακτινοβόλησης περιορίστηκε μεταξύ 5° και 70°. Η ταχύτητα σάρωσης ορίστηκε σε (time step) σε 0.04°/sec.

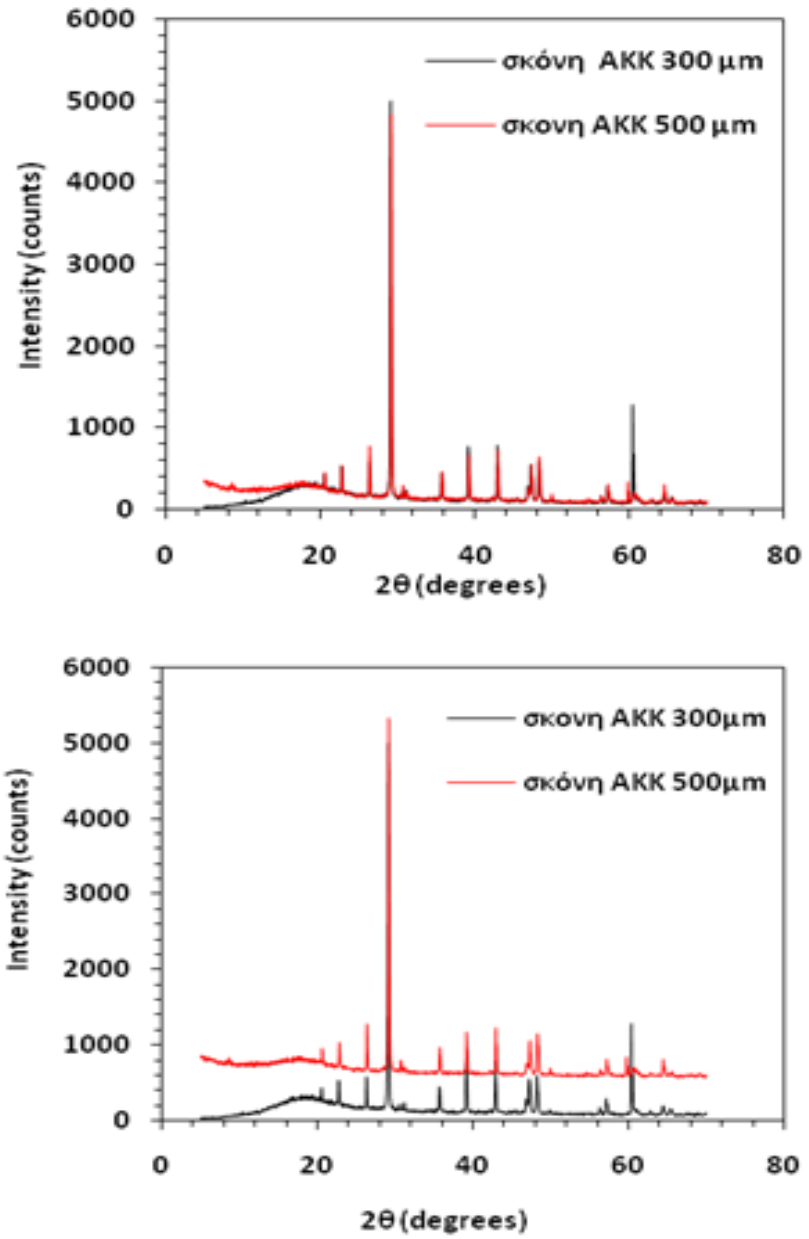
Για τις ανάγκες του XRD χρησιμοποιήθηκαν όπως και στο SEM ήδη θραυσμένα κομμάτια/τμήματα από τα σύνθετα, τα οποία αποθηκεύτηκαν μετά την ολοκλήρωση της έρευνας των μηχανικών αντοχών. Αναφορικά με την ανάλυση των υλικών πλήρωσης λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις (του δειγματοφορέα) τοποθετήθηκε στη θυρίδα του επί του μηχανήματος επαρκής ποσότητα σκόνης ΑΚΚ για την πραγματοποίηση ανάλυσης. Μετά την ολοκλήρωση της σάρωσης του κάθε δείγματος οι επιφάνειες του δειγματοφορέα απολυμαίνονταν σχολαστικά με ακετόνη όπως και στην περίπτωση των καλουπιών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των δοκιμίων.

8.2.3. Αποτελέσματα XRD-Σχολιασμός

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω περίθλασης ακτίνων Χ (XRD) των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας και των δυο σκονών ΑΚΚ που χρησιμοποιήθηκαν ως πληρωτικό υλικό στα υπό μελέτη υλικά, παρουσιάζονται ακολούθως στις Εικόνες 8.2.3-1, 8.2.3-2, 8.2.3-3, 8.2.3-4 και 8.2.3-5. Σε σάρωση μέσω της μεθόδου αυτής υπεβλήθησαν δείγματα των υλικών που εξετάστηκαν μέσω SEM και τα αποτελέσματα των οποίων αναλύθηκαν στην παράγραφο 8.1.3.

Από τις εικόνες 8.2.3-1 και 8.2.3-2 τα ακτινοδιαγράμματα των οποίων προέκυψαν από την ανάλυση των δυο σκονών διαφορετικής κοκκομετρίας από ΑΚΚ διαπιστώνεται ότι, τα δύο δείγματα εμφανίζουν οξείες κορυφές στα ίδια ακριβώς επίπεδα με μικροδιαφοροποιήσεις σε ότι αφορά στην ένταση στην οποία ταυτοποιούνται οι κορυφές αυτές σε κάθε μία από τις σκόνες. Οι μέγιστες τιμές (οξείες κορυφές) που κατεγράφησαν από την ακτινοβόληση των δειγμάτων για εύρος ακτινοβόλησης από 5° έως 70° παρατηρούνται στις γωνίες 22.70°, 29.10°, 39.10°, 42.84°, 47.20°, 48.16°, 56.91°, 60.34° οι οποίες αντιστοιχούν στα κρυσταλλικά επίπεδα (012), (104), (113), (202), (024), (116), (211) και (214) του ασβεστίτη ή ανθρακικού ασβεστίου ($CaCO_3$) [16]. Αντιστοίχως στις γωνίες 20.46°, 26.30°, 35.65°, 38.32°,

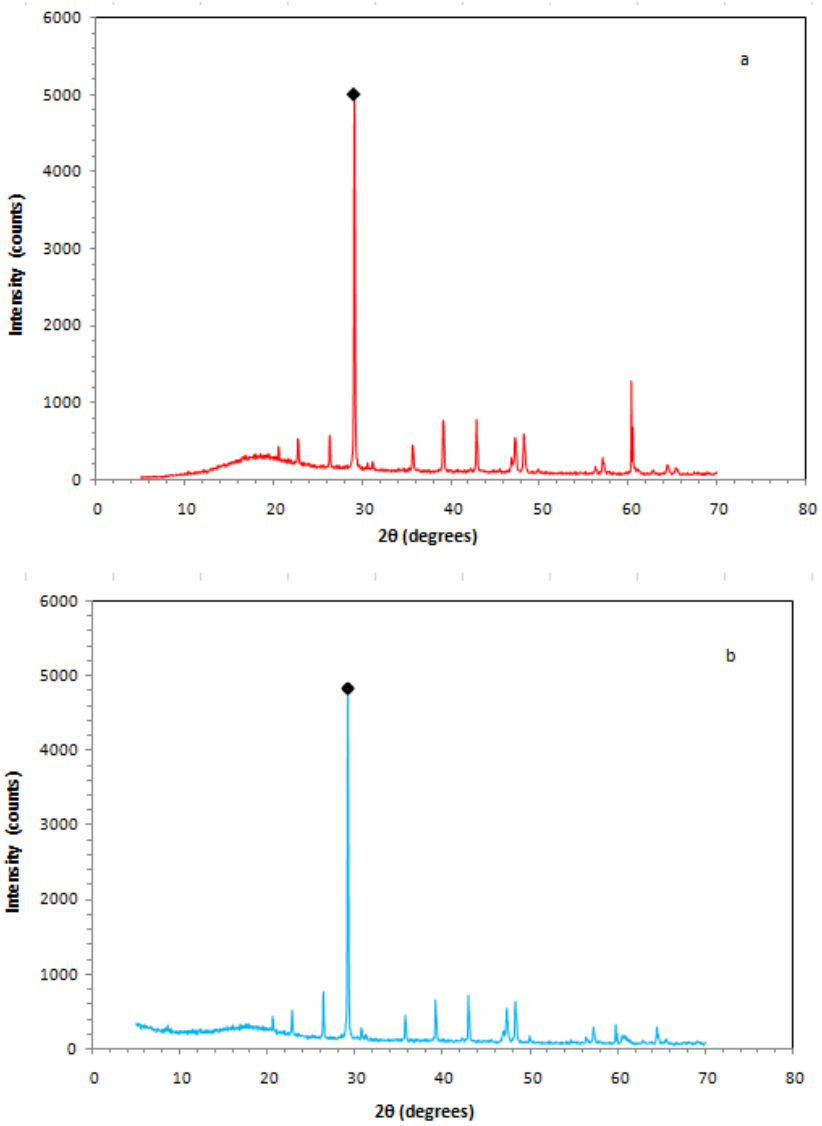
44.48°, 49.47°, 57.71° παρατηρούνται οι κρυσταλλικές κορυφές των επιπέδων (100), (101), (110), (102), (201), (112) και (211) του χαλαζία ή οξειδίου το πυριτίου (SiO_2) [17].



Εικόνα 8.2.3-1. Ακτινογραφήματα XRD σκονών ΑΚΚ που χρησιμοποιήθηκαν ως πληρωτικό μέσο στα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας.

Ο εντοπισμός και ταυτοποίηση των συγκεκριμένων κρυσταλλικών φάσεων επαληθεύει τα αποτελέσματα της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης όπως ήταν αναμενόμενο αφού τα στοιχεία πυρίτιο και ασβέστιο που ανιχνεύθηκαν μέσω του EDX αποτελούν τα βασικά συστατικά στοιχεία των εδαφικών πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως βασικές πρώτες ύλες στην κατασκευή πληθώρας δομικών υλικών.

Η μεγαλύτερη οξεία κορυφή εμφανίζεται στα ακτινογραφήματα για 2θ=29.10° στο επίπεδο (104) και αποδίδεται στην κρυσταλλική φάση του ανθρακικού ασβεστίου η οποία βάσει των αποτελεσμάτων είναι η επικρατούσα κρυσταλλική φάση που εντοπίζεται και στις δυο σκόνες πλήρωσης που χρησιμοποιήθηκαν στα σύνθετα.



Εικόνα 8.2.3-2. Ακτινογραφήματα XRD σκονών a) 300 μm b) 500 μm. Με ρόμβο επισημαίνεται η γωνία 2θ=29.1°(κρυσταλλική φάση του ασβεστίτη).

Οι εντάσεις εμφάνισης της πλειοψηφίας των χαρακτηριστικών κορυφών της σκόνης ΑΚΚ 300 μm (Εικόνα 8.2.3-1 πάνω) είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές εντάσεων που κατεγράφησαν κατά την ακτινοβόληση της σκόνης 500 μm όπως διαπιστώνεται από την εξέταση των σχετικών ακτινοδιαγραμμάτων. Εκ των ανωτέρω εξάγεται το συμπέρασμα ότι, η ταυτοποίηση των χαρακτηριστικών κορυφών του δείγματος του υλικού πλήρωσης μικρότερης κοκκομετρίας (300 μm) απαιτεί ακτινοβόληση υψηλότερης έντασης μέσω του

XRD για να υλοποιηθεί, γεγονός που είναι αναμενόμενο λαμβάνοντας υπόψη ότι η για να επιτευχθεί διείσδυση σε σωμάτια μικρότερου μεγέθους χρειάζεται επιπλέον ενέργεια η οποία στην περίπτωση της περίθλασης ακτίνων παρέχεται μέσω της ακτινοβολίας.

Εστιάζοντας στην υψηλότερης έντασης κορυφή η οποία αποδίδεται στην επικρατούσα κρυσταλλική φάση του υλικού πλήρωσης που όπως προαναφέρθηκε είναι το ανθρακικό ασβέστιο παρατηρείται αυτό που μόλις αναλύθηκε στην παραπάνω παράγραφο.

Σε ότι αφορά στα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ διαπιστώνονται από τα σχετικά ακτινοδιαγράμματα (Εικόνες 8.2.3-3, 8.2.3-4 και 8.2.3-5) τα ακόλουθα:

Η πλειοψηφία των ακτινοδιαγραμμάτων χαρακτηρίζεται από την παρουσία σε αυτά δύο διακριτών φάσεων, την κρυσταλλική φάση η ύπαρξη της οποίας οφείλεται στην κρυσταλλική φύση της σκόνης που χρησιμοποιήθηκε ως υλικό πλήρωσης στα σύνθετα και την άμορφη φάση η οποία είναι αποτέλεσμα της χρήσης της ρητίνης ως μήτρα στα σύνθετα. Πιο συγκεκριμένα οι οξείες κορυφές των ακτινογραφημάτων αντιστοιχούν στην κρυσταλλική φάση του κάθε συνθέτου ενώ οι ευρείες κορυφές αποδίδονται αντιστοίχως στην άμορφη φάση αυτού και για το σύνολο των υλικών που μελετήθηκαν εμφανίζονται για γωνίες 2θ μικρότερες των 30°. Οι τιμές των γωνιών 2θ στις οποίες εμφανίζεται σε κάθε σύνθετο η μέγιστη ευρεία κορυφή της αμόρφου φάσης του συνθέτου παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.3-1. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα στα ER-CDW30-500μm η άμορφη φάση τοποθετείται κατά προσέγγιση στις 17.74° ενώ για τα αντίστοιχα στα ER-CDW30-300μm η γωνία ταυτοποίησης της πολυμερούς άμορφης φάσης δηλαδή της μήτρας πρακτικά εξαφανίζεται εξαιτίας της υψηλής έντασης που απαιτείται για την αποτύπωση της υψηλής κορυφής της κρυσταλλικής φάσης του συγκεκριμένου συνθέτου.

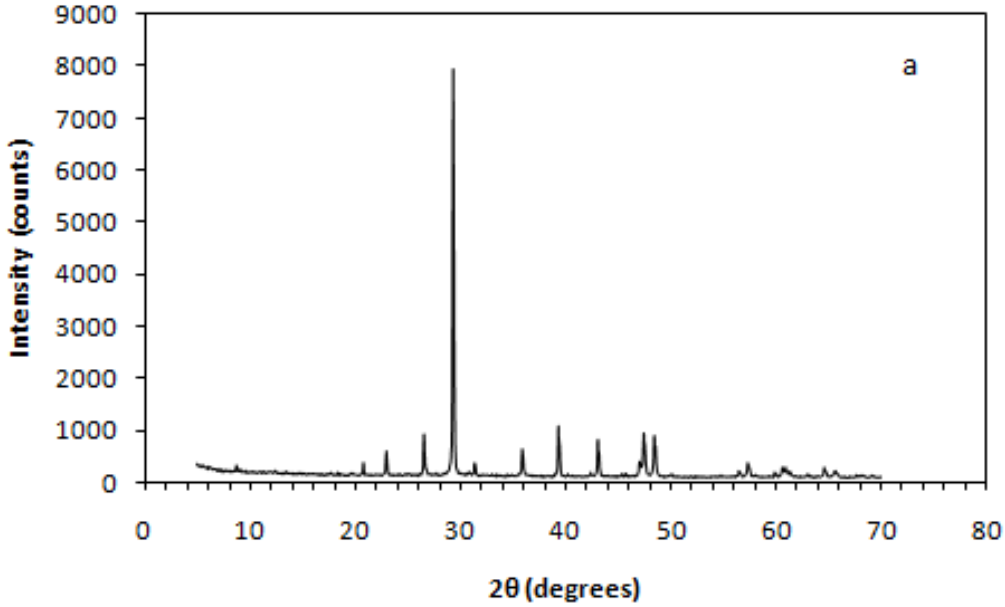
Στα σύνθετα ακόρεστου πολυεστέρα με ΑΚΚ, η μέγιστη ευρεία κορυφή της άμορφης φάσης τοποθετείται στις 19.95° τόσο για τα UP-CDW40-500μm όσο και για τα UP-CDW40-300μm.

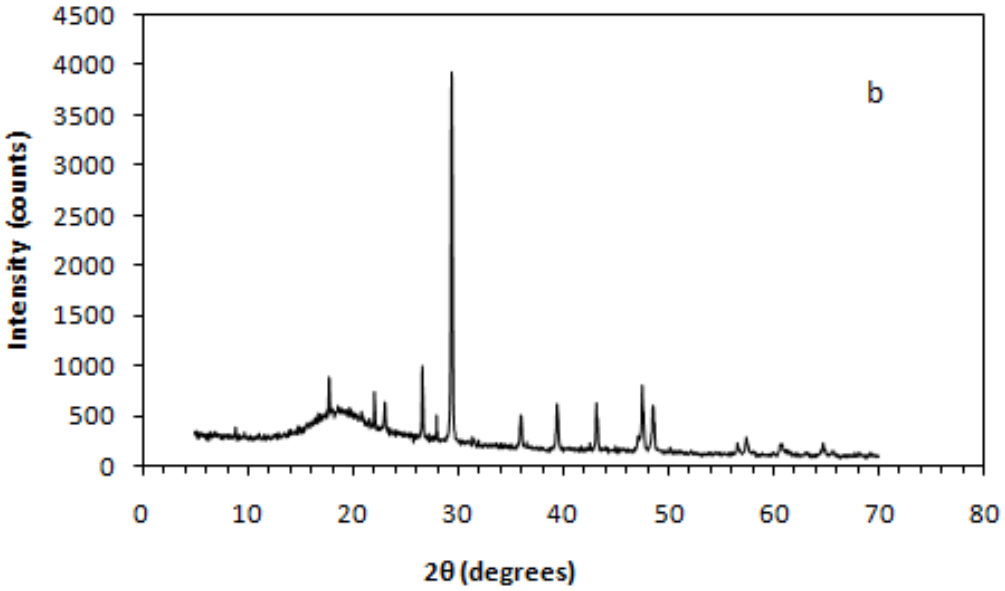
Τέλος σε ότι αφορά στα σύνθετα υλικά αποτελούμενα από μήτρα νεολάκης, αυτά παρουσιάζουν μια αντίστοιχη συμπεριφορά με αυτή που επέδειξαν τα σύνθετα ER. Ως αποτέλεσμα αυτού τα N-CDW30-300μm εμφανίζουν μέγιστη ευρεία κορυφή για γωνία 17.71° ενώ στα αντίστοιχα N-CDW30-500μm η υψηλή ένταση της κρυσταλλικής φάσης της

μήτρας από νεολάκη συνετέλεσε στην «εξαφάνιση» της χαμηλής εντάσεως της άμορφης φάσης του συνθέτου. Κατόπιν εκτενούς έρευνας διαπιστώθηκε ότι οι συγκεκριμένες τιμές βρίσκονται εντός των καταγεγραμμένων ορίων (εύρους) τιμών της διεθνούς βιβλιογραφίας για υλικά εποξειδικής ρητίνης, ακόρεστου πολυεστέρα και ρητίνης νεολάκης [5, 18-27], σύμφωνα με τα οποία οι μέγιστες τιμές 2θ της ευρείας κορυφής εντοπίζονται για εύρος τιμών μεταξύ 10° και 25°(εποξειδικές ρητίνες),15° και 25°(πολυεστέρες) και 17° έως 28°(ρητίνη νεολάκη). Τα παραπάνω είναι ενδεικτικά και μπορεί να μεταβάλλονται ελαφρώς λόγω των διαφοροποιήσεων σε ότι αφορά στις παραλλαγές στη σύνθεση και στις αναλογίες των επιμέρους συστατικών της κάθε ρητίνης. Επιπλέον των παραπάνω όπως διακρίνεται από τα ακόλουθα διαγράμματα μια διαφοροποίηση η οποία σχετίζεται με τις μέγιστες οξείες κορυφές μεταξύ των συνθέτων ER (Εικόνες 8.2.3-3 a και b) με σκόνη 500 μm και 300 μm. Συγκεκριμένα παρατηρείται μεταβολή στην περίπτωση συνθέτων υλικών με σκόνη ΑΚΚ μικρότερης κοκκομετρίας όπου λόγω της αυξημένης έντασης που απαιτείται για την διεξαγωγή της ανάλυσης τους, κάποιες εκ των ταυτοποιημένων χαρακτηριστικών κορυφών δεν «εξαφανίζονται» από την ακτινοδιαγραμματική απεικόνιση παρουσιάζουν όμως μικρότερη ένταση. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στα ακτινοδιαγράμματα των σύνθετων υλικών που ως μήτρα χρησιμοποιήθηκε η νεολάκη (Εικόνες 8.2.3-5 a και b). Στα σύνθετα UP-CDW300μm και UP-CDW500μm πέραν της παρατηρούμενης διαφοροποίησης της έντασης των μέγιστων χαρακτηριστικών κορυφών ο αριθμός και η θέση αυτών, όπως διαπιστώνεται από τις Εικόνες 8.2.3-4 a και b, παραμένουν αμετάβλητα ανεξαρτήτως της κοκκομετρίας του υλικού πλήρωσης που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή τους.

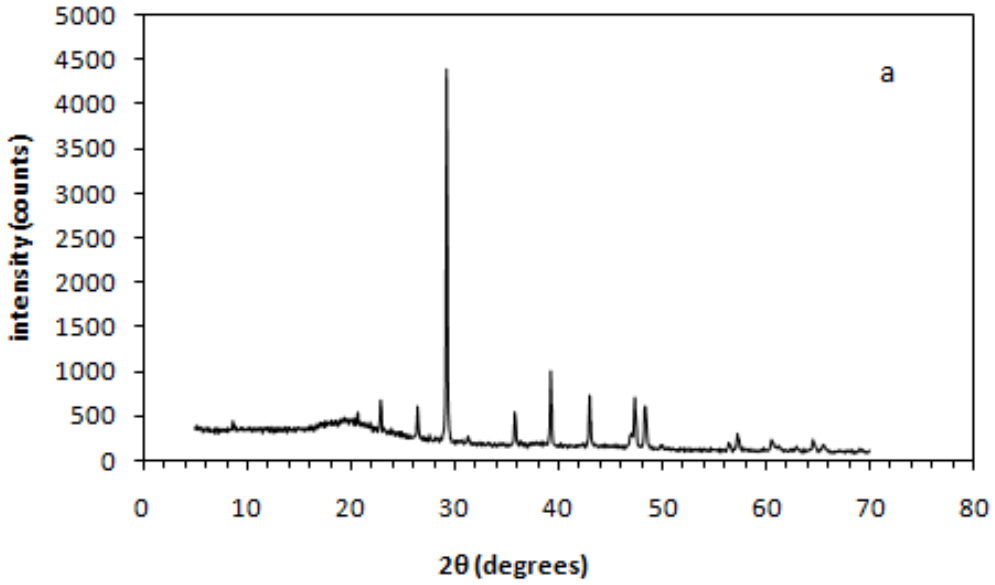
Πίνακας 8.2.3-1. Γωνία μέγιστης κορυφής άμορφης φάσης συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας.

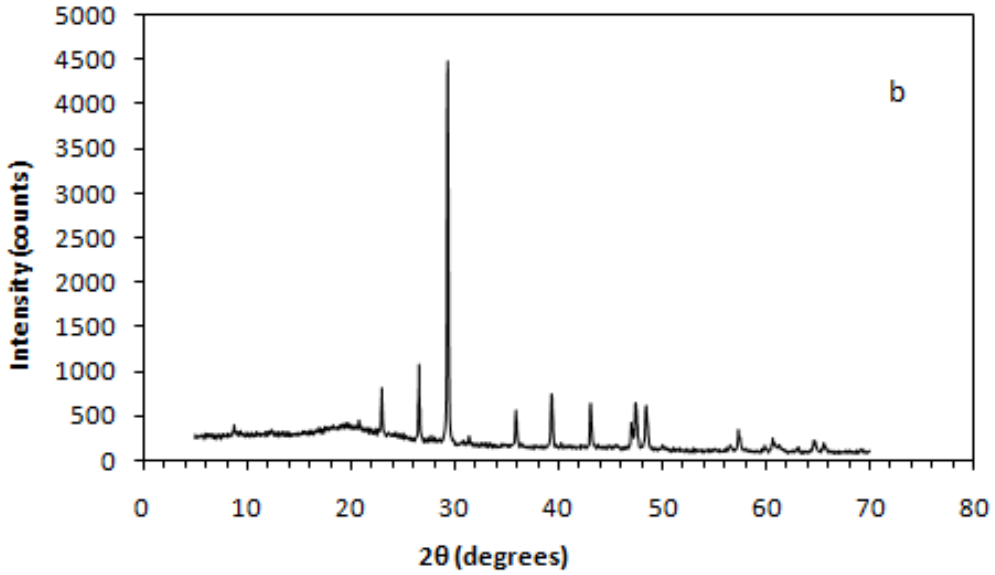
Σύνθετο Υλικό/Ονομασία	**2θ (°)**
ER–CDW30-500 μm	**17.74**
ER–CDW30-300 μm	**-**
UP–CDW40-500 μm	**19.95**
UP–CDW40-300 μm	**19.95**
N–CDW30-500 μm	**-**
N–CDW30-300 μm	**17.71**



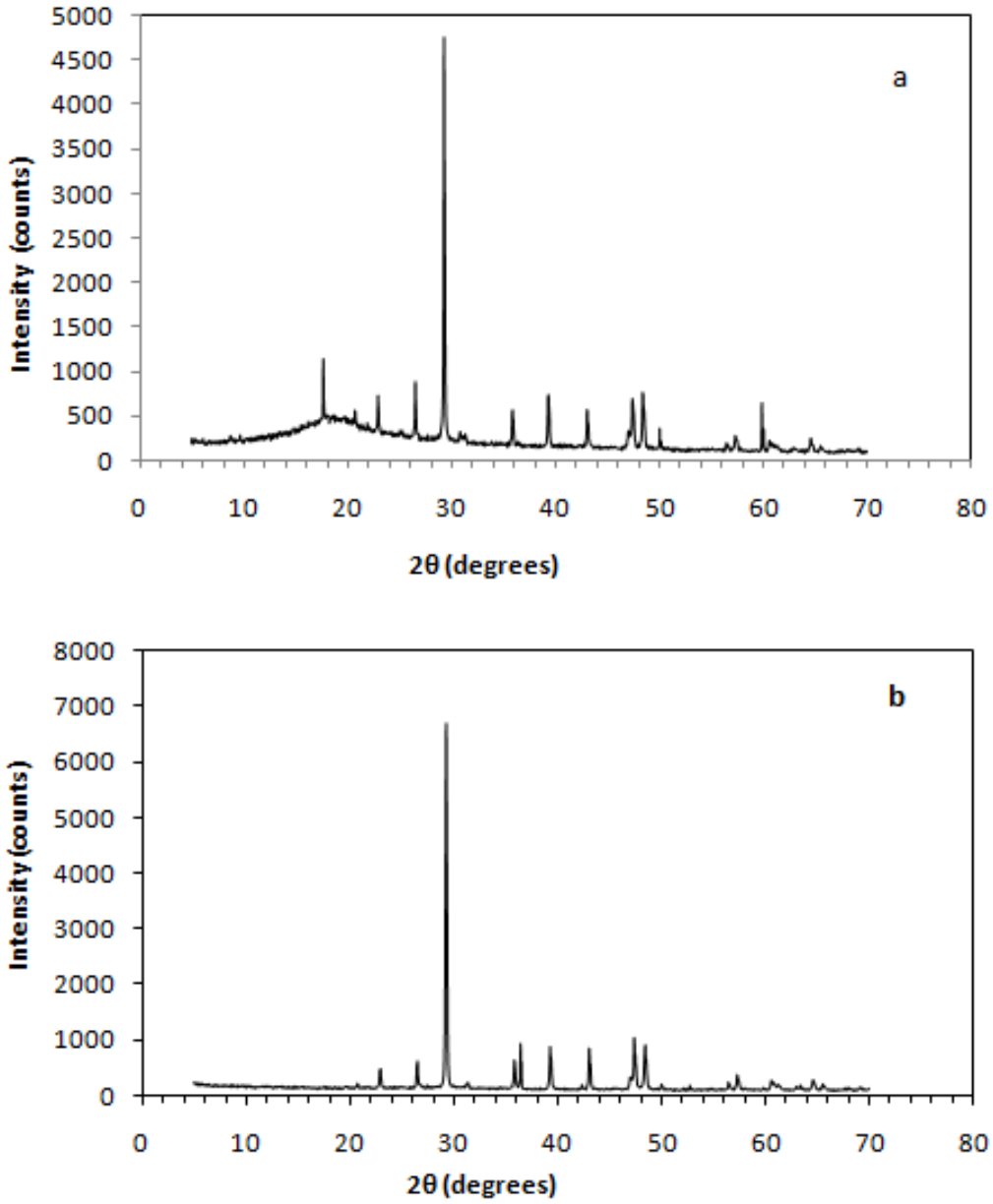


Εικόνα 8.2.3-3. Ακτινογραφήματα XRD συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης και σκόνης ΑΚΚ a) 300 μm b) σκόνη 500 μm.





Εικόνα 8.2.3-4. Ακτινογραφήματα XRD συνθέτων υλικών ακόρεστου πολυεστέρα και σκόνης ΑΚΚ a) 300 μm b) σκόνη 500 μm.



Εικόνα 8.2.3-5. Ακτινογραφήματα XRD συνθέτων υλικών νεολάκης και σκόνης ΑΚΚ a) 300 μm b) σκόνη 500 μm.

Βιβλιογραφία 8ου Κεφαλαίου

1. R.F. Egerton, Physical *Principles of Electron Microscopy: An Introduction to TEM, SEM and AEM*, United States, Springer, 2005, pp.125-153.

2. J.I. Goldstein, D.E. Newbury, J.R. Michael, N.W.M. Ritchie, J.H.J. Scott, D.C. Joy, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, United States, Springer, 2018, pp. vii-xiv.

3. D.A. Skoog, J.F. Holler, S.R. Crouch, *Principles of Instrumental Analysis*, Cengage Learning, 2016, pp. 279-297.

4. Μ. Κούη, Θ. Λυμπεροπούλου, Εργαστηριακή Άσκηση*, Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης με Φασματόμετρο Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων-Χ,* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

5. Ι.Α. Ασημακόπουλος, *Κατασκευή, Χαρακτηρισμός και Ιδιότητες συνθέτων Διηλεκτρικών Υλικών Πολυμερικής Μήτρας*, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2015.

6. Ε. Μ. Πιζάνια, *Κατασκευή - Ιδιότητες - Κατευθύνσεις Εφαρμογών Συνθέτων Υλικών Ινών Άνθρακα - Νανοσωλήνων Άνθρακα – Άμορφού Άνθρακα*, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2015.

7. https://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_electron_microscope

8. W. Zhou, R.P. Apkarian, Z.L. Wang, D. Joy, *Fundamentals of Scanning Electron Microscopy, Scanning Microscopy for Nanotechnology*. 2007, pp.1-40.

9. I.A. Asimakopoulos, G.C. Psarras, L. Zoumpoulakis, *Barium titanate/polyester resin nanocomposites: Development, structure-properties relationship and energy storage capability*. Express Polymer Letters. 2014, 8, 692–707.

10. D.A. Dragatogiannis, D.K. Perivoliotis, S. Karagiovanaki, L. Zoumpoulakis, C.A. Charitidis*, Effect of magnetite particle loading on mechanical and strain sensing properties of polyester composites*, Meccanica, 2016, 51**,** 693–705.

11. K. Sałasińska, M. Celiński, K. Mizera, M. Barczewski, P. Kozikowski, M.K. Leszczyński, A. Domańska, *Moisture Resistance, Thermal Stability and Fire Behavior of Unsaturated Polyester Resin Modified with L-histidinium Dihydrogen Phosphate-Phosphoric Acid*, Molecule*,* 2021, 26, 932.

12. Ι.Χ. Σιμιτζής, *Επιστήμη και Τεχνική των Πολυμερών και Σύνθετων Υλικών*, Αθήνα Φεβρουάριος 2017, pp. 392, 482-490.

13. W.D. Callister, D.G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 9th edition, John Wiley & Sons 2015, pp. 73-116.

14. B.D. Cullity, *Elements of X-Ray Diffraction*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., Massachusetts, USA, March 1956, pp. v, 1-26, 78-102.

15. Χ. Κανελλόπουλος, *Περιθλασιομετρία ακτίνων Χ – Οδηγός εκτέλεσης και αποτίμησης ακτινοδιαγραμμάτων με χρήση του λογισμικού EVA της Bruker*, Αθήνα, 2017.

16. H.H. Vu, M.D. Khan, R. Chilakala, T.Q. Lai, T. Thenepalli, J.W. Ahn, D.U. Park, J. Kim, *Utilization of Lime Mud Waste from Paper Mills for Efficient Phosphorus Removal,* Sustainability, 2019, 11, 1524.

17. T. Liu, C. Lin, P. Liu, J. Liu, C. Li, L. Han, X. Zhou, Q. Yang, A. Lu, *Preparation and characterization of partially vitrified ceramic material,* Journal of Non-Crystalline Solids. 2019, 505, 2019, 92-101.

18. S.A. Swarup, *Comparative Study of Bisphenol-A, Hydantoin and Cyanuric Acid Based Epoxy Resins using XRD*, Materials Sciences and Applications*,* 2011, *2*, 1516-1519.

19. I. Brnardic, M. Ivankovic, H. Ivankovic, H.J. Mencer, *Isothermal and Nonisothermal Cure Kinetics of an Epoxy/Poly (oxypropylene) diamine/Octadecylammonium Modified Montmorillonite System*, Journal of Applied Polymer Science, 2006, 100, 1765–1771.

20. K.F. Lin, U.L. Chung, *Phase-inversion investigations of rubber-modified epoxies by electron microscopy and X-ray diffraction*, Journal of Materials Science. 1994, 29, 1198–1202.

21. T. Ranganathan, C. Ramesh, *Synthesis and characterization of main chain thermotropic liquid crystalline polyesters based on methyl 4-[4'-ω-hydroxyalkoxy) bisphenyl-4-yl]-4-oxobutatyrate: Effects of keto group and connectivity on mesophasic characteristics of biphenyl based AB-type polyesters*, Reactive and Functional Polymers*,* 2006**,** *66*, 1003-1013.

22. J. Tang, Z. Zhang, Z. Song, L. Chen, X. Hou, K. Yao, *Synthesis and characterization of elastic aliphatic polyesters from sebasic acid, glycol and glycerol*, European Polymer Journal*,* 2006, 42, 3360-3366.

23. M. Kostrewa, B. Hausnerova, M. Bakar, K. Pajak, *Preparation and Characterization of an Epoxy Resin Modified by a combination of MDI-Based Polyurethane and Montmorillonite,* Journal of Applied Polymer Science*,* 2011,122, 3237-3247.

24. V.B. Patil, M. Medhi, N.S. Bhairamadgi, P.P. Wadgaonkar, N.N. Maldar, *Synthesis and characterization of polyesters from 2,3-bis (4'-hydroxy phenyl) quinoxaline and 2,3-bis (2'-hydroxynapthalene-6'-yl) quinoxaline,* Materials Science and Engineering: B, 2010, *168,* 186-192.

25. A.R. Bahramian, *Pyrolysis and flammability properties of novolac/graphite nanocomposites,* Fire Safety Journal*,* 2013, 61, 265-273.

26. C.P.R. Nair, R.L. Bindu, K.N, Ninan, *Thermal characteristics of addition-cure phenolic resins*, Polymer Degradation and Stability*,* 2001, 73, 251-257.

27. X. Zhang, H. Hu, Y. Zhu, S. Zhu, *Effect of carbon molecular sieve on phenol formaldehyde novolac resin based carbon membranes,* Separation and Purification Technology, 2006, 52, 261-265.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΠΕΔΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

9.1. Γενικά συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής κατασκευάστηκαν σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας με την προσθήκη υπό τη μορφή εγκλείσματος σκόνης παρασκευασμένης από ανακυκλούμενα απόβλητα κατεδάφισης (ΑΚΚ) και μελετήθηκαν διεξοδικά οι μηχανικές και θερμικές ιδιότητες τους ώστε να αξιολογηθεί η καταλληλότητα τους να χρησιμοποιηθούν ως δομικά και μονωτικά υλικά.

Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 6, κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο «3 σημείων» ως προς τη μηχανική τους συμπεριφορά και ειδικότερα σε ότι αφορά στις αντοχές τους σε κάμψη και διάτμηση, σύνθετα υλικά θερμοσκληρυνόμενης μήτρας χρησιμοποιώντας 3 διαφορετικές πολυμερικές ρητίνες (εποξειδική ρητίνη, ακόρεστο πολυεστέρα και ρητίνη νεολάκη) στις οποίες ενσωματώθηκε ως πληρωτικό υλικό σκόνη ΑΚΚ δυο διαφορετικών κοκκομετριών (300 μm και 500 μm) σε τρεις διαφορετικές κατά βάρος περιεκτικότητες στην κάθε μία εκ των ανωτέρω πολυμερικών μητρών (30%, 40% και 50%).

Σε συνέχεια της παραπάνω μελέτης συμπερασματικά προκύπτουν τα εξής:

- Η αντοχή των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας σε κάμψη και διάτμηση ελαττώνεται α) αυξάνοντας την κατά βάρος ποσότητα σκόνης ΑΚΚ στο σύνθετο β) με την χρήση εγκλείσματος μεγαλύτερης κοκκομετρίας. Επεξηγώντας τα ανωτέρω, η εισαγωγή σκόνης ΑΚΚ σε πολυμερική μήτρα έχει ως συνέπεια τον περιορισμό της μηχανικής απόδοσης της πλειοψηφίας των τελικώς παραγόμενων συνθέτων. Εξαίρεση σε αυτό όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, αποτέλεσαν τα σύνθετα υλικά πολυεστέρα και 40% κ. β. ΑΚΚ.
- Το σύνολο των συνθέτων που μελετήθηκαν επέδειξαν, όπως παρατηρήθηκε κατά τη διεξαγωγή των δοκιμών κάμψης και διάτμησης ψαθυρή θραύση, χαρακτηριστικό των περισσότερων θερμοσκληρονόμενων υλικών.
- Οι μηχανικές αντοχές των υλικών που μελετήθηκαν παρουσίασαν υποβάθμιση (σε σχέση με τα υλικά που κατασκευάστηκαν από καθαρή ρητίνη), παραμένοντας όμως σε αποδεκτά επίπεδα σε σχέση με υλικά που χρησιμοποιούνται σε δομικές εφαρμογές.

- Από πλευράς μηχανικών ιδιοτήτων τα σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης υπερτερούν έναντι όλων των άλλων υλικών ακολουθούμενα από τα σύνθετα ακόρεστου πολυεστέρα και τα σύνθετα ρητίνης νεολάκης τα οποία επέδειξαν τις χαμηλότερες μηχανικές αντοχές.

Στο Κεφάλαιο 7 στο πλαίσιο της διεξαγωγής της μελέτης των θερμικών ιδιοτήτων των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ, κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν ως προς την θερμομονωτική τους απόδοση σύνθετα υλικά θερμοσκληρυνόμενης μήτρας για τις 3 ανωτέρω πολυμερικές ρητίνες (εποξειδική ρητίνη, ακόρεστο πολυεστέρα και ρητίνη νεολάκη) και σκόνη ΑΚΚ δυο διαφορετικών κοκκομετριών ως υλικό πλήρωσης. Η μελέτη της θερμομονωτικής συμπεριφοράς πραγματοποιήθηκε επί των υλικών που επέδειξαν τις βέλτιστες μηχανικές αντοχές σε ότι αφορά την καμπτική και διατμητική τους συμπεριφορά. Συγκεκριμένα κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν σύνθετα υλικά εποξειδικής ρητίνης με σκόνη ΑΚΚ (500 μm και 300 μm) και περιεκτικότητα πρόσθετου στο σύνθετο 30% και 40% κατά βάρος. Αντίστοιχα κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν σύνθετα υλικά ακόρεστου πολυεστέρα με σκόνη ΑΚΚ και περιεκτικότητα πρόσθετου στο σύνθετο 30% και 40% κατά βάρος. Λόγω του ότι κατέστη αδύνατη η κατασκευή συνθέτων νεολάκης και ΑΚΚ για περιεκτικότητες σκόνης ΑΚΚ άνω του 30% η μελέτη της θερμομονωτικής απόδοσης των υλικών αυτής της κατηγορίας περιορίστηκε στα υλικά της συγκεκριμένης αναλογίας ρητίνης και πρόσθετου υλικού.

Από την εξέταση των αποτελεσμάτων εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Η ενσωμάτωση σκόνης ΑΚΚ σε σύνθετα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή υλικά έχει ως αποτέλεσμα τα τελικώς παραγόμενα υλικά να παρουσιάζουν βελτιωμένη θερμομονωτική απόδοση σε σύγκριση με τα αντίστοιχα υλικά καθαρής ρητίνης.
- Η αύξηση δε του εμπεριεχόμενου υλικού πλήρωσης και η εισαγωγή πληρωτικού υλικού μικρότερης κοκκομετρίας στα σύνθετα έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της θερμομονωτικής απόδοσής τους.

- Βάσει των αποτελεσμάτων τα σύνθετα υλικά μήτρας νεολάκης παρουσιάζουν τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 0.42≥λ≥0.36 W/m·K, τα σύνθετα υλικά ακόρεστου πολυεστέρα 0.63≥λ≥0.39 W/m·K, και τα υλικά που φτιάχτηκαν επιλέγοντας ως μήτρα την εποξειδική ρητίνη 1.02≥λ≥0.53 W/m·K. Τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω δικαιολογούνται εξαιτίας των πολύ καλών θερμικών ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τις πολυεστερικές ρητίνες και τις νεολάκες.
- Η βελτιωμένη θερμομονωτική απόδοση των συνθέτων νεολάκης οφείλεται στις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την θερμική επεξεργασία και σκλήρυνση των υλικών αυτών οι οποίες και διαμορφώνουν (δομικά) τα σύνθετα με αποτέλεσμα να επιδεικνύουν αυξημένη θερμομονωτική ικανότητα.
- Αναφορικά με τα σύνθετα εποξειδικής ρητίνης/ΑΚΚ, η ενσωμάτωση σκόνης μεγαλύτερης κοκκομετρίας διατηρώντας την κατά βάρος περιεκτικότητα (της σκόνης) σταθερή οδηγεί σε μεταβολή της θερμομονωτικής συμπεριφοράς.
- Τα σύνθετα υλικά ακόρεστου πολυεστέρα/ΑΚΚ χαρακτηρίζονται από θερμομονωτική απόδοση που περιορίζεται κατά την αρχική εισαγωγή του πρόσθετου υλικού εν συνεχεία όμως με την περαιτέρω αύξηση της ποσότητας της σκόνης ΑΚΚ στα τελικά σύνθετα βαίνει βελτιούμενη. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στα συγκεκριμένα υλικά ανεξαρτήτως του κοκκομετρικού μεγέθους του υλικού πλήρωσης που χρησιμοποιείται σε αυτά.
- Στα σύνθετα νεολάκης/ΑΚΚ η αρχική εισαγωγή οδηγεί σε υλικά βελτιωμένης θερμομονωτικής απόδοσης η οποία ενισχύεται περαιτέρω με τη χρήση σκόνης μικρότερης κοκκομετρίας.
- Η θερμομονωτική αποτελεσματικότητα των συνθέτων πολυεστέρα και νεολάκης με ΑΚΚ εκτός των καλών συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας που χαρακτηρίζουν τους πολυεστέρες και τις νεολάκες ως ρητίνες αποδίδεται επίσης, στην καλύτερη διασπορά του πρόσθετου υλικού στη ρητίνη, η οποία στην περίπτωση του πολυεστέρα επιτυγχάνεται εξαιτίας της ταχύτερης χρονικά σκλήρυνσής του. Αντίστοιχα σε ότι αφορά στη νεολάκη οι αντίστοιχα καλές θερμικές ιδιότητές της

αποδίδονται στην κοκκώδη φύση της ρητίνης αλλά και του ενισχυτικού μέσου των συνθέτων της συγκεκριμένης κατηγορίας, μέσω της οποίας εξασφαλίστηκε η επίτευξη υψηλού βαθμού ανάμειξης της ρητίνης με τη σκόνη πλήρωσης με αποτέλεσμα την καλύτερη διασπορά της σκόνης στο τελικό σύνθετο.

Στο Κεφάλαιο 8 πραγματοποιήθηκε μέσω της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης (SEM) και της Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD) ο χαρακτηρισμός των συνθέτων υλικών πολυμερικής μήτρας με ΑΚΚ του Κεφαλαίου 6. Η διεξαγωγή των ανωτέρω μετρήσεων πραγματοποιήθηκε μέσω του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) της εταιρίας HITACHI, μοντέλο TM3030 Plus εξοπλισμένο με σύστημα στοιχειακής ανάλυσης δειγμάτων HITACHI, μοντέλο QUANTAX 70 και του Περιθλασίμετρου ακτίνων Χ D5000 X-Ray Diffractometer της εταιρίας SIEMENS εξοπλισμένο με πηγή Cu Ka (λ=0.15406nm) και με το λογισμικό CRYSTALLOGRAPHICA της εταιρίας OXFORD CRYOSYSTEMS. Ο χαρακτηρισμός πραγματοποιήθηκε για τα σύνθετα που επέδειξαν τις βέλτιστες καμπτικές και διατμητικές αντοχές. Συγκεκριμένα για την διεξαγωγή των αναλύσεων SEM και XRD χρησιμοποιήθηκαν δείγματα κατάλληλων διαστάσεων που προήλθαν από τη θραύση των δοκιμίων εποξειδικής ρητίνης με σκόνη ΑΚΚ (500 μm και 300 μm) και περιεκτικότητα πρόσθετου στο σύνθετο 30% και 40% κατά βάρος. Αντίστοιχα δείγματα κατάλληλων διαστάσεων που προήλθαν από τη θραύση των δοκιμίων πολυεστέρα με σκόνη ΑΚΚ (500 μm και 300 μm) και περιεκτικότητα πρόσθετου στο σύνθετο 30% και 40% κατά βάρος και τέλος, δείγματα κατάλληλων διαστάσεων που προήλθαν από τη θραύση των δοκιμίων νεολάκης με σκόνη ΑΚΚ (500 μm και 300 μm) και περιεκτικότητα πρόσθετου στο σύνθετο 30%.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτών διαπιστώνεται ότι:

- Ο βαθμός διασποράς της σκόνης ΑΚΚ στην ρητίνη στα σύνθετα ER-CDW είναι αρκετά καλός όπως διαπιστώνεται και από τις σχετικές φωτογραφίες μέσω SEM με αραιά συσσωματώματα.
- Ο βαθμός διασποράς βελτιώνεται με την χρήση πληρωτικού υλικού μικρότερης κοκκομετρίας στην κατασκευή των συνθέτων, γεγονός που αιτιολογεί τις βελτιωμένες

μηχανικές ιδιότητες αυτής της κατηγορίας συνθέτων σε σύγκριση με τα υπόλοιπα υλικά που κατασκευάστηκαν από εποξειδική ρητίνη.

- Τα σύνθετα ER-CDW εμφανίζουν επιφανειακά σημάδια (γδαρσίματα, ξυσίματα κλπ) ως αποτέλεσμα της διαδικασίας απομάκρυνσής τους από το καλούπι κατασκευής όπως διαπιστώνεται από τις απεικονίσεις μέσω SEM, η οποία οφείλεται όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 6 στη χρήση συγκεκριμένου αποκολλητικού μέσου κατά την απομάκρυνσή τους από το καλούπι. Η συγκεκριμένη διαπίστωση παρόλα αυτά, αφορά το σύνολο των εξεταζόμενων συνθέτων υλικών (ER, UP, N) όπως προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων.
- Οι μικροί κυματοειδούς μορφής σχηματισμοί που εμφανίζονται στην επιφάνεια κάποιων από τα δοκίμια αποδίδονται στον εγκλωβισμό αέρα ή/και αποκολλητικού υλικού μεταξύ των επιφανειών του συνθέτου και του καλουπιού.
- Στα σύνθετα UP-CDW η κατανομή (διασπορά) του υλικού πλήρωσης είναι σαφώς καλύτερη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα υλικά που κατασκευάστηκαν με εποξειδική ρητίνη. Η βελτίωση της διασποράς σχετίζεται άμεσα με τον μικρότερο χρόνο που απαιτείται για τη σκλήρυνση του πολυεστέρα και ανέρχεται στα 20 λεπτά.
- Σε ότι αφορά στα πολυεστερικά σύνθετα η χρήση υλικού πλήρωσης μικρότερης κοκκομετρίας οδηγεί σε βελτίωση του βαθμού διασποράς του εισαγόμενου υλικού στην μήτρα και κατεπέκταση στην παραγωγή υλικών βελτιωμένων μηχανικών αντοχών σε σύγκριση με τα πολυεστερικά υλικά που κατασκευάστηκαν από ακόρεστο πολυεστέρα και σκόνη μεγαλύτερης κοκκομετρίας.
- Όπως στα ER-CDW έτσι και στα UP-CDW παρατηρούνται αραιές συσσωματώσεις σε μικρότερο όμως βαθμό. Η εμφάνιση τους είναι αναμενόμενη και οφείλεται στις υψηλές κατά βάρος ποσότητες σκόνης στα σύνθετα εξαιτίας των οποίων περιορίζεται η διαβρεκτική ικανότητα της ρητίνης με αποτέλεσμα σε κάποια σημεία των δοκιμίων οι κόκκοι να συνενώνονται δημιουργώντας μεγαλύτερους κόκκους (συσσωματώσεις).
- Με βάση τα αποτελέσματα του SEM διαπιστώνεται ότι τα UP-CDW παρουσιάζουν τη μορφολογική δομή των πολυεστερικών υλικών η οποία χαρακτηρίζεται συνήθως από

την εμφάνιση οπών στην επιφάνεια των δοκιμίων ως αποτέλεσμα την έκλυσης πτητικών αερίων κατά την σκλήρυνση τους. Οι ανωτέρω εμφανίζονται επίσης με τη μορφή φυσαλίδων και στο εσωτερικό των δοκιμίων, όπως διαπιστώθηκε μέσω της μακροσκοπικής παρατήρησης των θραυσμάτων και η παρουσία τους συντελεί στην ενίσχυση των θερμομονωτικών ιδιοτήτων των υλικών αυτών για τους λόγους που αναλύθηκαν στο σχετικό κεφάλαιο της διατριβής. Στον αντίποδα, η δομική αυτή ιδιομορφία των συνθέτων UP-CDW αποτελεί τη βασική αιτία υποβάθμισης των μηχανικών αντοχών των υλικών αυτών.

- Η χρήση κηραλοιφής που χρησιμοποιήθηκε σε αντικατάσταση του Teflon, διευκόλυνε την αποκόλληση των πολυεστερικών δοκιμίων. Και εδώ παρατηρήθηκαν παρόμοια φαινόμενα εγκλωβισμού ποσότητας αποκολλητικού μέσου μεταξύ των δοκιμίων και των θυρίδων χύτευσης/μορφοποίησης τους που είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση επιφανειακών ανωμαλιών που είναι παρόμοιες με αυτές που παρατηρήθηκαν στα σύνθετα ER.
- Αντίστοιχα στα N-CDW η διασπορά της σκόνης ΑΚΚ είναι καλή, γεγονός που οφείλεται στην στερεά κοκκώδη φύση της ρητίνης νεολάκης και του πληρωτικού μέσου, οι οποίες συνετέλεσαν στην καλύτερη δυνατή ανάμειξη των επιμέρους συστατικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των συνθέτων.
- Και στα σύνθετα N-CDW εμφανίζονται επιφανειακές «ανωμαλίες» (όπως αυτές που αναλύθηκαν στις άλλες δυο κατηγορίες υλικών) η παρουσία των οποίων οφείλεται σε λόγους αντίστοιχους εκείνων που αναλύθηκαν στις άλλες 2 κατηγορίες συνθέτων που μελετήθηκαν (ER-CDW, UP-CDW).
- Η μορφολογική δομή των συνθέτων N-CDW χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση μικροοπών. Ο βαθμός της επιφανειακής κάλυψης των δοκιμίων από τις εν λόγω οπές είναι εμφανώς αυξημένος σε σύγκριση με τα UP-CDW, και οφείλεται στην αύξηση των πτητικών αερίων που εκλύονται εξαιτίας της διαδικασίας σκλήρυνσης των υλικών αυτών (θερμοσυμπίεση). Η εκτεταμένη κάλυψη της επιφάνειας των N-CDW από οπές που δεν εντοπίζονται με γυμνό μάτι είναι ο λόγος για τον οποίο, από

τα 3 είδη υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, τα N-CDW εμφανίζουν τις πιο περιορισμένες μηχανικές και ταυτοχρόνως τις βέλτιστες θερμομονωτικές ιδιότητες.

- Με τη βοήθεια του SEM διαπιστώνεται η ύπαρξη (η παρατήρηση αφορά όλες τις κατηγορίες συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν), κόκκων διαφόρων, ακαθόριστων σχημάτων και διαφορετικών διαστάσεων. Η παρουσία αυτών αποδίδεται στην πολυδιασπορά, χαρακτηριστική ιδιότητα των στερεών σωματιδιακών υλικών που παρασκευάζονται μέσω διαδικασιών τεμαχισμού, διαχωρισμού, κοκκοποίησης κ. α., όπως αυτές μέσω των οποίων προετοιμάστηκαν οι δυο διαφορετικής κοκκομετρίας σκόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τις ερευνητικές ανάγκες της διατριβής.
- Παρατηρείται στις ληφθείσες απεικονίσεις SEM των δυο σκονών πλήρωσης από ΑΚΚ, αυξημένη συγκέντρωση σωματιδίων στο κέντρο των δειγμάτων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην εισαγωγή και διευθέτηση του πληρωτικού υλικού στο δειγματοφορέα του SEM, το σχήμα και οι διαστάσεις του οποίου «συμπιέζουν» το περιεχόμενο που με τη σειρά του μεταφέρει (μέσω των κόκκων του) την πίεση που δέχεται από τα τοιχώματα του περιέκτη οδηγώντας στη συσσώρευση μέρους του περιεχομένου στο κέντρο της περιοχής σάρωσης.
- Μέσω του XRD διαπιστώνεται η ύπαρξη στα σύνθετα δυο διακριτών φάσεων, α) της άμορφης φάσης που αποδίδεται στην πολυμερική μήτρα και τοποθετείται σε μικρές γωνίες (κάτω από 30 μοίρες) στις ευρείες κορυφές των ακτινογραφημάτων και β) της κρυσταλλικής φάσης που τοποθετείται στις οξείες κορυφές μεγάλης έντασης και αποδίδεται στην παρουσία ασβεστίτη και χαλαζία στο πληρωτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στα σύνθετα.
- Σε όλα τα ακτινογραφήματα υπερισχύει η κρυσταλλική φάση όπως επιβεβαιώνεται από την ένταση των χαρακτηριστικών κορυφών, γεγονός που αποδίδεται στην υψηλή περιεκτικότητα των συνθέτων σε ΑΚΚ.

9.2. Πεδία μελλοντικής έρευνας

Τα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή βρίσκουν εφαρμογή ως υλικά δομικών εφαρμογών. Η παρούσα διατριβή εστίασε σε υλικά από οικονομικά θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή που διατίθενται στο εμπόριο και εργαστηριακώς παρασκευασμένη ρητίνη φαινόλης-φορμαλδεΰδης, κατηγορία νεολάκης.

Ενδεχόμενη μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην μελέτη και άλλων εργαστηριακώς παρασκευασμένων πολυμερών (π.χ. πολυεστέρας) όπως επίσης και σε νεολάκες υγρής μορφής οι οποίες κυκλοφορούν στο εμπόριο. Επιπρόσθετα ένα πεδίο μελέτης με ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα μπορούσε να είναι η μελέτη της πυραντοχής αντίστοιχων υλικών ώστε να εξεταστεί η δυνατότητα χρήσης τους σε αντιπυρικές εφαρμογές. Προτείνεται η διεξαγωγή μελέτης στο πλαίσιο της οποίας θα εξεταστούν οι δυνατότητες βελτίωσης των υλικών αυτών ως προς τη διασπορά του πρόσθετου και ως προς τον περιορισμό της εμφάνισης κενών και φυσαλίδων στη μήτρα του συνθέτου εφαρμόζοντας διαφορετικές μεθόδους ανάδευσης (π.χ. λουτρό υπερήχων).

Ως προς το υλικό πλήρωσης προτείνεται η κατασκευή συνθέτων υλικών χρησιμοποιώντας πληρωτικό μέσο και άλλων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων. Επίσης η κατασκευή συνθέτων υλικών με σκόνη πλήρωσης από υλικό προερχόμενο από συγκεκριμένο είδος ΑΚΚ (πχ σκέτο τούβλο, σκέτο τσιμέντο κλπ) με σκοπό τη μελέτη της συμπεριφοράς αυτών υπό όρους θερμικής και μηχανικής συμπεριφοράς. Η πρόταση αυτή έχει μεγάλη σημασία διότι αφενός θα αποτελέσει ισχυρό κίνητρο σε ότι αφορά στην εδραίωση (ανάλογα με τα αποτελέσματά της) της επιλεκτικής κατεδάφισης. Αφετέρου λόγω του γεγονότος ότι υλικά όπως τα είδη υγιεινής, τα πλακάκια και πολλά άλλα που είτε δεν βρίσκουν αγοραστή, είτε παρουσιάζουν ελαττώματα και πρέπει να απορριφθούν, δεν αποτελούν όμως ΑΚΚ ώστε να είναι εφικτή η ανακύκλωση τους μέσω της υφιστάμενης διαδικασίας, θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν σε αντίστοιχου τύπου σύνθετα υλικά, προωθώντας έτσι την εκτροπή αυτών των υλικών από την τελική διάθεση τους υπό μορφή αποβλήτων.

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό ζήτημα προς διερεύνηση αποτελεί η εξέταση των δυνατοτήτων ανακύκλωσης των συνθέτων αυτών υλικών στο τέλος της χρηστικής ζωής τους. Η επεξεργασία και χρήση τους στην κατασκευή τριτογενών (πλέον) υλικών για άλλες εφαρμογές αποτελεί ένα ξεχωριστό κομμάτι που θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο μιας μεμονωμένης διδακτορικής διατριβής.

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ :

Ονοματεπώνυμο	:	Κωνσταντίνος Μπογιατζίδης
Όνομα πατρός	:	Ιορδάνης
Όνομα μητρός	:	Μυρτώ
Ημερομηνία γέννησης	:	03-04-1979
Email	:	k_bogiatzidis@hotmail.com, kmpogiazidis@yna.gov.gr
τηλέφωνο	:	213-1374443 (εργασία)
Κινητό	:	6944866221
Οικογενειακή Κατάσταση:		Παντρεμένος
Τέκνα	:	Ένα (1)

ΣΠΟΥΔΕΣ:

1. Διδακτορική διατριβή στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στον Τομέα ΙΙΙ «Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών»

2. Master of Science στον Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού Έργων Υποδομής, της Σχολής Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας του ΕΑΠ

3. Master of Science στην Προηγμένη Μηχανολογία (Advanced Mechanical Engineering) του Πανεπιστημίου του Sussex

4. Bachelor of Engineering (Mechanical Engineering) του Πανεπιστημίου του Sussex.

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός, του Πανεπιστημίου του Sussex στο Ηνωμένο Βασίλειο (Πράξη Αναγνώρισης ΔΙΚΑΤΣΑ: 16-330/2003).

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ:

Αγγλικά

Άριστη γνώση της Αγγλικής γλώσσας (σπουδές στην Μεγάλη Βρετανία)

Γαλλικά

Καλή γνώση της γαλλικής γλώσσας

04/1999 : **Diplôme D'Etude En Langue Française DELF 1er Degré**

11/1995 : **Certificat de Langue Français, Institut Français D'Athènes**

ΕΡΓΑΣΙΕΣ:

2017 έως 2022: PhD (διδακτορική διατριβή) Κατασκευή Συνθέτων Υλικών Πολυμερικής Μήτρας με την Προσθήκη Ανακυκλούμενων Υλικών από Απόβλητα Κατεδάφισης Κτιρίων και Μελέτη Μηχανικών και Θερμικών ιδιοτήτων τους (Επιβλέπων καθηγητής: Dr Λ. Ζουμπουλάκης)

2013 - 2014: MSc (μεταπτυχιακή διατριβή) Ανάπτυξη Σεναρίων Επεξεργασίας Αστικών Στερεών Αποβλήτων σε Νησιωτική Περιοχή – Εφαρμογή στο Νησί της Σύρου (Επιβλέπων καθηγητής: Dr. Δ. Κομίλης)

2001 - 2002: MSc (Μεταπτυχιακή Διατριβή) Formula Car Styling (Professor in Charge: Prof P. R. N. Childs)

2000 - 2001: BEng (Διπλωματική διατριβή) Thermal conductivity measurement apparatus for solid specimens -Design, Building and testing (Professor in Charge: Dr. C. A. Long)

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ:

Bogiatzidis C., Zoumpoulakis L. *Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester and Novolac Resin embedding Construction and Demolition Wastes powder: A Comparative Study*. Polymers. 2021, 13(5), 1-20.

Bogiatzidis C. and Zoumpoulakis L. *Manufacture and Characterization of Novolac Resin-Construction and Demolition Wastes Composites*. Emerging Materials Research. 2021, 10(1), 1-6.

C. Bogiatzidis and L. Zoumpoulakis. *Development of Building and Insulation Epoxy Based Composite Materials Loaded with Construction and Demolition Wastes; Mechanical and Thermal- Insulation Behaviour Analysis.* Journal of Materials Science Research and Reviews. 2018, 1(4), 1-11.

C. Bogiatzidis, D. Semitekolos and L. Zoumpoulakis. *Recycling and Exploitation of Construction and Demolition Wastes as Additives in Unsaturated Polyester Composite Building and Insulation Materials; Mechanical and Thermal Properties Investigation.* Journal of Materials Science Research and Reviews. 2018, 1(2), 1-11.

Bogiatzidis C. and Komilis D., (2016) *Economic and life cycle analysis of municipal solid waste management for small islands: On-site management scenarios versus off-site transportation.* Gnest. 2016, 18(1), 197-213.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ ΣΕ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΕΙΑ:

6th International Conference on Sustainable Solid Waste Management, Naxos Island, Greece, 13–16 June 2018. Τίτλος poster «*Effects of Construction and Demolition Waste particle-loading on mechanical response of polymeric composite materials».*

12° Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Αθήνα 29-31 Μαΐου 2019. Τίτλος poster *«Κατασκευή και Μελέτη Μηχανικής Αντοχής και Θερμομονωτικής Συμπεριφοράς Συνθέτων Δομικών και Μονωτικών Υλικών Πολυμερικής Μήτρας με Ανακυκλούμενα Απόβλητα Κατεδαφίσεων»*

ΓΝΩΣΕΙΣ:

Λειτουργικά Συστήματα : Windows 95/98/NT/2000/XP,

Άλλα πακέτα : MS Office, AutoCAD (Autodesk 2-D certification), LCA – IWM (λογισμικό μοντελοποίησης/ αξιολόγησης σεναρίων επεξεργασίας στερεών αποβλήτων), ΔΙΑΥΓΕΙΑ.

ΣΕΜΙΝΑΡΙΑ:

12/2019: Inventory of Hazardous Materials (ICS SOLIX)

6/2014 - 7/2014: Summer School on Advanced technologies in Product Design, Engineering and Manufacturing 2014 (Πανεπιστήμιο Αιγαίου)

6/2009: Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη

12/2008: Μέτρα και Μέσα Πυρασφάλειας- Πυροπροστασίας Επαγγελματικών Χώρων

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΩΣΕΙΣ:

Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος Α.Μ. 99550 (μέλος από το 2004)

ΕΡΓΑΣΙΑΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ:

11/2019 έως σήμερα: Τμήμα Κατασκευής κι Εξοπλισμού Σκαφών Αναψυχής, Διεύθυνση Ναυπηγοεπισκευαστικών Δραστηριοτήτων, Υπουργείο Ναυτιλίας και Νησιωτικής Πολιτικής (μετάταξη).

11/2016 έως 10/2019: Τμήμα Συστημάτων Εναλλακτικής Διαχείρισης, Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης ΕΟΑΝ, Υπουργείο Περιβάλλοντος, ΣΣΕΔ αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών, κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ), (με απόσπαση).

7/2006 έως 11/2016: Διεύθυνση Διοικητικών Υπηρεσιών Γενικού Νοσοκομείου Σύρου, ΥΠΟΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Τεχνικού Τεχνικής Υπηρεσίας Μηχανολόγος Μηχανικός (μόνιμος υπάλληλος)

12/2005 έως 7/2006: Σύμβαση έργου στα πλαίσια του προγράμματος «ΘΗΣΕΑΣ» με το Περιφερειακό Ταμείο Ανάπτυξης (Έλεγχος και σύνταξη μελετών, διαχείριση φακέλων έργων).

01/2005 έως 12/2005: Σύμβαση έργου με την ΤΕΔΚ Κυκλάδων μέσω της ΤΥΔΚ (Έλεγχος και σύνταξη μελετών, διαχείριση φακέλων έργων).