



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"

## Παραγωγή συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης - ανόργανων δομικών υλικών προερχομένων από ανακύκλωση

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΝΑΥΣΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑ**

Διπλωματούχου Μηχανικών Επιστήμης Υλικών Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ:**

**Λ. ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗΣ**

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΥ 2012**



# **ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

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

**"ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ"**

## **Παραγωγή συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης - ανόργανων δομικών υλικών προερχομένων από ανακύκλωση**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΝΑΥΣΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑ**

Διπλωματούχου Μηχανικών Επιστήμης Υλικών Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

### **ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Λ. ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ι. ΣΙΜΙΤΖΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κ. ΤΣΑΚΑΛΑΚΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**ΑΘΗΝΑ, Ιουλίου 2012**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μεταπτυχιακή εργασία ανατέθηκε από τον Επίκουρο καθηγητή του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, Δρ. Λουκά Ζουμπουλάκη, στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας στο ΔΠΜΣ «Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών» και εκπονήθηκε στην εργαστηριακή μονάδα «Προηγμένα και σύνθετα υλικά» του Τομέα ΙΙΙ της σχολής Χημικών Μηχανικών.

Από τη θέση αυτή, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς όλους όσους έβαλαν ένα λιθαράκι για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής :

Τον επίκουρο καθηγητή μου, Δρ. Λουκά Ζουμπουλάκη, ο οποίος πρότεινε το θέμα, χορήγησε τα απαραίτητα βιβλιογραφικά και τεχνικά μέσα, παρακολούθησε με ενδιαφέρον την εργαστηριακή πορεία, προτείνοντας λύσεις και βοηθώντας αποφασιστικά στην περάτωσή της.

Την ερευνητική ομάδα του εργαστηρίου : το Διδάκτορα κύριο Σούλη Σπυρίδωνα , την Διδάκτορα κυρία Τριάντου Δέσποινα για την υποστήριξη τους και την πολύτιμη βοήθεια τους κατά την λήψη των μετρήσεων FTIR, την Σοφία Καραμάνου και Σωτηρία Καραγιοβανάκη καθώς και όλους τους προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές του εργαστηρίου για την άριστη συνύπαρξη και συνεργασία.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που στέκεται πάντα δίπλα μου και στους καλούς μου φίλους , που με στηρίζουν σε όλες τις προσπάθειες μου και τους αγαπώ.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Βασική αρχή της Ευρωπαϊκής Περιβαλλοντικής Νομοθεσίας και Στρατηγικής είναι η μείωση των αποβλήτων σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση- ανακύκλωσης τους. Τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις είναι ένα από τα μεγαλύτερα ρεύματα αποβλήτων στην Ε.Ε. καθώς η ποσότητά τους εκτιμάται ότι αποτελεί το 25 % της συνολικής ποσότητας των στερεών αποβλήτων .

Η Ελλάδα πρέπει να αξιοποιήσει την τεχνογνωσία και την εμπειρία των άλλων κρατών μελών της ΕΕ τα οποία έχουν επιτύχει υψηλούς βαθμούς ανακύκλωσης αποβλήτων από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις με σκοπό την αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης αυτών.

Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτέλεσε κυρίως η κατασκευή σύνθετων υλικών με μήτρα εποξειδική ρητίνη και πρόσθετα ανόργανα σωματίδια και η μελέτη των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Κατασκευάστηκαν επίσης σύνθετα υλικά εποξειδικής μήτρας με πρόσθετα σωματίδια από χρησιμοποιημένα δομικά υλικά με στόχο την επαναχρησιμοποίησή τους ως δομικά υλικά.

Το θεωρητικό μέρος δίνει το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την παραγωγή, τη δομή, τις ιδιότητες και τις εφαρμογές των συστατικών των σύνθετων υλικών. Επίσης , γίνεται εκτενέστερη αναφορά για την διαχείριση των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις και δίνονται παραδείγματα εναλλακτικής διαχείρισης.

Στο πειραματικό μέρος περιγράφεται λεπτομερώς η διαδικασία παραγωγής των δοκιμίων των συνθέτων υλικών. Ακολούθησαν οι δοκιμές κάμψης , διάτμησης των και ο χαρακτηρισμός με Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (FTIR).

Ακολουθούν γενικά συμπεράσματα και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντική μελέτη και περαιτέρω επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις.

## **ABSTRACT**

Reduction of waste materials, along with reusing and recycling is a basic principle of the European environmental legislation and strategy. Waste from construction and demolition works is one of the largest waste streams in the EU, as its estimated quantity reaches 25% of the total solid waste production.

Greece should utilize the expertise and experience of other EU Member States which have achieved high recycling rates by recycling waste from Excavation, Demolition and Construction works to increase their recycling rate. The purpose of this study was mainly the construction of composite materials of inorganic particles with epoxy resin and the study of their mechanical properties.

The purpose of this Thesis was mainly the construction of composed materials, having as base epoxy resin and additional inorganic particles, as well as the study of their mechanical properties. Composed materials of epoxy resin have been constructed, with the additional particles from already used building materials. The purpose is the reuse of these materials as building materials.

The experimental part describes in detail the production process of the composite samples. Then the results are cited for a series of experiments such as bending, shear stress, and the designation of the surfaces by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).

Finally general conclusions and recommendations are given for future study and further reuse of waste from construction and demolition works.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

	Σελ
<b>1.ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ</b>	01
1.1. Γενικά	01
1.2. Κατηγορίες Ρητινών	03
1.3 Εποξειδικές Ρητίνες	04
1.3.1 Γενικά	04
1.3.2 Βασικά χαρακτηριστικά των εποξειδικών ρητινών	07
1.3.3 Εφαρμογές εποξειδικών ρητινών	08
1.3.4 Πωλήσεις εποξειδικών ρητινών	13
1.3.5 Δοκιμές εποξειδικών ρητινών – Έλεγχος ποιότητας	13
1.3.6 Σκλήρυνση	14
1.3.7 Συσκευασία	18
1.3.8 Αποθήκευση	18
1.3.9 Ασφαλής χειρισμός	19
<b>2 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ</b>	
2.1 Γενικά	20
2.2 Ιδιότητες σύνθετων υλικών	21
2.3 Πλεονεκτήματα Συνθέτων Υλικών	22
2.4 Κατηγορίες Σύνθετων Υλικών	23
2.4.1 Σύνθετα Υλικά με Ενίσχυση σωματιδίων	23
2.4.2 Σύνθετα Υλικά με Ενίσχυση ινών	25
<b>3. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ</b>	

---

3.1. Πρώτες ύλες – Υλικά δόμησης	28
3.2 Είδη τούβλων	29
3.3 Επιχρίσματα	30
3.4 Χρώματα	30
3.4.1 Κατηγορίες πλαστικών χρωμάτων	31
3.4.2 Τα κυριότερα συστατικά του πλαστικού χρώματος	31
3.4.3 Άλλες κατηγορίες χρωμάτων	32
3.5 Κονιάματα	32

---

## **4. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

4.1 Ανακύκλωση	35
4.2 Απόβλητα από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις	37
4.2.1 Ορισμοί	37
4.2.2 Στατιστικά στοιχεία Μεθόδων Διαχείρισης σε Ευρωπαϊκές χώρες	41
4.2.3 Η Διαχείριση των Αποβλήτων από Κατασκευές και Κατεδαφίσεις	44
4.2.4 ΤΑ Ποσοτικά στοιχεία αποβλήτων από Κατασκευές και Κατεδαφίσεις στην Ελλάδα	50
4.2.5 Νομοθετικό Σχέδιο διαχείρισης για τη απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων στην Ελλάδα	55
4.2.6 Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος για την διαχείριση των ΑΚΚ αποβλήτων	60
4.2.7 Απόβλητα από κατασκευές	62
4.2.7.1 Επεξεργασία μίγματος αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις	63
4.2.8 Απόβλητα Οδοποιίας	65
4.2.9 Διαγράμματα Ροής Διαχείρισης ΑΕΚΚ	66
4.2.10 Τοποθεσία της διαχείρισης των αποβλήτων	68
4.2.10.1 Εκτός του χώρου της διαχείρισης των αποβλήτων	70
4.2.10.2 Εντός των εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων	71



4.3 Εναλλακτικά συστήματα για τη διαχείριση των ΑΚΚ αποβλήτων	74
4.3.1 Εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων κατεδαφίσεων	74
4.3.2 Εναλλακτική διαχείριση των Αποβλήτων κατασκευών	74
4.3.3 Εναλλακτική Διαχείριση Επιμέρους Αδρανών Οδοποιίας	78
4.4 Επικίνδυνα υλικά στα απόβλητα ΕΚΚ	80
4.5 Ρυπασμένα εδάφη	84
4.6 Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων του ΑΚΚ αποβλήτων	85
4.7 Κόστος Διαχείρισης Αποβλήτων από εσκαφές και κατεδαφίσεις	86
4.8 Ποσοτικοί στόχοι για την συλλογή – αξιοποίηση των αποβλήτων από κατασκευές, εσκαφές και κατεδαφίσεις	87
4.9 Προτεινόμενες δράσεις	88

## **5. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ** 89

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

#### **6 ΠΡΩΤΕΣ ΎΛΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ**

6.1 Πρώτες Ύλες	90
6.2 Εργαστηριακές Συσκευές	96

#### **7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ FOURIER**

7.1 Γενικά	97
7.2 Λειτουργία της συσκευής	101
7.3 Πειραματική Διαδικασία	103
7.4 Αποτελέσματα- Σχολιασμός FTIR διαγραμμάτων	105

#### **8 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

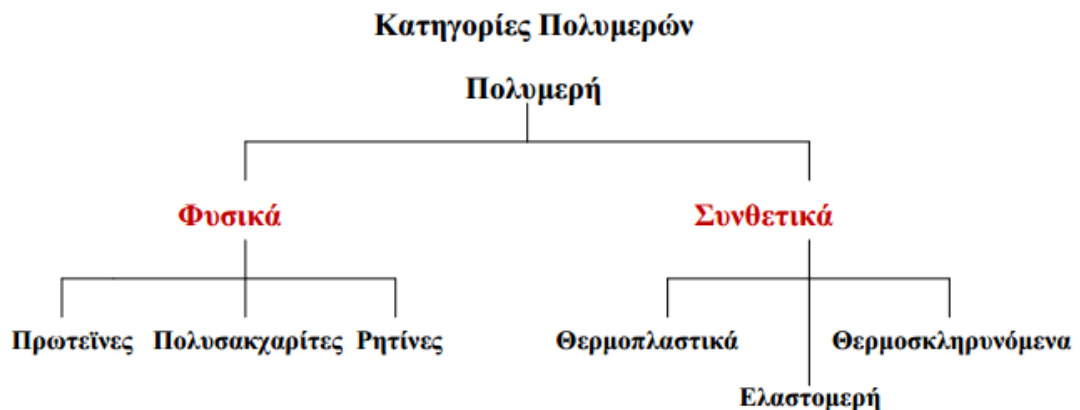
8.1 Παρασκευή και προετοιμασία δοκιμίων	127
8.2 Περιπτώσεις σύνθετων υλικών που κατασκευάστηκαν	129
8.3 Πειραματική διάταξη	131
8.4 Αντοχή σε κάμψη	133
8.5 Αντοχή σε διάτμηση	134
8.6 Συζήτηση αποτελεσμάτων	135
8.7 Συμπεράσματα	145
<b>9 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	
9.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	147
9.2 Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες	147
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>148</b>



# 1. ΘΕΡΜΟΣΚΛΗΡΥΝΟΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

## 1.1. Γενικά

Η φυσική συμπεριφορά των πολυμερών, για παράδειγμα κατά την διαδικασία της θέρμανσης τους, επιβάλλει μια συσχέτιση με τη μοριακή τους δομή, γεγονός που οδηγεί στην κατάταξη των πολυμερών σε τρεις κατηγορίες: Θερμοπλαστικά, Θερμοσκληρυνόμενα και τα Ελαστομερή [1].



Σχήμα 1 : Κατηγορίες Πολυμερών

Ουσιαστικά, αυτή η κατάταξη των πολυμερών παρουσιάζει μεγάλη σημασία και πρακτική εφαρμογή. Δηλαδή, κάποιος γνωρίζοντας σε ποια κατηγορία ανήκει κάποιο πολυμερές, αμέσως προσανατολίζεται σχετικά με την μοριακή δομή του και γενικότερα με την φυσική συμπεριφορά του [1].

Θερμοσκληρυνόμενα (thermosets ή thermosetting plastics). Πρόκειται για διδιάστατα ή τρισδιάστατα δίκτυα αποτελούμενα από μικρά, σχετικά, μακρομόρια που προέρχονται από την επανάληψη του μονομερούς μερικές εκατοντάδες φορές. Κατά την ανάμιξη των συστατικών του πολυμερούς (ρητίνη με το αντίστοιχο σκληρυντικό), με ή χωρίς θέρμανση, το πολυμερές σκληραίνει και μορφοποιείται κατά αναντίστροφο τρόπο. Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή δεν επιδέχονται περαιτέρω κατεργασία, διότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας διασπώνται οι δευτερεύοντες δεσμοί, αν και το πολυμερές δεν τήκεται λόγω της ιδιάζουσας δικτυωτής κατανομής των μακρομορίων του και συνήθως είναι άμορφα. Τα κυριότερα θερμοσκληρυνόμενα είναι τα φαινολικά πολυμερή (φαινοπλάστες ή βακελίτες), οι εποξυδικές ρητίνες, οι αμινοπλάστες (ρητίνες ουρίας ή μελαμίνης με φορμαλδεύδη), οι πολυεστέρες, κλπ (2)

- Πολυουρεθάνες

Οι σκληρές πολυουρεθάνες χρησιμοποιούνται σαν βερνίκια (DD-βερνίκια), και σαν κόλλες δύο συστατικών, ελαστικές πολυουρεθάνες χρησιμοποιούνται σε αρμούς διαστολών, τα αφρώδη προϊόντα πολυουρεθάνης χρησιμοποιούνται

ως υλικά θερμομόνωσης και ηχομόνωσης και στην βιομηχανία επίπλων ως κελύφη καθισμάτων.

- Εποξεικές ρητίνες (όπου παρακάτω γίνεται εκτενέστερη αναφορά)
- Ρητίνες Φορμαλδεΐδης χρησιμοποιούνται κυρίως σαν σταθεροποιητές διαλυτικών μέσων και βερνικιών που αντέχουν στο φως και την τριβή.
  - Ρητίνες ουρίας- φορμαλδεΐδης
  - Ρητίνες μελαμίνης – φορμαλδεΐδης
  - Ρεζορσίνη ή Ρεζορκίνη φορμαλδεΐδης (συγκολλητική ουσία)
  - Ρητίνες φαινόλης – φορμαλδεΐδης

Χαρακτηριστικά Θερμοσκληρυνόμενων:

1. Πολύ σκληρά,
2. Ανθεκτικά στην θερμότητα,
3. Δεν μορφοποιούνται με πλαστικότητα ,
4. Άτηκτα,
5. Αδιάλυτα
6. Διαποτίζονται μόνο πολύ λίγο από διαλύτες (1)

## 1.2. Κατηγορίες Ρητινών

Τα πολυμερή ανάλογα με την μορφή στην οποία διατίθενται για την περαιτέρω επεξεργασία τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Μεταξύ αυτών και οι συνθετικές ρητίνες [1].

Συνθετικές ρητίνες είναι χαμηλού μοριακού βάρους ενδιάμεσα προϊόντα ή πρώτες ύλες από μακρομοριακές ενώσεις που ευρίσκονται στην υγρή κατάσταση ή είναι διαλυτά ή τηκνόμενα στερεά και που λαμβάνουν την απαιτούμενη αντοχή για τις συγκεκριμένες εφαρμογές μόνο κατόπιν της κατάλληλης επεξεργασίας τους. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

a) Βασικές Ύλες για βερνίκια, επιχρίσματα και κόλλες, φερόμενες με την μορφή διαλυμάτων και γαλακτωμάτων.

b) Τεχνικές Ρητίνες ως συνδετικά μέσα για ξύλινα αντικείμενα, δέρματα, τεχνητό λίθο και ενδιάμεσα προϊόντα για την κυρίως επεξεργασία των πολυμερών, ενώ συνήθως μαζί με τα πρόσθετα επεξεργάζονται προς μια «μάζα μορφώσεως», δηλαδή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή των τελικών εμπορικών προϊόντων του πολυμερούς με μορφοποίηση υπό θέρμανση και πίεση [1].

Οι τεχνητές ρητίνες αποτελούνται από μία ευρεία συλλογή πολυμερών:

1. Σκληρυνόμενες τεχνητές ρητίνες :

i. Θερμοσκληρυνόμενες Ρητίνες: Σκληραίνουν μόνιμα κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού και σκλήρυνσής τους (curing). Τέτοιες είναι οι φαινολικές ή φαινοπλάστης (phenolic), οι εποξειδικές (epoxy), οι βινυλεστερικές (vinylester) και οι πολυεστερικές (polyester) ρητίνες, οι οποίες αποτελούν και τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες. Αυτές αναμειγνύονται με φυτικές ρητίνες (κυρίως με κολοφώνιο), με λινέλαιο ή με τερεβινθέλαιο δίνουν πολλά είδη υλικών, τα οποία διαλύονται μόνο στα έλαια. Χρησιμοποιούνται στην παρασκευή βερνικιών και χρωμάτων, κυρίως σε εξωτερικές επιφάνειες, λόγω της αντοχής τους στις καιρικές συνθήκες και στην ταχεία ξήρανση [1].

ii. Μονομερείς Ρητίνες Χυτεύσεως : πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο)

2. Ρητίνες για βερνίκια , μέσα διαποτίσεως, κόλλες κλπ :

i. Θερμοπλαστικές Ρητίνες: Είναι διαλύματα πτητικών διαλυτών (20-60%) και επίσης αραιές υδατικές διασπορές. Τέτοιες είναι το πολυ(χλωριούχο βινύλιο), πολυ(οξικό βινύλιο), πολυ(βινυλική αλκοόλη).

ii. Ρητίνες σκληρυνόμενες ως πλέγμα : Τέτοιες είναι ρητίνες φορμόλης – ουρίας (αμινοπλάστες) , οι οποίες διαλύονται στο οινόπνευμα και στους υδρογονάνθρακες, οι ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες, οι εποξειδικές ρητίνες, η πολυουρεθάνη, γλυκεροφθαλικές ρητίνες. Τα παρασκευαζόμενα βερνίκια είναι άχρωμα και ανθεκτικά στο φως,

αντέχουν στις καιρικές συνθήκες και ξεραίνονται ταχύτατα. Η σχηματιζόμενη μεμβράνη επί της χρωματιζόμενης επιφάνειας, έχει μεγάλη σκληρότητα και υψηλή αντοχή [1]

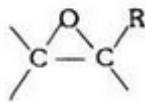
## 1.3 Εποξειδικές Ρητίνες

### 1.3.1 Γενικά

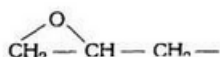
Οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην παρασκευή σύνθετων υλικών, που καλύπτουν πλήθος εφαρμογών, αποτελώντας τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες μήτρες από τις εμπορικά διαθέσιμες. Παρ' όλο που οι ακόρεστοι πολυεστέρες κοστίζουν λιγότερο και τα πολυαμίδια συμπεριφέρονται καλύτερα στις υψηλές θερμοκρασίες, οι καλές μηχανικές και γενικά το ευρύ φάσμα που καλύπτουν οι τιμές των φυσικών τους ιδιοτήτων καθώς και οι απαιτούμενες συνθήκες παραγωγής, φέρνουν τις εποξειδικές ρητίνες σε πρώτη προτίμηση. 3-6

Ο όρος εποξειδική ρητίνη αναφέρεται σε μία κατηγορία θερμοσκληρινόμενων πολυμερών που παρασκευάζονται από ένα εποξειδικό μονομερές με μία διεργασία δύο σταδίων. Στην πραγματικότητα απαιτούνται τρία αρχικά συστατικά, για τον σχηματισμό μιας εποξειδικής ρητίνης. Στο πρώτο στάδιο της διεργασίας δύο μονομερή, ένα εποξειδικό και ένα όχι, αντιδρούν σχηματίζοντας ένα χαμηλού μοριακού βάρους πολυμερές, που έχει τη μορφή παχύρευστου υγρού. Στο δεύτερο στάδιο (πολυμερισμός) το προπολυμερές αντιδρά με το τρίτο συστατικό (π.χ. σκληρυντής) και αποκτά δομή πλέγματος. Κάθε ένα από τα τρία βασικά συστατικά μπορεί να επιλέγει από μία σειρά κατάλληλων αντιδραστηρίων, με αποτέλεσμα την δυνατότητα παρασκευής πολλών διαφορετικών εποξειδικών ρητινών.

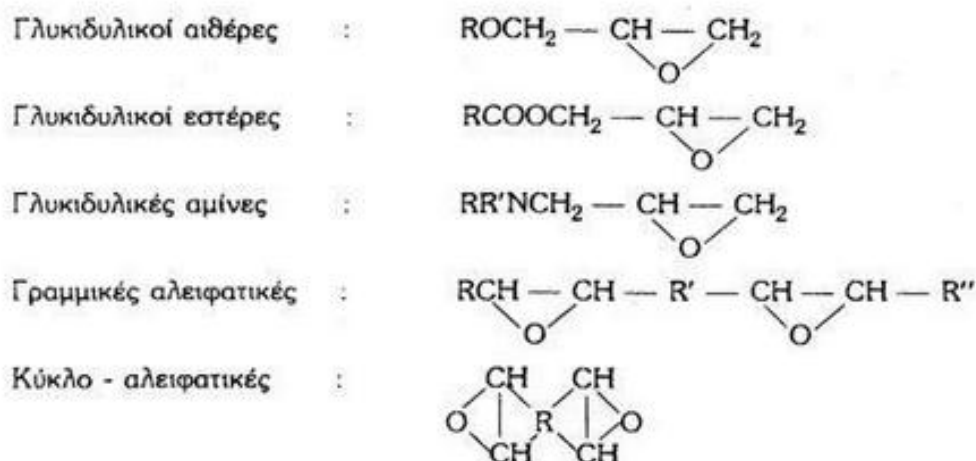
Οι εποξειδικές ρητίνες περιέχουν εποξειδικό δακτύλιο με την εξής μορφή :



Όπου R είναι το σημείο σύνδεσης με το υπόλοιπο μόριο της ρητίνης. Οι ρητίνες περιέχουν περισσότερους από έναν εποξειδικούς δακτυλίους στο μόριό τους, ενώ η πολυμερισμένη μορφή τους δεν περιέχει σχεδόν καθόλου τέτοιους δακτυλίους. Στις εποξειδικές ρητίνες εμφανίζεται η γλυκιδυλική ομάδα :

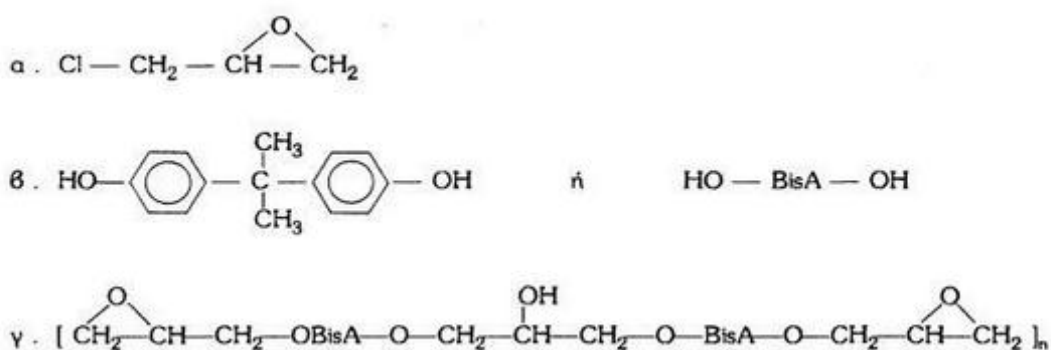


Η οποία συνδέεται με το υπόλοιπο μόριο μέσω ενός ατόμου οξυγόνου ή αζώτου ή δεσμού καρβοξυλίου. Με αυτόν τον τρόπο οι εποξειδικές ρητίνες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες :



Στο πρώτο στάδιο παρασκευής, ως εποξειδικό αντιδραστήριο χρησιμοποιείται επιχλωρυδίνη (η επιλογή της οποίας καθορίζεται και από το κόστος της), η οποία αντιδρά με ενώσεις που περιέχουν ενεργά άτομα υδρογόνου όπως οι φαινόλες ή οι αμίνες.

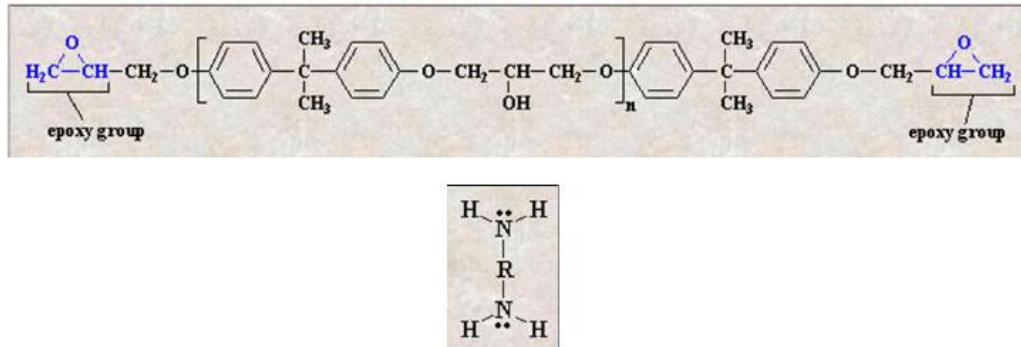
Ίσως η περισσότερο συνηθισμένη, στην τεχνολογία, εποξειδική ρητίνη είναι ο διγλυκιδυλικός αιθέρας της διφαινόλης -A (DGEBA) και τα ανώτερα ομόλογά του. Σχήμα . Η σύνθεση της ρητίνης προκύπτει από αντίδραση επιχλωρυδίνης , που είναι ενδιάμεσο προϊόν στην διαδικασία σύνθεσης γλυκερίνης, με διφαινόλη -A (BA) παρούσα αλκαλίου Σχήμα 2. Η διφαινόλη -A είναι προϊόν της πετρελαϊκής βιομηχανίας και σχηματίζεται με συμπύκνωση ακετόνης με φαινόλη.



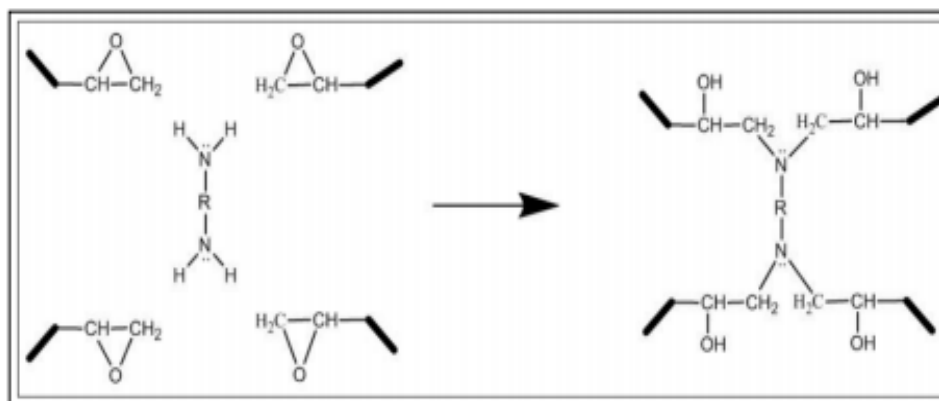
Σχήμα 2: α. Μοριακή δομή της επιχλωρυδίνης, β. Μοριακή δομή της διφαινόλης A, γ. Μοριακή δομή του εποξειδικού προπολυμερούς.



Παρακάτω αναπαρίσταται αναλυτικά η αντίδραση διαμίνης με τους οξιρανικούς δακτυλίους μακρομορίων κάτι που επίσης χρησιμοποιείται στην βιομηχανία.

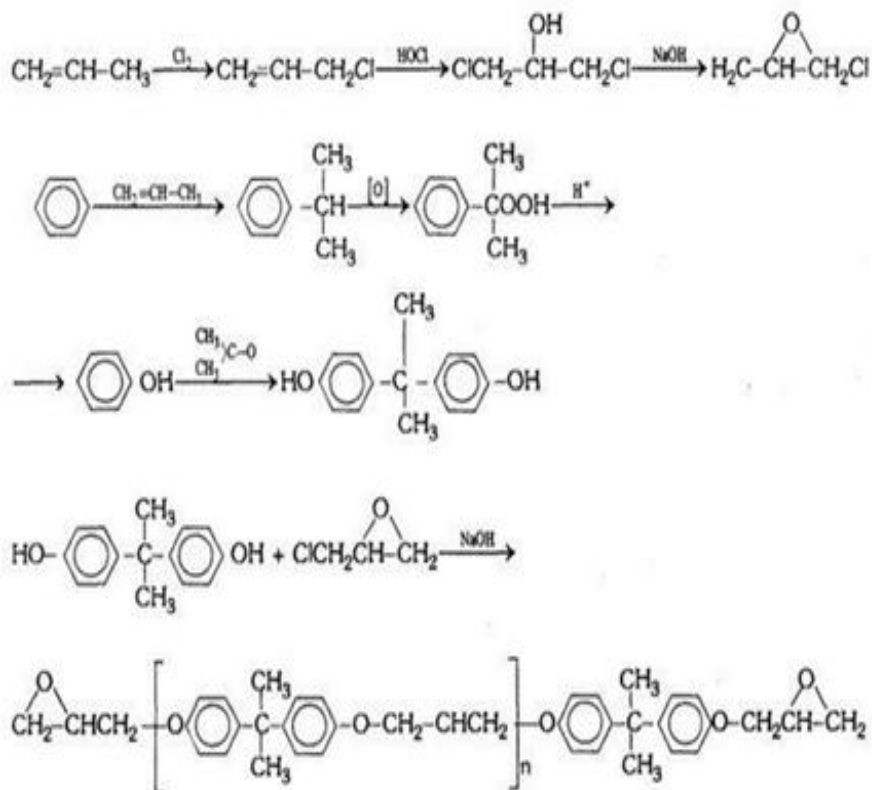


Σχήμα 3: Διδραστικό μακρομόριο και εκκινητής (διαμίνη)



Σχήμα 4 :Σχηματική αναπαράσταση αντίδρασης διαμίνης με τους οξιρανικούς δακτυλίους μακρομορίων.

Οι αντιδράσεις του παρακάτω σχήματος συνιστούν το πρώτο στάδιο της διαδικασίας της ρητίνης και καταλήγουν στον σχηματισμό παχύρευστου προπολυμερούς χαμηλού μοριακού βάρους. Ο δείκτης  $n$  είναι ο αριθμός των επαναλαμβανόμενων μονάδων στην αλυσίδα (συνήθως μικρότερος του 20). Το προπολυμερές που συντίθεται από επιχλωρυδίνη και διφαινόλη -A είναι κατά βάση πολυεστέρας και γι' αυτό αρκετά σταθερός παρουσία οξέων ή βάσεων. Εάν  $n=1$  το πολυμερές έχει τρεις δραστικές μονάδες δύο εποξειδικούς δακτυλίους και ένα υδροξύλιο και μπορεί με το δεύτερο στάδιο να αποκτήσει διασταυρούμενο πλέγμα. Εάν ο αριθμός  $n$  είναι μεγαλύτερος της μονάδος, τότε το πολυμερές έχει ακόμη περισσότερες ενεργείς ομάδες και μπορεί να σχηματίσει πιο εκτεταμένο διασταυρούμενο πλέγμα. Καθώς η τιμή του  $n$  μεγαλώνει, η ρητίνη προοδευτικά μετατρέπεται από παχύρευστο υγρό σε στερεό, στην περίπτωση που το προπολυμερές έχει μοριακό βάρος μεγαλύτερο του 5000 το ιξώδες αυξάνει πάρα πολύ με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η όλη διαδικασία.



Σχήμα 5: Σύνθεση εποξειδικής ρητίνης

(7,8,9)

### 1.3.2 Βασικά χαρακτηριστικά των εποξειδικών ρητινών

Οι εποξειδικές ρητίνες διαθέτουν ένα μοναδικό συνδυασμό ιδιοτήτων, γεγονός για το οποίο προτιμώνται και χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών:

1. Χαμηλό ιξώδες: οι υγρές ρητίνες και οι σκληρυντές τους σχηματίζουν συστήματα χαμηλού ιξώδους, εύκολα στην επεξεργασία και την τροποποίηση.
2. Εύκολη σκλήρυνση: οι εποξειδικές ρητίνες σκληραίνουν εύκολα και γρήγορα σε πρακτικά κάθε θερμοκρασία από τους 5°C έως τους 150°C, γεγονός που εξαρτάται από την επιλογή του μέσου σκλήρυνσης.
3. Χαμηλή συρρίκνωση: μία από τις πλεονεκτικότερες ιδιότητες των εποξειδικών ρητινών η οποία τους δίνει υπεροχή έναντι των άλλων ρητινών (φαινολικές, ακρυλικές, πολυεστερικές). Οι εποξειδικές ρητίνες αντιδρούν με πολύ μικρή επανατοποθέτηση και χωρίς παραγωγή πτητικών παραπροϊόντων.
4. Υψηλές αντοχές συνάφειας: λόγω της παρουσίας των πολλών ομάδων υδροξυλίου και αιθέρα αποτελούν άριστα συγκολλητικά.
5. Υψηλές μηχανικές αντοχές: λόγω του ότι παρουσιάζουν χαμηλή συρρίκνωση.
6. Καλή χημική αντοχή: η αντοχή στα χημικά εξαρτάται σημαντικά από το μέσο σκλήρυνσης που χρησιμοποιήθηκε. Με επιλογή του κατάλληλου υλικού μπορεί να ληφθεί πολύ καλή χημική αντοχή. Γενικά, ισχύει ότι οι περισσότερες εποξειδικές ρητίνες διαθέτουν υπερβολικά υψηλή αντοχή στα αλκάλια και καλή ως άριστη αντοχή στα οξέα.
7. Υψηλή ηλεκτρική μόνωση: είναι εξαιρετικοί μονωτές του ηλεκτρισμού.

8. Ιδιαίτερα εύχρηστες : λόγω του γεγονότος ότι μπορούν να τροποποιηθούν με πολλούς τρόπους. Υψηλή δύναμη συγκόλλησης. Στην σύγχρονη τεχνολογία πλαστικών είναι από τις μεγαλύτερες που έχουν παρατηρηθεί. Αυτή η ιδιότητα αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για τις πολλές εφαρμογές. (4)
9. Ποικιλία εφαρμογών. Οι βασικές τους ιδιότητες μπορούν να τροποποιούνται κάθε φορά ανάλογα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. (Ανάμειξη με κάποιο πρόσθετο της επιλογής μας, χρήση τροποποιητικών και συνθέσεων).
10. Συνολικά οι εποξειδικές ρητίνες έχουν πολύ υψηλή αντίσταση στα καυστικά και καλή μέχρι άριστη στα οξέα.
11. Μικρή συστολή κατά τον πολυμερισμό και κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους. Αυτή η μικρή συστολή είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τις εποξειδικές ρητίνες

### Μειονεκτήματα:

- 1) Η σχετικά μικρή θερμική αντοχή (αποσύνθεση στους 200 °C )
- 2) Η δυσχέρεια απομάκρυνσής τους από τα καλούπια κατεργασίας
- 3) Το μέσο έως υψηλό κόστος
- 4) Σε αντίθεση με τις πολυεστερικές όπου τα αντιδρώντα της χημικής ένωσης υπάρχουν ήδη και απλά ο καταλύτης επιταχύνει τη διαδικασία, στην περίπτωση της εποξικής ρητίνης αυτά που αναμιγνύουμε, η ρητίνη και ο σκληρυντής είναι τα ίδια τα αντιδρώντα της αντίδρασης, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η ακριβής μίξη τους κατά βάρος. Εάν δεν αναμιχθούν σωστά, τότε κάποιο από τα δύο αντιδρώντα θα βρίσκεται σε περίσσεια και το τελικό προϊόν θα έχει κατώτερες από τις αναμενόμενες μηχανικές ιδιότητες.

Είδος ρητίνης	Εφελκυστική αντοχή MPa	Μέτρο ελαστικότητας GPa	Επιμήκυνση Θράυσης (%)	Πυκνότητα g/cm <sup>3</sup>
Εποξική	55 - 130	2.0 - 4.5	4.0 - 14.0	1.2 - 1.3
Πολυεστερική	35 - 104	2.1 - 4.1	< 5.0	1.1 - 1.46
Βινυλεστερική	73 - 81	3.0 - 3.6	3.5 - 5.5	1.12 - 1.32

### 1.3.3 Εφαρμογές εποξειδικών ρητινών

Οι εφαρμογές υλικών βασισμένες σε εποξειδικές ρητίνες είναι εκτενείς και συμπεριλαμβάνουν επιστρώσεις, κόλλες και σύνθετα υλικά, όπως αυτά που χρησιμοποιούν ίνες άνθρακα και fiberglass ενισχύσεις (αν και πολυεστέρας, ο εστέρας βινυλίου, και άλλες ρητίνες θερμοσκληρυνόμενες χρησιμοποιούνται επίσης για πλαστικό ενισχυμένο με γυαλί). Η χημεία των εποξειδικών ρητινών και το φάσμα των διαθέσιμων στο εμπόριο παραλλαγών επιτρέπει πολυμερή θεραπεία να παράγονται με ένα πολύ ευρύ φάσμα των ιδιοτήτων. Γενικά οι εποξειδικές ρητίνες είναι γνωστές για την εξαιρετική πρόσφυση, χημική και θερμική αντοχή/ αντίσταση, καλές έως άριστες μηχανικές ιδιότητες και πολύ καλές ηλεκτρικές μονωτικές ιδιότητες. Πολλές ιδιότητες των εποξειδικών ρητινών μπορούν να τροποποιηθούν (

για παράδειγμα silver-filled εποξειδικες ρητίνες με καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι διαθέσιμες, και παρόλο που εποξειδικες ρητίνες είναι συνήθως ηλεκτρικά αγωγίμες).

Παραλλαγές που προσφέρουν υψηλή θερμική μόνωση, ή θερμική αγωγιμότητα σε συνδυασμό με την υψηλή ηλεκτρική αντίσταση για την ηλεκτρονική, είναι διαθέσιμες. (10)

### Χρώματα και επικαλυπτικά

Η ευρύτερη εφαρμογή των εποξειδικών ρητινών γίνεται στον τομέα των επικαλυπτικών με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες και αντοχή σε χημικά μέσα. Περιλαμβάνονται τα επικαλυπτικά σε μορφή σκόνης για πλυντήρια, στεγνωτήρια και άλλες ηλεκτρικές συσκευές κουζίνας. Τα επικαλυπτικά με βάση τα εποξειδικά σε σκόνη, που η συγκόλληση τους γίνεται με τήξη, χρησιμοποιούνται ευρέως για αντιδιαβρωτική προστασία χαλύβδινων σωλήνων και εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ελαίων και αερίων, σε σωληνώσεις (χαλύβδινες) για τη μεταφορά πόσιμου νερού, σε ράβδους οπλισμού σκυροδέματος κλπ [11].

Εποξειδικά επικαλυπτικά χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως ως αστάρια για τη βελτίωση της πρόσφυσης των θαλασσιών χρωμάτων και της αυτοκινητοβιομηχανίας. Μεταλλικά δοχεία κονσέρβας και άλλα δοχεία για τρόφιμα, όπως π.χ. τομάτες που είναι όξινες συνήθως επικαλύπτονται με εποξειδικά για να αποτραπεί η διάβρωση τους. Οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται επίσης για δάπεδα υψηλών απαιτήσεων και για διακοσμητικά δάπεδα[11].

Οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται επίσης για την υψηλή απόδοση και διακοσμητικές εφαρμογές δαπέδου, μωσαϊκού δαπέδου, chip flooring και έγχρωμο αμμοχάλικο δάπεδο .(12)

### Κόλλες



Εικόνα 1 :Μια εποξειδική ρητίνη είναι αρκετά ισχυρή για να αντέξει τις δυνάμεις μεταξύ του πτερυγίου της σανίδας πτερυγίου και της βάσης του. Αυτή η εποξειδική ρητίνη είναι αδιάβροχη και μπορεί να ωριμάζει υποβρύχια. Η ρητίνη με το μπλε χρώμα στα αριστερά εξακολουθεί να υφίσταται ωρίμανση.

Εποξειδικές κόλλες είναι ένα σημαντικό μέρος της κατηγορίας των συγκολλητικών ουσιών που ονομάζονται «δομικά συγκολλητικά" ή "συγκολλητικά μηχανικής" (που περιλαμβάνει πολυουρεθάνη , ακρυλικά , κυανοακρυλική , και άλλες χημείες). Αυτά τα συγκολλητικά υψηλής απόδοσης που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των

αυτοκινήτων, αεροσκαφών, ποδηλάτων, σκαφών, μαστουριών του γκολφ, σανίδων του σκι, snowboard, καθώς και άλλες εφαρμογές όπου απαιτείται η υψηλή αντοχή πρόσφυσης. Εποξειδικές κόλλες μπορεί να αναπτυχθεί για να ταιριάζουν σχεδόν σε οποιαδήποτε εφαρμογή. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κόλλες για ξύλο, μέταλλο, γυαλί, πέτρα, και ορισμένα πλαστικά. Μπορεί να είναι εύκαμπτα ή δύσκαμπτα, διαφανή ή αδιαφανή/έγχρωμα, σκληρυνόμενα γρήγορα ή πολύ αργά και είναι γενικώς ασυγκρίτως καλύτερα από τα κοινά συγκολλητικά όσον αφορά την αντίστασή τους στη θερμότητα και στα χημικά .

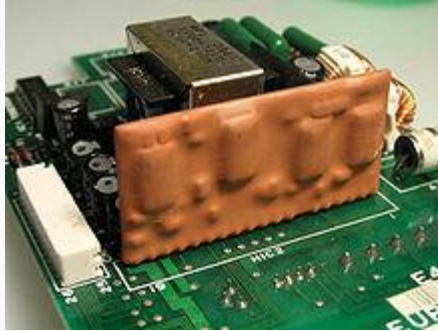
Εκτός από την επισκευή ρωγμών οι εποξειδικές κόλλες χρησιμοποιούνται στις επισκευές και ενισχύσεις στις παρακάτω περιπτώσεις :

- Στη τεχνική των επικολλητών ελασμάτων είναι το μέσο το οποίο συνδέει το έλασμα με το υπάρχον σκυρόδεμα .
  - Για τη συγκόλληση φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) σε υπάρχον σκυρόδεμα .
  - Για την αγκύρωση αγκυριών , βλήτρων και οπλισμών σε σκληρυμένο σκυρόδεμα.
  - Στις περιπτώσεις αποκατάστασης βλαβέντων στοιχείων του σκυροδέματος του κτιρίου στις οποίες θα χρειαστεί να σκυροδετηθεί νωπό σκυρόδεμα επάνω στο παλαιό, θα χρησιμοποιηθεί κατάλληλος τύπος εποξειδικής ρητίνης και θα ακολουθείται η εξής τεχνική [13] :
- Επιμελημένος καθαρισμός της επιφάνειας του παλαιού σκυροδέματος και ξήρανση .
  - Επάλειψη της ξηρής επιφάνειας με εποξειδική ρητίνη .
  - Διάστρωση του νωπού σκυροδέματος πριν αρχίσει η σκλήρυνση της ρητίνης .

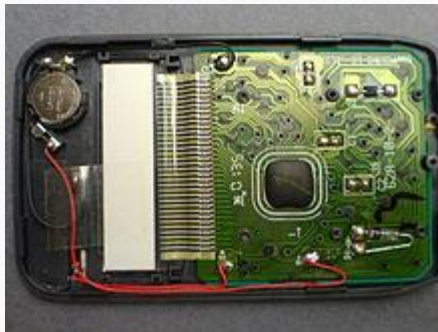
## **Βιομηχανικά εργαλεία παραγωγής και σύνθετα υλικά**

Τα εποξειδικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καλουπιών, μοντέλων, αντικολλητών φύλλων, στη χύτευση και στη βιομηχανική παραγωγή βοηθημάτων [11]. Τα εποξειδικά χρησιμοποιούνται επίσης στην παραγωγή στοιχείων ενισχυμένων με ίνες ή από σύνθετα υλικά. Είναι πιο ακριβά από τις πολυεστερικές ρητίνες και τις ρητίνες από βινυλεστέρα, αλλά γενικώς παράγουν ισχυρότερα και πιο ανθεκτικά στη θερμοκρασία σύνθετα υλικά [11]

## **ηλεκτρικά συστήματα και ηλεκτρονικά**



Εικόνα 2: Ένα υβριδικό κύκλωμα ενσωματωμένο σε εποξική ρητίνη πάνω σε τυπωμένη πλακέτα.



Εικόνα 3: Το εσωτερικό ενός υπολογιστή τσέπης. Ο σκουρόχρωμος όγκος εποξικής ρητίνης στο κέντρο καλύπτει το τσιπ του επεξεργαστή.

Τα σκευάσματα από εποξειδική ρητίνη είναι σημαντικά για την βιομηχανία ηλεκτρονικών ειδών, και σε κινητήρες, γεννήτριες, μετασχηματιστές, στον εξοπλισμό διανομής μεγάλων ηλεκτρικών φορτίων, στους μονωτήρες μετασχηματιστών και στους μονωτήρες. Οι εποξειδικές ρητίνες είναι εξαιρετικοί ηλεκτρικοί μονωτές και προστατεύουν τα ηλεκτρικά στοιχεία από μικρά κυκλώματα, σκόνη και υγρασία.

## Ναυτιλιακές εφαρμογές

Εποξικά πωλούνται στα καταστήματα σιδηρικών, συνήθως σε συσκευασία που περιέχει ξεχωριστό ρητίνη και σκληρυντικό, που πρέπει να αναμιγνύεται αμέσως πριν από τη χρήση. Εποξικά συνήθως δεν χρησιμοποιούνται στο εξωτερικό στρώμα του σκάφους επειδή επιδεινώνεται από την έκθεση σε **ακτινοβολία UV** φως. Χρησιμοποιούνται συχνά κατά τη διάρκεια της επισκευής σκαφών και του συνέρχασθε, και στη συνέχεια πάνω-επικαλυμμένα με συμβατικά ή δύο συστατικών χρώμα πολουρεθάνης ή θαλάσσια-βερνίκια που παρέχουν προστασία UV.(11)

Υπάρχουν δύο κύριοι τομείς της θαλάσσιας χρήσης. Λόγω των καλύτερων μηχανικών ιδιοτήτων σε σχέση με τις πιο κοινές **πολυεστερικές ρητίνες**, εποξικά χρησιμοποιούνται για την εμπορική παραγωγή των συστατικών μερών, εάν είναι απαραίτητη η υψηλή αντοχή / βάρος. Ο δεύτερος τομέας είναι ότι η δύναμή τους,

πλήρωσης κενών ιδιότητες και εξαιρετική πρόσφυση σε πολλά υλικά, όπως ξύλο έχουν δημιουργήσει μια έκρηξη σε ερασιτεχνικό κτιριακά έργα, συμπεριλαμβανομένων των αεροσκαφών και πλοίων.

- Σαν συγκολλητικά σε δομικά μέρη της ατράκτου αεροσκαφών.
- Σαν συγκολλητικό πλαστικών και μεταλλικών κομματιών σε βάρκες και αυτοκίνητα, ώστε να υπάρχει τέλεια στεγανότητα.
- Σαν φυλλώδεις ρητίνες για την κατασκευή πλαισίων και τελειωμάτων αεροσκαφών και πυραύλων.
- Ως διαλύματα επίστρωσης που έχουν βασικό συστατικό την ρητίνη και είναι πολύ χρήσιμα για την συντήρηση και την κατασκευή τελειωμάτων, όπως τελειώματα θαλάσσιας υφής, τελειώματα λιθοδομής ή τελειώματα αεροσκαφών. Επίσης χρησιμοποιούνται για επαλείψεις κατασκευαστικού χάλυβα, επαλείψεις δεξαμενών, επαλείψεις πτυσσόμενων αγωγών και για επαλείψεις σε πλάκες από σκυρόδεμα.

Κανονική **gelcoat** σχεδιασμένα για χρήση με **πολυεστέρα** ρητίνες και ρητίνες βινυλεστέρα δεν συμμορφώνονται με εποξειδικές επιφάνειες, αν και εποξική τηρεί πολύ καλά αν εφαρμοστεί σε επιφάνειες πολυεστερική ρητίνη. "Floccoat" που συνήθως χρησιμοποιείται για την επίστρωση στο εσωτερικό του πολυεστέρα fiberglass σκάφη είναι επίσης συμβατό με εποξικά.

## αεροδιαστημικές εφαρμογές

Στην αεροδιαστημική βιομηχανία, οι εποξειδικές ρητίνες εφαρμόζονται ως το υλικό της δομικής μήτρας το οποίο μετά ενισχύεται με ίνες, όπως υάλου, άνθρακος, Kevlar και βορίου. Επίσης χρησιμοποιούνται ως δομική κόλλα.

## Βιολογία

Οι υδατοδιαλυτές εποξικές ρητίνες όπως η Durcupan (12) χρησιμοποιούνται συνήθως για την ενσωμάτωση δειγμάτων που προορίζονται για παρατήρηση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σε πλαστικό, έτσι ώστε να μπορεί το δείγμα να χωριστεί σε πολύ λεπτές φέτες με μικροτόμο και στη συνέχεια να απεικονιστεί. (9)

## Τέχνη

Εποξική ρητίνη που αναμιγνύεται με χρωστική ουσία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χρώμα ζωγραφικής, ρίχνοντας αλληπάλληλα στρώματα χρώματος για να σχηματιστεί μια πλήρης εικόνα.<sup>[10]</sup>



### 1.3.4 ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Το σχετικό μέγεθος της αγοράς για τις εποξειδικές ρητίνες παρουσιάζεται στον πίνακα 2 (δεδομένα από τις πωλήσεις στις Η.Π.Α τη περίοδο 1990 -1991) , από όπου φαίνεται ότι αποτελούν σημαντικά βιομηχανικά πολυμερή.

Πίνακας 2.1: Πωλήσεις εποξειδικής ρητίνης στις Η.Π.Α., 1990-1991

Ρητίνες	[1990]			[1991]	
	Πώληση σε χιλιάδες τόνους	Προσεγγιστικό σχετικό κόστος	Προσεγγιστική σχετική αξία	Πώληση σε χιλιάδες τόνους*	Προσεγγιστική σχετική αξία
Εποξειδικές	211	3,8	802	195	741
Φαινολικές	1286	1,3	1672,8	1163	1512
Ακόρεστοι Πολυεστέρες	558	2,9	1618	492	1427
Ουρεία και Μελαμίνη	761	-	-	667	-
Πολυστηρένιο	2297	1,15	2,64	2219	2552

\*Η κατανάλωση την Ιαπωνία το 1991 ήταν 166 τόνοι εποξειδικής και 386 τόνοι φαινολικής ρητίνης

(4)

Από το 2006, η βιομηχανία εποξειδική ανέρχεται σε περισσότερα από 5 δισεκατομμύρια δολάρια σε Βόρεια Αμερική και περίπου 15 δισεκατομμύρια δολάρια παγκοσμίως. Η κινεζική αγορά έχει αυξηθεί ραγδαία, και αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 30% της συνολικής παγκόσμιας αγοράς. Αποτελείται από περίπου 50-100 κατασκευαστών ή των βασικών εμπορευμάτων εποξειδικές ρητίνες και τα σκληρυντικά.

Επηρεάστηκαν από την παγκόσμια οικονομική ύφεση, το μέγεθος της αγοράς μειώθηκε σε εποξειδική 15,8 δισεκατομμύρια δολάρια το 2009, σχεδόν στο επίπεδο του 2005. Σε ορισμένες περιφερειακές αγορές μειώθηκε ακόμη και σχεδόν 20%. Η σημερινή αγορά εποξική βιώνει θετικό ρυθμό ανάπτυξης, καθώς η παγκόσμια οικονομία αναβιώνει. Με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 3,5 - 4% η αγορά εποξική αναμένεται να φθάσει τα 17,7 δισεκατομμύρια δολαρίων από το 2012 και 21,35 δολάρια μέχρι το 2015. Υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης προβλέπεται στη συνέχεια, λόγω αύξησης των απαιτήσεων από εποξική σύνθετα αγορά και εποξική κόλλα της αγοράς

### 1.3.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ-ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Για τον έλεγχο των χαρακτηριστικών ποιότητας των εποξειδικών ρητινών (π.χ . άντοχη , ιξώδες , μέτρο ελαστικότητας κ.λ.π.) ισχύουν διάφορες ξένες προδιαγραφές που έχουν θεσπιστεί από την A.S.T.M ή την A.A.S.H.T.O (Αμερικάνικες προδιαγραφές) ή από άλλους εθνικούς ή διεθνείς οργανισμούς τυποποίησης [16] .



Πρέπει να ελέγχεται ότι οι μηχανικές αντοχές του τελικού σκληρυμένου εποξειδικού υλικού είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες αντοχές του στοιχείου πάνω στο οποίο θα εφαρμοστεί . Ο προμηθευτής πρέπει να παρέχει χαρακτηριστικά στοιχεία ιδιοτήτων του διατιθεμένου υλικού του και κατά προτίμηση σε ότι αφορά τα κατωτέρω τα οποία αναφέρονται στην προδιαγραφή A.A.S.H.T.O.T 237-73 . Η προδιαγραφή A.A.S.H.T.O.T 237-73 περιλαμβάνει της εξής δοκιμές [13] :

- Μέγιστος χρόνος για χρησιμοποίηση μετά την ανάμιξη (pot- life) κατά A.A.S.H.T.O. T237.
- Ειδικό βάρος (πυκνότητα) κατά A.A.S.H.T.O. T 237.
- Ιξώδες κατά Saybolt-Fyrol
- Δοκιμή ροής κατά A.A.S.H.T.O. T 237.
- Δοκιμή προσφύσεως στο σκυρόδεμα κατά A.A.S.H.T.O. T 237.
- Δοκιμή αντοχής σε λοξή διάτμηση κατά A.A.S.H.T.O. T 237.
- Δοκιμή θιξοτροπίας κατά A.A.S.H.T.O. T 237.
- Δοκιμή υδατοαπορροφήσεως κατά A.A.S.H.T.O. T 237.
- Δοκιμή συγκολλήσεως νωπού σκυροδέματος επάνω σε σκληρυμένο σκυρόδεμα κατά A.A.S.H.T.O. T 237.
- Δοκιμή αντοχής μετά από διύγρυνση κατά A.A.S.H.T.O. T 237.

Η καταλληλότητα του εποξειδικού υλικού θα κρίνεται βάσει των προσδιοριζόμενων ιδιοτήτων του από το Εργαστήριο, ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο προορίζεται.

### 1.3.6 ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαδικασία της σκλήρυνσης των εποξειδικών ρητινών. Η σκλήρυνση των ρητινών αφορά τον σχηματισμό ενός άκαμπτου, τρισδιάστατου πλέγματος, με την αντίδραση τους με σκληρυντές οι οποίοι έχουν περισσότερα από δύο ενεργά μέρη. Με εξαίρεση την ζελατινοποίηση η διαδικασία είναι συνεχής. Τα σύμβολα που εμφανίζονται στο σχήμα αντιστοιχούν στα εξής :

$X_e = E_0 - E(t_c) / E_0$  , ο βαθμός της αντίδρασης

$E_0$  , η αρχική συγκέντρωση των εποξειδικών ομάδων

$E(t_c)$ , η συγκέντρωση τη στιγμή της σκλήρυνσης  $t_c$

$T_c$ , η θερμοκρασία της σκλήρυνσης

$w_s = \frac{\text{βαρος διαλυτων μοριων}}{\text{συνολικο βαρος δειγματος}}$  , το κλάσμα υγρού στο σύστημα

$w_g = \frac{\text{βαρος διακλαδισμενων πλεγματος}}{\text{συνολικο βαρος δειγματος}}$  , το κλάσμα ζελατίνας στο σύστημα

(3)

Στο δεύτερο στάδιο, της διεργασίας παρασκευής, προστίθεται στο προπολυμερές ο κατάλληλος σκληρυντής προκειμένου να δημιουργηθεί το διασταυρούμενο πλέγμα του τελικού θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς. Η σκλήρυνση των προπολυμερών των εποξειδικών ρητινών γίνεται κυρίως με αντίδραση σταδιακού πολυμερισμού. Σε αυτήν την αντίδραση χρησιμοποιείται σε σημαντική αναλογία ένα μέσο σκλήρυνσης, το οποίο μπορεί να είναι αμίνη, καρβονικό οξύ, ή φαινόλες, Σχήμα 5<sup>α</sup>. (19)

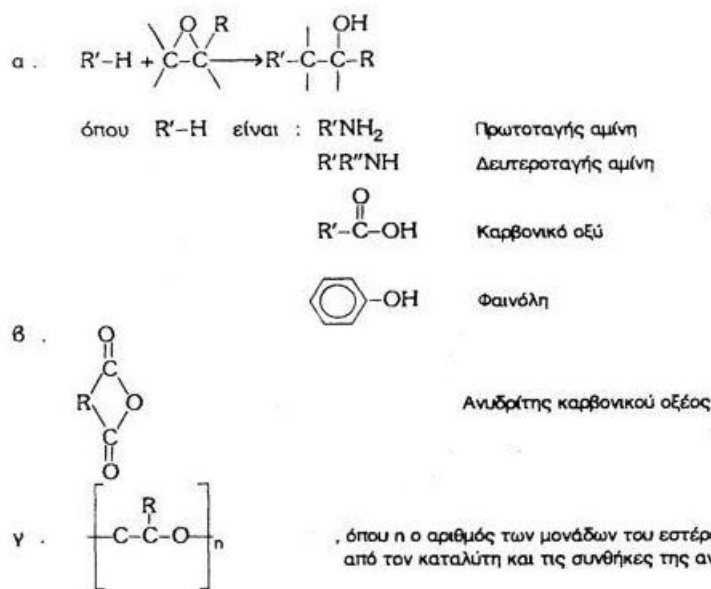
Καθώς η σκλήρυνση συνεχίζεται όλο και μεγαλύτερα μόρια σχηματίζονται, όμως πρέπει να σημειωθεί ότι το μέσο μοριακό μέγεθος είναι μικρό ακόμα και όταν οι μισές από τις ενεργές ομάδες έχουν αντιδράσει. Όταν το μοριακό μέγεθος αυξάνει καθώς και η σκλήρυνση προχωράει, έχουν σχηματιστεί κάποια πολύ διακλαδισμένα μόρια και στη συνέχεια αναπτύσσονται ακόμα πιο πολύπλοκες δομές. Το κρίσιμο σημείο είναι η ζελατινοποίηση όπου οι διακλαδισμένες δομές έχουν επεκταθεί σε όλο τον όγκο του δείγματος. Πριν τη ζελατινοποίηση το δείγμα είναι διαλυτό για κατάλληλες ουσίες, μετά όμως το σημείο ζελατινοποίησης το πλέγμα δεν θα διαλύεται, αλλά θα διογκώνεται καθώς θα απορροφά τις ουσίες αυτές. Στο σημείο ζελατινοποίησης εξακολουθούν να υπάρχουν μικρά διακλαδισμένα μόρια τα οποία είναι διαλυτά και γι αυτό στο δείγμα υπάρχουν τμήματα υγρού και τμήματα ζελατίνας. Η ζελατίνα που σχηματίζεται αρχικά είναι αδύναμη και μπορεί εύκολα να διασπαστεί. Για να κατασκευαστεί ένα δομημένο υλικό, η σκλήρυνση πρέπει να συνεχιστεί έως ότου το μεγαλύτερο μέρος του δείγματος να έχει συνδεθεί σε ένα τρισδιάστατο δίκτυο, έτσι ώστε τα τμήματα υγρού να γίνουν ασήμαντα και σε ορισμένα σκληρυμένα προϊόντα πρακτικά να μηδενιστούν. Καθώς η σκλήρυνση προχωράει συμβαίνουν ακραίες μεταβολές στις ιδιότητες της εποξειδικής ρητίνης.(19)

Δύο ακόμα είδη χημικών αντιδράσεων που, οδηγούν σε σκλήρυνση της εποξειδικής ρητίνης και στο σχηματισμό πλέγματος, είναι η αντίδραση με ανυδρίτες καρβονικών οξέων και η κατάλυση με οξέα και βάσεις.

Γενικά τα υλικά που μπορούν να προκαλέσουν σκλήρυνση των εποξειδικών ρητινών είναι δυνατό να χωριστούν σε δύο κατηγορίες :

I. Καταλυτικά, τα οποία προκαλούν αντίδραση της ρητίνης με τον εαυτόν της. Σχήμα 6<sup>α</sup>.

II. Δραστικά, τα οποία είναι οι σκληρυντές που συμμετέχουν στην αντίδραση δημιουργίας πλέγματος. Σχήμα 6β,γ.



Σχήμα 6: Η διαδικασία σκλήρυνσης της ρητίνης, επιτυγχάνεται κατά την αντίδραση της με ενώσεις που περιέχουν ενεργά άτομα υδρογόνου.(19)

Οι ενώσεις που χρησιμοποιούνται ευρύτερα ως μέσα σκλήρυνσης των εποξειδικών ρητινών που προέρχονται από την διφαινόλη Α είναι οι αμίνες. Αυτές μπορεί να είναι τόσο αλειφατικές όσο και αρωματικές. Η φύση τους επηρεάζει τόσο τις συνθήκες σκλήρυνσης, όσο και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Έτσι, τα προϊόντα που λαμβάνονται από σκλήρυνση με αλειφατικές αμίνες παρουσιάζουν γενικά μικρότερη θερμική αντοχή, συγκρινόμενα με εκείνα που λαμβάνονται από σκλήρυνση με αρωματικές αμίνες.(17,18)

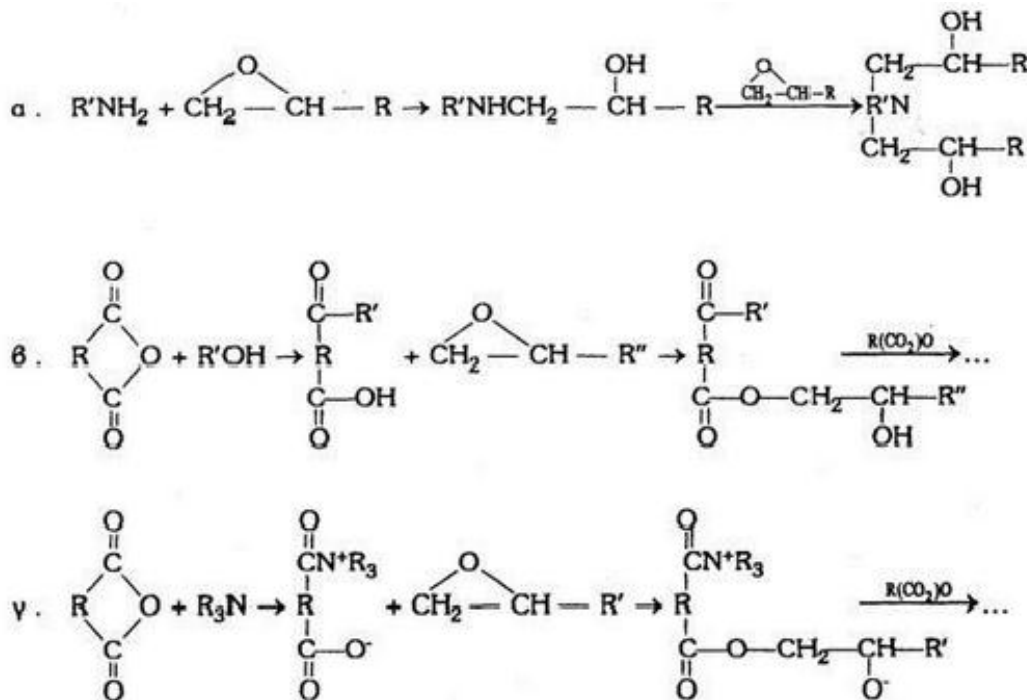
Ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι σκληρυντές είναι και τα πολυαμίδια, και συγκεκριμένα οι πολυαμιδοαμίνες, όπου η αμινομάδα εξασφαλίζει την απαραίτητη δραστηριότητα για την σκλήρυνση. Η χρησιμοποίηση των πολυαμιδοαμινών διαδόθηκε επειδή παρουσιάζουν έναν αριθμό πλεονεκτημάτων, εκ των οποίων τα κυριότερα είναι :

- 1) Παρουσιάζουν καλή αναμειξιμότητα με τις εποξειδικές ρητίνες
- 2) Ο χειρισμός τους είναι ευχερής και δεν χρειάζεται η παρουσία διαλυτών
- 3) Παρουσιάζουν σχετικά μεγάλους χρόνους πήγματος με αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου κατεργασιμότητας των μιγμάτων που έχουν ομογενοποιηθεί
- 4) Δεν είναι πτητικά και δεν παρουσιάζουν τα προβλήματα των πτητικών αμινών
- 5) Παρουσιάζουν ικανοποιητική δραστηριότητα και σε συνήθεις θερμοκρασίες
- 6) Παρουσιάζουν ικανοποιητική πρόσφυση και συγκόλληση για ένα μεγάλο αριθμό υποστρωμάτων
- 7) Έχουν ευελιξία συνθηκών σκλήρυνσης και ιδιοτήτων με απλή μεταβολή του μίγματος ρητίνης- σκληρυντή

- 8) Η σκλήρυνση συνοδεύεται από μικρή συστολή όγκου και τα σκληρυνόμενα προϊόντα παρουσιάζουν εξαιρετική σταθερότητα διαστάσεων
- 9) Τα σκληρυνόμενα προϊόντα έχουν υψηλές αντοχές σε εφελκυσμό, κάμψη, θλίψη και εξαιρετική αντοχή σε κρούση.(17,18)

Στις περιπτώσεις που είναι επιθυμητό πιο πυκνό διασταυρούμενο πλέγμα ,ως σκληρυντής χρησιμοποιείται ανυδρίτης ή διανυδρίτης καρβονικού οξέος, ο οποίος αντιδρά τόσο με τις ακραίες εποξειδικές ομάδες όσο και με τα εσωτερικά υδροξύλια (-OH) του προπολυμερούς, Σχήμα 6β. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην περίπτωση αυτή είναι αρκετά περίπλοκες και το σχήμα 6 περιέχει μόνο μία γενική και απλοποιημένη εικόνα. (19)

Ανάλογα με τον αριθμό αμινο -υδρογόνων του σκληρυντή (curing agent ), την δραστηριότητά τους, τον αριθμό εποξειδικών ομάδων ανά μόριο ρητίνης και την δομή κάθε ενώσεως, ποικίλλουν και οι (μηχανικές ) ιδιότητες του τελικού προϊόντος.



Σχήμα 7 : Αντιδράσεις σκλήρυνσης. (α) Αμίνης / εποξειδικής ομάδας. (β) Ανυδρίτη / εποξειδικής ομάδας παρουσία αλκοόλης. (γ) Ανυδρίτη/ εποξειδικής ομάδας με κατάλυση οξέων ή βάσεων.(19)

### 1.3.7 ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ

Οι εποξειδικές κόλλες που θα χρησιμοποιηθούν για επισκευές πρέπει να συσκευάζονται από τον προμηθευτή σε δύο διαφορετικά και διακεκριμένου τύπου δοχεία όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Ένα για την εποξειδική ρητίνη (συστατικό Α) και ένα για τον σκληρυντή (συστατικό Β). Τα συστατικά Α και Β πρέπει να έχουν τέτοια αναλογία ώστε να σχηματίζουν μίγμα καθορισμένου βάρους συγκολλητικού υλικού. Επιπλέον, τα συστατικά Α και Β πρέπει να είναι εμφανώς αντίθετου χρώματος και όταν αναμειγνύονται να δίνουν υλικό που να προσαρμόζεται με το χρώμα του σκυροδέματος [4]. Τα υλικά θα πρέπει να συνοδεύονται από εγχειρίδιο του κατασκευαστή το οποίο θα πρέπει να περιέχει τις εξής πληροφορίες: όνομα και περιγραφή προϊόντος, παρασκευάστρια εταιρία, μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά (χρώμα, ιξώδες, χρόνος εργασιμότητας, χρόνος σκλήρυνσης, ημερομηνία λήξης, μέτρο ελαστικότητας, υδατοπερατότητα, θλιπτική και εφελκυστική αντοχή), μέτρα ασφαλείας για τους εργαζόμενους και το περιβάλλον. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης εποξειδικών ρητινών για αποκατάσταση βλαβών στοιχείων του κτιρίου με τη μέθοδο των ενέσεων πρέπει επάνω στη συσκευασία του δοχείου της εποξειδικής ρητίνης να αναγράφεται ότι δεν περιέχονται διαλύτες [7].



Εικόνα 4 : Συστατικά Α και Β

### 1.3.8 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Τα συσκευασμένα συστατικά Α και Β πρέπει να αποθηκεύονται σε θέση με θερμοκρασία μεταξύ 10° και 20°C και κατά τις οδηγίες του εργοστασίου παραγωγής. Μετά από αποθήκευση τριών μηνών το συστατικό Α (η εποξειδική ρητίνη) πρέπει να ελέγχεται έναντι κρυσταλλώσεως. Ο έλεγχος της εποξειδικής ρητίνης πρέπει να γίνεται οπτικά τρεις μέρες πριν την χρησιμοποίησή της και αν υπάρχουν δείγματα κρυσταλλώσεως τότε δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίησή της [4]. Επίσης, επειδή οι εποξειδικές ρητίνες επηρεάζονται από τον ήλιο θα πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση των δοχείων στον ήλιο [2]. Σε περίπτωση μεταβολής του ιξώδους των κατά την αποθήκευση πρέπει να επιχειρείται η επαναφορά του με θέρμανση σε υδρόλουτρο και να ελέγχονται στη συνέχεια οι ιδιότητες του υλικού πριν χρησιμοποιηθεί [7]. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατή η μακροχρόνια αποθήκευσή τους [2].

### 1.3.9 ΑΣΦΑΛΗΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ

Η ενασχόληση με συστήματα εποξειδικής ρητίνης εγκυμονεί πολλούς κινδύνους. Ως προς την ανθρώπινη υγεία, υπάρχει ιδιαίτερος κίνδυνος ερεθισμού του δέρματος, των ματιών και της αναπνευστικής οδού. Πιο επικίνδυνη είναι η συμπεριφορά των σκληρυντών, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν ακόμα και εγκαύματα ανάλογα με το βαθμό επαφής.

Γενικά οι ρητίνες είναι εύφλεκτα υλικά, αλλά καίγονται σε περίπτωση πυρκαγιάς. Μερικά διαλύματα μπορεί να είναι ιδιαίτερα εύφλεκτα ανάλογα με τον υπάρχοντα διαλύτη.

Στον τομέα τέλος του περιβάλλοντος πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένες ρητίνες υγρές είναι ήπια τοξικές για τα ψάρια και δεν βιοαπικοδομούνται εύκολα, ενώ κάποια διαλύματα ρητινών περιέχουν διαλύτες, των οποίων οι εκπομπές στον αέρα θα πρέπει να ελεγχθούν. (20,17)

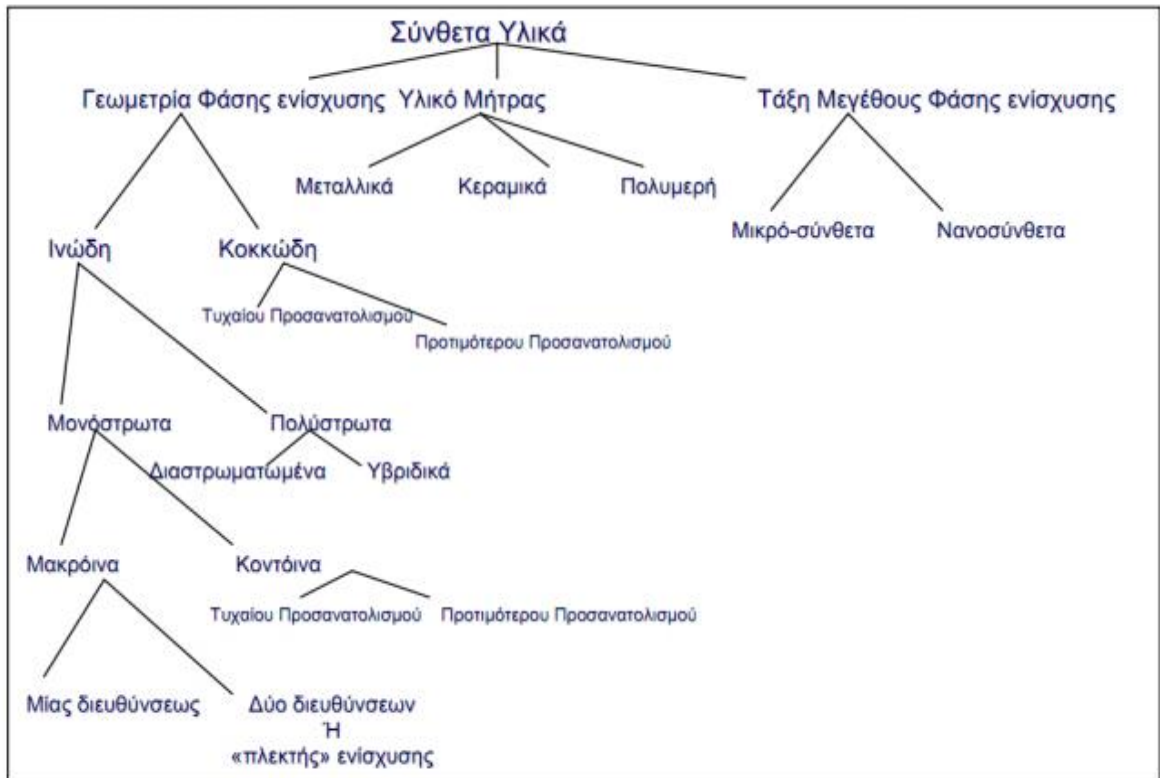
## 2 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σύνθετο υλικό θεωρείται κάθε πολυφασικό υλικό, το οποίο επιδεικνύει ένα μεγάλο ποσοστό από τις ιδιότητες και των δύο επιμέρους φάσεων, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερος συνδυασμός των ιδιοτήτων τους. Σύμφωνα με αυτή την αρχή της συνδυασμένης δράσης, καλύτεροι συνδυασμοί ιδιοτήτων διαμορφώνονται με τον επιλεκτικό συνδυασμό δύο ή και περισσότερων διακριτών υλικών. Οι συνιστώσες φάσεις πρέπει να είναι χημικά ανόμοιες και να διαχωρίζονται με μια διακριτή επιφάνεια. Έτσι, πολλά κράματα μετάλλων και πολλά κεραμικά δεν περιλαμβάνονται σε αυτό τον ορισμό διότι οι πολλαπλές φάσεις τους σχηματίζονται ως αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων [22,23].

Πολλά σύνθετα υλικά αποτελούνται από δύο φάσεις: την μήτρα, η οποία είναι μια συνεχής φάση και περιβάλλει την άλλη φάση, η οποία ονομάζεται διεσπαρμένη φάση. Οι ιδιότητες των συνθέτων υλικών είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων των συνιστωσών τους φάσεων, των σχετικών ποσών και της γεωμετρίας της διεσπαρμένης φάσης, δηλαδή το σχήμα των κόκκων, το μέγεθός τους, η κατανομή τους και τέλος ο προσανατολισμός τους [22,23].

Ένας απλός τρόπος για την ταξινόμηση των συνθέτων υλικών παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 8) και αποτελείται από τρεις κατηγορίες: ενίσχυση κόκκων (σωματιδιακά υλικά), ενίσχυση ινών (ινώδη υλικά) και δομικά σύνθετα υλικά (φυλλώδη υλικά). Η διεσπαρμένη φάση για τα κοκκώδη σύνθετα υλικά είναι η ίδια σε όλους τους άξονες (δηλαδή οι διαστάσεις των κόκκων είναι περίπου η ίδια σε όλες τις διευθύνσεις). Για τα ινώδη σύνθετα υλικά, η διεσπαρμένη φάση έχει τη γεωμετρία της ίνας (δηλαδή ο λόγος μήκους της ίνας προς τη διάμετρο είναι μεγάλος). Τα δομικά υλικά είναι συνδυασμοί των συνθέτων και ομογενών υλικών [24,23].



Σχήμα 8: Σχήμα ταξινόμησης των διάφορων ειδών συνθέτων υλικών (23)

## 2.2 Ιδιότητες σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται έναντι των συμβατικών σε πολλές εφαρμογές γιατί διαθέτουν κάποιες ιδιότητες βελτιωμένες σε σχέση με αυτές των επιμέρους υλικών που τα αποτελούν. Και δεν αρκεί μόνον αυτό, οι σύγχρονες τεχνολογικές απαιτήσεις, επιτάσσουν τα σύνθετα υλικά να έχουν ιδιότητες όχι μόνο ανώτερες αλλά και μοναδικές σε σχέση με τα υλικά που τα αποτελούν.

Ένα σύνθετο υλικό δεν μπορεί να παρουσιάζει ταυτόχρονα όλες τις ιδιότητες στο βέλτιστο επίπεδο. Άλλωστε κάτι τέτοιο δεν είναι επιθυμητό. Εκείνο που έχει πάντα μεγάλη σημασία είναι η σωστή επιλογή των καταλληλότερων σύνθετων υλικών με βάση την συγκεκριμένη εφαρμογή τους. Αυτό σημαίνει δηλαδή, ότι ένα σύνθετο υλικό που είναι κατάλληλο για την κατασκευή ενός φτερού αεροσκάφους μπορεί να μην είναι κατάλληλο για άλλες εφαρμογές όπως π.χ. στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Οι ιδιότητες των σύνθετων και όχι μόνο υλικών, διακρίνονται σε μηχανικές και φυσικές. Οι μηχανικές αναφέρονται στην αντοχή, την δυσκαμψία, την ολκιμότητα, την σκληρότητα, την μηχανική συμπεριφορά του υλικού όταν αυτό υπόκειται σε εφελκυστική, θλιπτική καταπόνηση, σε κόπωση, ερπισμό, χαλάρωση και πολλές άλλες ακόμα. Οι φυσικές ιδιότητες είναι ιδιότητες όπως η πυκνότητα, η θερμική συμπεριφορά, η αντίσταση σε διάβρωση, οι μονωτικές και άλλες.



## 2.3 Πλεονεκτήματα Συνθέτων Υλικών

Η αντικατάσταση των συμβατικών υλικών με σύνθετα, οφείλεται στα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα τελευταία χρόνια έναντι των παραδοσιακών υλικών. Κάποια από αυτά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους θα αναφερθούν στο κεφάλαιο αυτό και θα αναλυθούν εν συντομία.

Τα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες σε σύγκριση με τις ιδιότητες των επιμέρους υλικών από τα οποία αποτελούνται. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο σχεδιασμό ώστε το σύνθετο υλικό που θα προκύψει να διαθέσει όσο το δυνατό καλύτερες επιθυμητές ιδιότητες. Ο σχεδιασμός αυτός του νέου υλικού, λαμβάνει υπ' όψιν πολλές παραμέτρους ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται, τα μέσα και το κόστος της κατασκευής του.

Ο σχεδιασμός ωστόσο, αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των σύνθετων υλικών γιατί δίνει την δυνατότητα να δημιουργηθεί ένα σύνθετο υλικό τέτοιο ώστε να εξυπηρετεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο μια ή και περισσότερες εφαρμογές, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις παραμέτρους. Τα κατάλληλα υλικά που θα αποτελέσουν τα επιμέρους συστατικά του συνθέτου επιλέγονται έτσι ώστε να είναι συμβατό μεταξύ τους. Ακόμα, ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η κατασκευή του, επηρεάζει κατά πολύ το αποτέλεσμα που αντικατοπτρίζεται στις τελικές του ιδιότητες. Το κόστος των υλικών και της παραγωγής τους είναι ένας ακόμα παράγοντας που μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν. Η ευελιξία στην επιλογή όλων των παραπάνω και η δυνατότητα αλλαγής των παραμέτρων και επαναπροσδιορισμού του τελικού αποτελέσματος, αποτελεί ένα από τα πιο ισχυρά θετικά χαρακτηριστικά των σύνθετων υλικών.

Ένας από τους λόγους για τον οποίον επιλέγονται τα σύνθετα υλικά έναντι άλλων, είναι οι ειδικές ιδιότητες τους. Ειδική ιδιότητα είναι ο λόγος μιας ιδιότητας (μέτρο δυσκαμψίας, αντοχή κ.α.) προς την πυκνότητα του υλικού. Σημαντικό πλεονέκτημα των σύνθετων υλικών είναι η χαμηλή πυκνότητά τους. Εύκολα το αντιλαμβάνεται κανείς αυτό αν συγκρίνει την πυκνότητα κάποιου χάλυβα με εκείνη ενός συνθέτου πολυμερικής μήτρας ενισχυμένο με ίνες άνθρακα, με το πρώτο να έχει πυκνότητα περίπου  $\sim 8$  και το δεύτερο  $\sim 1,6 \text{ Mg/m}^3$ . Όσο χαμηλότερη είναι η πυκνότητα τόσο ελαφρύτερο είναι το υλικό και με υψηλότερες ειδικές ιδιότητες. Αυτό αποτελεί κάτι πολύ χρήσιμο για πολλές εφαρμογές, καθώς οι ελαφρές κατασκευές σε διάφορες εφαρμογές όπως στο τομέα των αεροσκαφών ή των αυτοκινήτων έχουν αποτέλεσμα να μειώνεται δραματικά ο συνολικός συντελεστής βάρους και έτσι γίνονται αποδοτικότερα με χαμηλότερο κόστος αφού απαιτούνται λιγότερα καύσιμα για την λειτουργία τους.

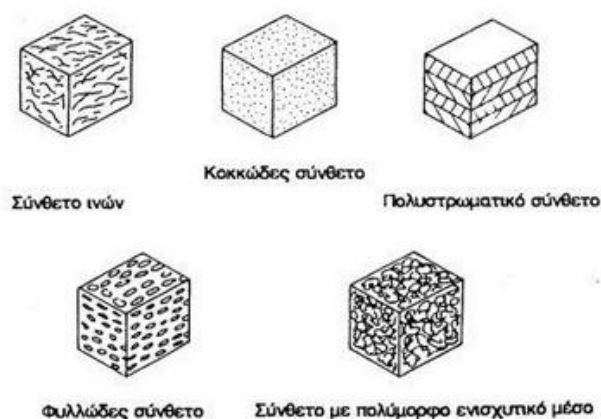
Ένα άλλο χαρακτηριστικό των σύνθετων υλικών, ιδιαίτερα στην περίπτωση των σύνθετων υλικών ενισχυμένων με ίνες, είναι η ικανότητα ανάληψης των ασκούμενων φορτίων ακόμη και μετά την αστοχία τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ίνες που σταδιακά σπάνε κατά την φάση της αστοχίας του υλικού μεταβιβάζουν τις τάσεις

στις υπόλοιπες ίνες που δεν έχουν αστοχήσει ακόμα. Σε περιπτώσεις συνθέτων υλικών με ενίσχυση ινών άνθρακα, είναι δυνατό να εξακολουθούν να φέρουν φορτία έως και το 85% της τάσης διαρροής τους. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί σημαίνει ότι ακόμη και μετά την αστοχία ενός σύνθετου υλικού, αυτό δεν θα καταρρεύσει.

Ο τρόπος παραγωγής και διαμόρφωσης των σύνθετων υλικών έχει εξελιχθεί πολύ και μπορούν να παραχθούν υλικά με τις καλύτερες δυνατές ιδιότητες και με ελάχιστες απώλειες πρώτων υλών. Διάφορες κατασκευές από σύνθετα υλικά μπορούν να κατασκευαστούν σε πολλά και πολύπλοκα σχήματα. Κατασκευές σύνθετων υλικών σε μεγάλες διαστάσεις μπορούν να κατασκευαστούν, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των τμημάτων που απαιτούνται. Η κατασκευή έτσι αποκτά μεγαλύτερη αξιοπιστία και ένα παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής αποτελεί η κατασκευή του πλαισίου ή των φτερών των αεροσκαφών.

Άλλα πλεονεκτήματα των σύνθετων υλικών έναντι των συμβατικών είναι η αντοχή σε κρουστικά φορτία, αντοχή σε διάβρωση κ.α. (26)

## 2.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ



Εικόνα 5: κατηγορίες σύνθετων υλικών

### 2.4.1 Σύνθετα με ενίσχυση σωματιδίων

Τα σύνθετα υλικά ενίσχυσης με μεγάλη διάμετρο σωματιδίων και εκείνα της ενίσχυσης με διασπορά αποτελούν τις δύο κατηγορίες των σωματιδιακών συνθέτων υλικών. Η διάκριση μεταξύ αυτών γίνεται με βάση το ενισχυτικό υλικό ή το μηχανισμό ενίσχυσης. Η μεγάλη διάμετρος των σωματιδίων έχει ως αποτέλεσμα οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων και της μήτρας να μην μπορούν να αναλυθούν σε ατομικό ή μοριακό επίπεδο και χρησιμοποιείται κατά προτίμηση η μηχανική σταθερού μέσου. Αν τα ενισχυτικά σωματίδια είναι ομογενώς καταναμημένα, τα σωματιδιακά σύνθετα έχουν ισότροπες ιδιότητες [27,24].

Για τα περισσότερα από αυτά τα σύνθετα, η κοκκώδης φάση έχει μεγαλύτερη σκληρότητα και δυσκαμψία από τη μήτρα. Οι κόκκοι ενίσχυσης τείνουν να εμποδίζουν την κίνηση της μητρικής φάσης στην γειτνίαση κάθε κόκκου. Στην ουσία,

η μήτρα μεταφέρει μερική από την τάση που εξασκείται από τους κόκκους, οι οποίοι με την σειρά τους φέρουν ένα μέρος από το φορτίο. Ο βαθμός ενίσχυσης ή η βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς εξαρτάται από την ισχύ του δεσμού στη διεπιφάνεια μεταξύ της μήτρας και του κόκκου. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι, παρόλο που τα μικρά αυτά σωματίδια δεν είναι συνδεδεμένα με το πλέγμα, εμποδίζουν την κίνηση των αταξιών και προκαλούν μια ιδιαίτερα ενισχυμένη κατάσταση. Έτσι, η πλαστική παραμόρφωση εμποδίζεται ούτως ώστε η αντοχή σε διαρροή και σε εφελκυσμό, όπως επίσης και η σκληρότητα να βελτιώνονται [24,23].

Η γνώση της κατανομής των σωματιδίων είναι αναγκαία για το σχεδιασμό της παραγωγής των συνθέτων, πράγμα που απασχολεί σοβαρά την τεχνολογία, καθώς γίνεται προσπάθεια ενσωμάτωσης ολοένα και μεγαλύτερης ποσότητας σχετικά φθηνών προσθετικών που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τις ιδιότητες, ή ακόμη να επεκτείνουν την χρήση των σύνθετων υλικών. (28)

Στον πίνακα 3 που ακολουθεί περιέχονται τα υλικά που αποτελούν τα πληρωτικά υλικά των σύνθετων υλικών(28)

<b>Κοκκώδη οργανικά</b>	<b>Κοκκώδη ανόργανα</b>		<b>Ινώδη οργανικά</b>	<b>Ινώδη ανόργανα</b>
Ξυλάλευρο	Γυαλί	TiO <sub>2</sub>	Κυτταρίνη	Αμιάντος
Φελλός	CaCO <sub>3</sub>	ZnO	Μαλλί	Γυαλί
Κελύφη καρπών	Αλουμίνα	Ζιρκόνια	Άνθρακας	Ίνες μετάλλου
Άμυλο	Οξείδιο	Ενυδατωμένη	Αραμιδική ίνα	Τιτανικό
Άνθρακας	Βηρυλλίου	Αλουμίνα	Naylon	Κάλιο
Πρωτεΐνες	Οξείδιο σιδήρου	Οξείδιο Αντιμονίου	Πολυεστέρας	Βόριο
	Μαγνησία	Σκόνη μετάλλων		Αλουμίνα
	MgCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>		Μέταλλα
	Πυριτικά	Τιτανικό κάλιο		CaSO <sub>4</sub>
	Πυριτικό βάριο	Άργιλοι		
	Ανθρακικό	Δισουλφίδιο		
	Πυρίτιο	Μολυβδίου		

Ως μήτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμοπλαστικά ή θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή. Ως θερμοπλαστικά πολυμερή χρησιμοποιούνται πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, πολυστυρένιο κλπ. Θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες που χρησιμοποιούνται ως μήτρες είναι κυρίως οι εποξειδικές, οι πολυεστερικές και οι ρητίνες φαινόλης – φορμαλδεΐδης. Ρητίνες υψηλών αποδόσεων (όπως π.χ. πολυϊμίδια) χρησιμοποιούνται για περιπτώσεις που το τελικό κατασκευαστικό αντικείμενο θα πρέπει να ικανοποιεί ακόμη υψηλότερες απαιτήσεις π.χ. να αντέχει σε υψηλότερες θερμοκρασίες.(28)

Ως κοκκώδη πληρωτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν :

A. Οργανικά. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- a) Προκαλούν μείωση της συρρίκνωσης του πολυμερούς κατά την μορφοποίησή του.
- b) Προκαλούν αύξηση της αντοχής σε κρούση.
- c) Είναι υλικά μικρού κόστους, ώστε η ενσωμάτωσή τους σε ενδεχομένως ακριβά πολυμερή να μειώνει το συνολικό κόστος.

Παράλληλα έχουν το μειονέκτημα της χαμηλής αντοχής στην θερμοκρασία.

Σ' αυτήν την κατηγορία πληρωτικών εντάσσονται οι παρακάτω ουσίες :

- 1) Κονιοποιημένη κυτταρίνη
- 2) Άμυλα
- 3) Κονιοποιημένο ελαστικό
- 4) Κοκκώδης άνθρακας

B. Ανόργανα. Η διασπορά κόκκων μετάλλου, κατά κύριο λόγο, στην πολυμερική μήτρα οδηγεί σε σύνθετα, ευρείας εφαρμογής. Βασικά τους πλεονεκτήματα είναι οι μονωτικές ιδιότητες ταυτόχρονα με τις βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και το μικρό τους βάρος. Επί πλέον, προσφέρουν θωράκιση από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αύξηση της περιεκτικότητας των σύνθετων σε μεταλλικούς κόκκους δίνει στα υλικά αυτά αγώγιμες ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ηλεκτρική θέρμανση, αλλά και στην κατασκευή περιστρεφόμενων και τριβόμενων μερών, όταν είναι εναπιθύμητη η παρουσία στατικών φορτίων. Έχουν αναφερθεί επίσης ιδιότητες διακοπτών μνήμης.

Τα ανόργανα κοκκώδη πληρωτικά μπορούν να είναι:

- 1) Πυρίτια
- 2) Αργίλοι
- 3) Οξειδία μετάλλων
- 4) Ανθρακικό Ασβέστιο
- 5) Άλατα μετάλλων
- 6) Μέταλλα σε σκόνη
- 7) Γυαλί σε σκόνη
- 8) Βαφές (28)

## 2.4.2 Σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών

Τεχνολογικώς, τα πιο σπουδαία σύνθετα υλικά είναι εκείνα στα οποία η διασπαρμένη φάση έχει τη μορφή της ίνας. Οι στόχοι σχεδιασμού τέτοιων υλικών αναφέρονται στην υψηλή αντοχή και/ή δυσκαμψία τους, με αποτέλεσμα τα ινώδη σύνθετα υλικά να παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές τιμές ειδικής αντοχής (εφελκυστική αντοχή/ειδικό βάρος) και ειδικού μέτρου ελαστικότητας (μέτρο ελαστικότητας/ ειδικό βάρος). Τα υλικά αυτά έχουν παραχθεί με χρήση χαμηλής πυκνότητας ινών και μητρικών υλικών [24]. Τα σύνθετα υλικά με ίνες μπορούν να είναι είτε ισότροπα είτε ανισότροπα. Επίσης, σε αντίθεση με τα ενισχυμένα λόγω διασποράς σύνθετα, η

αντοχή τους αυξάνεται τόσο σε θερμοκρασία δωματίου όσο και σε υψηλότερες θερμοκρασίες [24].

Η ινώδης φάση: Ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό των περισσοτέρων υλικών, ιδιαίτερος των ψαθυρών, είναι ότι οι ίνες μικρής διαμέτρου είναι πολύ πιο ανθεκτικές από το αντίστοιχο υλικό από το οποίο αποτελούνται. Η πιθανότητα της παρουσίας μιας επιφανειακής ατέλειας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε θραύση, ελαχιστοποιείται με την ελάττωση του όγκου του υλικού και αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται προ όφελος των ινωδών συνθέτων υλικών. Επίσης, τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για ίνες ενίσχυσης έχουν μεγάλες εφέλκυστικές αντοχές [23].

Όσο αφορά τη διάμετρο και τον τύπο, οι ίνες ομαδοποιούνται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

- βελόνες,
- ίνες
- σύρματα.

Οι βελόνες είναι πολύ λεπτοί μονοκρύσταλλοι στους οποίους ο λόγος του μήκους προς τη διάμετρο έχει πολύ υψηλές τιμές. Σαν αποτέλεσμα του πολύ μικρού τους μεγέθους έχουν ένα πολύ υψηλό βαθμό κρυσταλλικότητας και είναι σχεδόν ελεύθεροι ατελειών. Θεωρούνται ως τα πιο ανθεκτικά υλικά που είναι γνωστά μέχρι σήμερα. Παρά τις μεγάλες αντοχές τους, οι βελόνες δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σαν μέσα ενίσχυσης διότι είναι πάρα πολύ ακριβές. Επιπλέον είναι πολύ δύσκολη η ενσωμάτωση αυτών των βελονών μέσα σε μια μήτρα. Στα βελονοειδή συγκαταλέγονται ο γραφίτης, το καρβίδιο του πυριτίου, το νιτρίδιο του πυριτίου και το οξειδίο του αλουμινίου [23].

Τα υλικά, τα οποία ταξινομούνται ως ίνες είναι είτε πολυκρυσταλλικά είτε άμορφα και έχουν μικρές διαμέτρους. Τα ινώδη υλικά είναι γενικά πολυμερή ή κεραμικά (π.χ. αραμιδικά πολυμερή, γυαλί, άνθρακας, βόριο, οξειδίο του αλουμινίου και νιτρίδιο του πυριτίου). Τέλος, τα λεπτά σύρματα έχουν σχετικά μεγάλες διαμέτρους. Ενδεικτικά παραδείγματα αυτών των υλικών είναι το ατσάλι, το μολυβδένιο και το βολφράμιο [23].

Φάση της μήτρας: Η φάση της μήτρας των ινωδών συνθέτων υλικών μπορεί να είναι μεταλλική, πολυμερής, όπως στην παρούσα πειραματική διαδικασία η εποξειδική ρητίνη, ή κεραμική. Γενικά, τα μέταλλα και τα πολυμερή χρησιμοποιούνται σαν μητρικά υλικά γιατί είναι επιθυμητός κάποιος βαθμός ολκιμότητας. Για τα σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας, το ενισχυτικό συστατικό προστίθεται για να βελτιώσει τη δυσθραυστότητα [23].

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πιο ακριβές και εκτός από τις εμπορικές εφαρμογές που έχουν, χρησιμοποιούνται ευρέως σε αεροναυπηγικές εφαρμογές. Έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τους πολυεστέρες, ένα άλλο είδος πολυμερούς καθώς και αντοχή στην υγρασία. Για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται τα πολυϊμίδια. Το ανώτατο θερμοκρασιακό όριο για συνεχή χρήση αυτών είναι περίπου 230 °C. Τέλος, οι θερμοπλαστικές ρητίνες υψηλών θερμοκρασιών έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε αεροναυπηγικές εφαρμογές. Σε αυτά τα υλικά

συγκαταλέγονται η πολύ-αιθερ-αιθερ-κετόνη (PEEK), το πολυφαινυλοσουλφίδιο (PPS) και το πολυαιθεριμίδιο (PEI) [23].

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που αποδίδει συγκριτικά τιμές των χαρακτηριστικών διαφόρων υλικών με ινώδη ενίσχυση.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά υλικών με ινώση ενίσχυση [22].

Υλικό	Ειδική βαρύτητα	Αντοχή σε εφέλκυσμό (GPa)	Ειδική αντοχή (GPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Ειδικό μέτρο (GPa)
<b>Τριχοειδείς ίνες/whiskers</b>					
Γραφίτης	2.2	20	9.1	700	318
Νιτρίδιο του πυριτίου	3.2	5-7	1.56-2.2	350-380	109-118
Οξείδιο του αλουμινίου	4.0	10-20	2.5-5.0	700-1500	175-375
Καρβίδιο του άνθρακα	3.2	20	6.25	480	150
<b>Ίνες</b>					
Οξείδιο του αλουμινίου	3.95	1.38	0.35	379	96
Αραμίδιο (Kevlar 49)	1.44	3.6-4.1	2.5-2.85	131	91
Άνθρακας	1.78-2.15	1.5-4.8	0.7-2.7	228-724	106-407
Ύαλος τύπου E	2.58	3.45	1.34	72.5	28.1
Βόριον	2.57	3.6	1.40	400	156
Καρβίδιο του πυριτίου	3.0	3.9	1.30	400	133
Ειδικό πολυαιθυλένιο (UHMWPE - Spectra 900)	0.97	2.6	2.68	117	121
<b>Μεταλλικά σύρματα</b>					
Χάλυβας υψηλής αντοχής	7.9	20	0.30	210	26.6
Μολυβδένιο	10.2	20	0.22	324	31.8
Βολφράμιο	19.3		0.15	407	21.1

### 3. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

#### 3.1. Πρώτες ύλες – Υλικά δόμησης

Ανάλογα με το είδος των τεχνητών λίθων, οι τοιχοποιίες διακρίνονται σε ωμοπλινθοδομές, οπτοπλινθοδομές, τσιμεντοπλινθοδομές κ.ά.. Από αυτές κυρίαρχο ρόλο σήμερα έχουν οι οπτοπλινθοδομές. Οι πρώτες ύλες για τη δημιουργία οπτοπλίνθων (τούβλων) είναι η άργιλος, η άμμος και το νερό.

Η άργιλος, από γεωλογική άποψη, είναι πέτρωμα μαλακό, κατακερματικής καταγωγής, προσχλωσιγενές, προϊόν μακρόχρονης χημικής ή και μηχανικής αποσύνθεσης επιφανειακών πετρωμάτων. Η αργιλόμαζα, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των τούβλων, είναι σύνθετο υλικό, με βασικά συστατικά οξείδια πυριτίου και αργιλίου, ενώ σε μικρότερες ποσότητες ενυπάρχουν οξείδια του ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου, νατρίου, τιτανίου κ.ά., καθώς και οργανικές ενώσεις.

Η άμμος πρέπει να είναι λεπτής κοκκομετρικής σύνθεσης, πυριτική, απαλλαγμένη από ασβεστούχους κόκκους. Γενικά η αργιλόμαζα πρέπει να απαλλάσσεται από ασβεστούχα υλικά με θραύση σβώλων, γιατί υπάρχει κίνδυνος ασβεστοποίησης αυτών των σβώλων, κατά τη διαδικασία όπτησης, με πιθανότητα ρηγμάτωσης των τούβλων.

Το νερό, που χρησιμοποιείται στα κονιάματα, πρέπει να είναι καθαρό και ελεύθερο επιβλαβών προσμίξεων, όπως τα οξέα, μερικά άλατα (π.χ. θειικά και χλωριούχα) και τα σάκχαρα. Το θαλασινό νερό καλό είναι να αποφεύγεται, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις επιχρισμάτων, όπου τα άλατα μπορεί να διαλυθούν στο νερό της βροχής και να σχηματίσουν εξανθήματα.

Η πλαστιμότητα, η περιεχόμενη υγρασία, η απορροφητικότητα, η συμπεριφορά κατά την ξήρανση της αργιλόμαζας, εξαρτώνται κυρίως από την ποσότητα και την κατανομή των κόκκων, μεγέθους μικρότερου των 2 μm. Μια ισοζυγισμένη κοκκομετρική σύνθεση εξασφαλίζει σταθερή και ομογενή αργιλόμαζα. εξασφαλίζει σταθερή και ομογενή αργιλόμαζα.

Συμπερασματικά, η εμφάνιση και οι ιδιότητες μιας οπτοπλινθοδομής έχουν στενή σχέση με τα υλικά και τη διαδικασία παραγωγής οπτοπλίνθων. Ειδικότερα το χρώμα των οπτοπλίνθων εξαρτάται από τη σύνθεση της αργιλόμαζας και το περιεχόμενο ποσοστό μεταλλικών οξειδίων. Αποτελεί εξάλλου ένδειξη του βαθμού της αργιλικής μάζας (ανοιχτά χρώματα υποδηλώνουν ατελή όπτηση και πολύ σκούρα πιθανή υπερβολική όπτηση) και γενικότερα της ποιότητας και της αντοχής των τούβλων.

(29)

### 3.2 Είδη τούβλων

Η μορφή των τούβλων εξαρτάται από τα υλικά δόμησης και τον προορισμό τους στην κατασκευή. Έχουν κατά κανόνα πρισματική μορφή, με κυρίαρχο σχήμα εγγεγραμμένο σε ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Διακρίνονται σε :

α) συμπαγή τούβλα, που έχουν οπές, αλλά εκπληρούν και τις δύο ακόλουθες συνθήκες, σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς: □ το ποσοστό πλήρωσής τους είναι τουλάχιστον 75% της επιφάνειάς τους το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών υπερβαίνει τα 20mm (Εικόνα 6 )

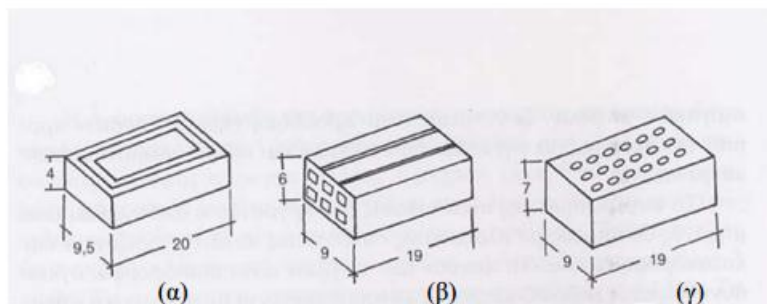
β) διάτρητα τούβλα, που έχουν καθαρή επιφάνεια, χωρίς οπές, τουλάχιστον ίση με το 45% της μεικτής επιφάνειάς τους και πάχος τοιχοσωμάτων τουλάχιστον 10mm.

Σύμφωνα με τον prEN 1996-1-1:2001 και τις συστάσεις της UNIDO (1984), για την κατασκευή φερόντων τοίχων σε σεισμογενείς περιοχές, τα διάτρητα τούβλα πρέπει να έχουν κατακόρυφες οπές και χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τουλάχιστον 5 MPa. Η χρήση οπτοπλίνθων, με οριζόντιες οπές, επιτρέπεται μόνο για διαχωριστικούς τοίχους. Το Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής του Ευρωκώδικα 6 (1996), προδιαγράφει ελάχιστη θλιπτική αντοχή οπτοπλίνθων της τάξεως των 2.5 MPa και 2.0 MPa, για φόρτιση κάθετα και παράλληλα στην πλευρά έδρασης, αντίστοιχα.

Διακρίνονται σε:

□ διάτρητους οπτοπλίνθους με οριζόντιες οπές (παράλληλες προς την επιφάνεια έδρασης (Σχ 1.1β) και με κατακόρυφες οπές (κάθετες προς την επιφάνεια έδρασης (Σχ 1.1γ). Παλαιότερα στην Ελλάδα ο αριθμός των οπών ήταν συνήθως 6 ή 9 και τα τούβλα ονομάζονταν εξάοπα ή εννιάοπα, αντίστοιχα. Σήμερα υπάρχει ποικιλία τούβλων με διάφορους αριθμούς οπών.

γ) τούβλα διαφόρων σχημάτων με ειδικές χρήσεις Σε διάφορες χώρες κυκλοφορούν και άλλες κατηγορίες και είδη οπτοπλίνθων, ανάλογα με τη θέση τους στην οικοδομή, τις ειδικές χρήσεις τους, το σχήμα τους, την αντοχή τους κ.λπ.



Εικόνα 6: Είδη τούβλων (α) συμπαγές (β) με οριζόντιες οπές και (γ) με κατακόρυφες οπές (29)



### 3.3 Επιχρίσματα

Τα επιχρίσματα (σοβάδες) είναι δομικά στοιχεία αποτελούμενα κυρίως από στρώσεις κονιάματος, που χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη τοίχων και οροφών. Η χρήση τους είναι είτε ως επιπεδωτικής στρώσης για αισθητικούς λόγους, είτε ως προστατευτικού στρώματος έναντι της υγρασίας, του ψύχους, του θορύβου και της φωτιάς.

#### Είδη επιχρισμάτων

Τα επιχρίσματα ανάλογα με τη θέση τους στην οικοδομή χωρίζονται σε εσωτερικά και εξωτερικά. Ανάλογα με τη σύνθεση τους διακρίνονται σε τσιμεντοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα κ.λπ.

Ανάλογα με τον χώρο παρασκευής τους διακρίνονται σε έτοιμα εργοστασιακά και «επί τόπου» εργοταξιακά. Τέλος, ανάλογα με την αποστολή τους χωρίζονται σε στεγανά, θερμομονωτικά, ηχομονωτικά και πυράντοχα.(29)

Πίνακας 5: Τεχνικά και μηχανικά χαρακτηριστικά κονιάματος του σοβά

Σοβάς				
Μέγιστος κόκκος άμμου	Πυκνότητα ξηρής κονιάς	Αναλογία νερού ανάμιξης	Αντοχή σε θλίψη (28 ημερών)	Αντοχή σε εφελκυσμό (28 ημερών)
< 2 mm	1.6 kg/lit	18-19 %	3 – 4 MPa	1.3 – 1.8 MPa

### 3.4 Χρώματα

#### Τα χρώματα περιέχουν 3 βασικά συστατικά:

1. Χρωστικές ουσίες που μπορεί να είναι φυσικές ή συνθετικές, όπως διοξείδιο του τιτανίου, πυρίτιο, οξείδια του σιδήρου και πολύ παλαιότερα μόλυβδος.
2. Συνδετικές ουσίες των χρωστικών. Αυτές σχηματίζουν ένα φιλμ της βαφής στον τοίχο και με τη χημική τους σύσταση συγκρατούν τα μόρια των χρωστικών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι φυσικές ρητίνες και οι συνθετικές ρητίνες όπως τα παράγωγα του ακρυλικού οξέος, οι πολυεστέρες, η εποξειδική ρητίνη η μελαμίνη κλπ. Ορισμένες ρητίνες έχουν συσχετισθεί με καρκινογενέσεις.
3. Διαλύτες. Οι βαφές τοίχου έχουν σαν κύριο διαλύτη συνήθως το νερό. Τα βερνίκια που χρησιμοποιούνται πχ στα πατώματα ή στις διακοσμητικές πέτρες συνήθως έχουν ως διαλύτες οργανικές ουσίες όπως κετόνες, γλυκόλη, διάφορα προϊόντα διύλισης πετρελαίου κ.α.

Βέβαια στα χρώματα προστίθενται και άλλα στοιχεία όπως σταθεροποιητές, αντιπηκτικές ουσίες, ρυθμιστές της οξύτητας. Παλαιότερα (μέχρι το 1990) οι βαφές μπορεί να περιείχαν και ψευδάργυρο (αυτό το επικίνδυνο μεταλλικό υγρό των παλαιών θερμομέτρων).(30)




### 3.4.1 Κατηγορίες πλαστικών χρωμάτων

Ανάλογα με το είδος της πρώτης ύλης που περιέχει το πλαστικό υπάρχουν οι εξής κατηγορίες.

- **Απλά πλαστικά.** Η πρώτη υλη που περιέχει είναι το P.V.A. (συμπολυμερή οξεικού πολυβινυλίου). Χρησιμοποιείται σε εσωτερικούς χώρους. Παρουσιάζουν πολύ καλό στρώσιμο και άπλωμα (Leveling και Flow).
- **Ακρυλικά πλαστικά.** Η πρώτη υλη που περιέχει είναι η 100% ακρυλική ή το ακρυλοστυρένιο (Styrene acrylate). Χρησιμοποιείται σε εξωτερικούς χώρους. Παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντοχή στα καιρικά φαινόμενα.(31)

### 3.4.2 Τα κυριότερα συστατικά του πλαστικού χρώματος

Το πλαστικό χρώμα αποτελείται περίπου από 13 συστατικά. Τα κυριότερα είναι τα παρακάτω:

- **1η ύλη.**  Αποτελεί το συνδετικό υλικό (γνωστό και ως binder) των συστατικών του χρώματος. Είναι το πιο σημαντικό υλικό στο πλαστικό χρώμα και χάρις σε αυτό οφείλεται ο σχηματισμός φιλμ χρώματος στον τοίχο. Παρομοιάστε το σαν ένα κουτί κόλλα και τα υπόλοιπα υλικά του χρώματος σαν ρινίσματα ξύλου. Αν πάρουμε μόνο τα ρινίσματα ξύλου και προσπαθήσουμε να καλύψουμε έναν τοίχο, το πιθανότερο είναι να μην καταφέρουμε και πολλά πράγματα. Αν πάρουμε όμως τα ρινίσματα ξύλου και τα ανακατέψουμε μέσα στην κόλλα και προσπαθήσουμε με το μίγμα να καλύψουμε έναν τοίχο τότε θα έχουμε καταφέρει περισσότερα πράγματα από πριν. Τα ρινίσματα θα είναι πάνω στον τοίχο και θα βρίσκονται εκεί για πολύ καιρό. Τώρα καταλαβαίνετε γιατί η 1η ύλη ονομάζεται και ως binder (συνδετικό υλικό). Σε ένα καλό πλαστικό χρώμα ο binder αποτελεί περίπου 25% - 30% της σύστασης του.
- **Πιγμέντα.**  Είναι σε μορφή λεπτόκοκκης σκόνης και είναι αυτό το υλικό που δίνει την καλυπτικότητα και τον χρωματισμό του πλαστικού χρώματος. Για τα έτοιμα λευκά χρώματα ως πιγμέντο χρησιμοποιείται το τιτάνιο. Όσο περισσότερο τιτάνιο έχει το πλαστικό χρώμα τόσο μεγαλύτερη καλυπτικότητα και λευκότητα έχει το χρώμα. Σε ένα καλό πλαστικό χρώμα το τιτάνιο αποτελεί περίπου 18% - 25% της σύστασης του.
- **Extenders.**  Είναι σε μορφή λεπτόκοκκης σκόνης και είναι αυτό το υλικό που δίνει το γέμισμα και την αύξηση όγκου του πλαστικού χρώματος. Προσοχή, δεν δίνει καλυπτικότητα όπως το τιτάνιο αλλά μόνο γεμιστικότητα (ονομάζονται αλλιώς και γεμιστικά - fillers). Το συνηθέστερο Extender είναι το ανθρακικό ασβέστιο. Σε ένα καλό πλαστικό χρώμα τα ανθρακικά ασβέστια αποτελούν περίπου 10% της σύστασης του. Σε οικονομικά πλαστικά το

ποσοστό των extenders είναι μεγαλύτερο επειδή οι σκόνες αυτές είναι φτηνότερες από τα υπόλοιπα συστατικά του χρώματος. Πολλές φορές ο μογιάτζής για να χαρακτηρίσει την κακή ποιότητα ενός πλαστικού λέει την φράση το πλαστικό 'είναι γεμισμένο με σκόνες'. Λέγοντας 'σκόνες' αναφέρετε στα Extenders.

- **Νερό.** Αποτελεί περίπου το 17% της σύστασης του πλαστικού χρώματος.(31)

### 3.4.5 Άλλες κατηγορίες χρωμάτων

**ΦΥΣΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΑ:** Είναι συνήθως μη υδατοδιαλυτά. Το πλεονέκτημά των φυσικών χρωμάτων συνίσταται στην χρήση συστατικών φυτικής ή ζωικής προέλευσης, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους τύπους χρωμάτων που χρησιμοποιούν το πετρέλαιο σαν βάση.

**ΒΡΑΣΤΕΣ ΒΑΦΕΣ :** Είναι υδατοδιαλυτές. Επίσης οι βαφές αυτού του τύπου είναι φυσικές και παράγονται με μακράς διάρκειας βρασμό φυτικών προϊόντων. Είναι ελάχιστα τοξικές και χρησιμοποιούνται κυρίως στις Σκανδιναβικές χώρες. Μειονέκτημα τους είναι ότι δεν χρησιμοποιούνται στο εξωτερικό κέλυφος.(29)

### 3.5 Κονιάματα

Αν και τα κονιάματα αντιστοιχούν μόνο σε μία αναλογία 7% του όγκου της συνολικής τοιχοποιίας, έχουν μια σημαντική λειτουργία, που δεν αφορά μόνο στη σύνδεση των διαφόρων οπτοπλίνθων μεταξύ τους, αλλά και στην αντίσταση στη θερμότητα και την υγρασία.

Κονίαμα ονομάζεται το μείγμα που αποτελείται από λεπτόκοκκα αδρανή (μέγιστη διάμετρος κόκκου αδρανούς 4 mm), κονίες, ως συνδετική ύλη και νερό επεξεργασίας, έχει δε βασική ιδιότητα να σκληρύνεται με τον χρόνο, ενώ κατά την διάρκεια της δόμησης έχει ρευστή μορφή. Κονίες ονομάζονται τα συνδετικά υλικά, τα οποία παρέχονται σε στερεή κατάσταση, σε μορφή σκόνης, διαλύματος ή αιωρήματος. Όταν υποστούν ανάμειξη και κατεργασία με ένα ρευστό μέσο, συνήθως νερό, γίνονται εύπλαστα και αποκτούν συγκολλητικές ιδιότητες. Η πήξη της κονίας, που συνίσταται στη μεταβολή του ιξώδους της και στη μετάπτωση από μια ημίρρευστη κατάσταση σε κατάσταση αναλλοίωτου σχήματος, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των μηχανικών αντοχών, η οποία ολοκληρώνεται με την πάροδο του χρόνου και την επίδραση διαφόρων φυσικοχημικών φαινομένων.

Οι κονίες διακρίνονται σε :

α) αερικές, που υφίστανται πήξη και σκλήρυνση στον ατμοσφαιρικό αέρα, συντηρούνται δε στο περιβάλλον του. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι οι πηλοί, η άσβεστος, η γύψος, η μαγνησιακή κονία κ.ά..

β) υδραυλικές κονίες, που υφίστανται πήξη και σκλήρυνση ακόμη και στο νερό ή σε υγρό περιβάλλον, όπως η υδραυλική άσβεστος, η ρωμαϊκή κονία, το φυσικό τσιμέντο, η τεχνητή κονία Portland, τα ποζολανικά τσιμέντα, η θηραϊκή γη κ.ά..

Τα συνηθέστερα κονιάματα που χρησιμοποιούνται στο χτίσιμο είναι τα ασβεστοκονιάματα, τα τσιμεντοκονιάματα, τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα και τα μαρμαροκονιάματα.(30)

## 4. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ο κύκλος ζωής ενός κτηρίου και των υλικών του ,όπως φαίνεται στο σχήμα περιέχει τα εξής στάδια :

- Συλλογή – εξόρυξη
- Βιομηχανική παραγωγή –επεξεργασία
- Κατασκευή
- Χρήση της κατασκευής
- Κατεδάφιση
- Επανάχρηση , ανακύκλωση, βιοδιάσπαση



Εικόνα 7: Κύκλος ζωής δομικού υλικού

Ο κύκλος αυτός ζωής του δομικού υλικού πρόκειται για ένα εργαλείο περιβαλλοντολογικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων που σκοπό έχει να αποτιμήσει τις επιδράσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών, συμπεριλαμβανομένης της αποβολής των αποβλήτων στο περιβάλλον όπως και να εκτιμήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με την ορθολογική χρήση πρώτων υλών και ενέργειας σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. (32)

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής ως εργαλείο αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια. Στην Ευρώπη η ανάπτυξή της συνδυάστηκε με την εξάπλωση του οικολογικού σήματος (Κανονισμός ΕΟΚ 880/92) και σε διεθνές επίπεδο αναμένεται ακόμη μεγαλύτερη εξάπλωση της Α.Κ.Ζ. μέσω της ένταξής της στη σειρά προτύπων ISO 14040.

Σύμφωνα με τον ορισμό της μεθόδου της Α.Κ.Ζ που δόθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, για την εφαρμογή της στην περίπτωση ενός κτηρίου απαιτείται ο προσδιορισμός των στοιχείων κατανάλωσης μάζας και ενέργειας για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του, από την κατασκευή ως την κατεδάφισή του. Προκειμένου δε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί αυτός ο προσδιορισμός απαιτείται η εκτίμηση των στοιχείων για το σύνολο των εργασιών που διεξάγονται καθώς και για το σύνολο των δομικών υλικών και ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται.

Για την αξιολόγηση της οικολογικής συμπεριφοράς ενός υλικού υπάρχει σχετική διεθνής βιβλιογραφία, για την ενσωματωμένη ενέργεια, την ικανότητα ανακύκλωσης, καθώς επίσης και για διάφορες άλλες παραμέτρους που αφορούν σε οικολογικά κριτήρια επιλογής των υλικών. Στην ουσία όμως απαραίτητο είναι να υπάρξει αξιολόγηση των υλικών που χρησιμοποιούνται και στην Ελλάδα του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Η τελευταία φάση στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος μπορεί να γίνει η πρώτη, εάν η κατεδάφιση ακολουθείται από ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση. Παρόλο ότι τα κτήρια από τούβλα έχουν μια μακριά ζωή (πάνω από 100 χρόνια), αυτά μερικές φορές κατεδαφίζονται αρκετά πριν από το τέλος της χρήσιμης ζωής τους.(32)

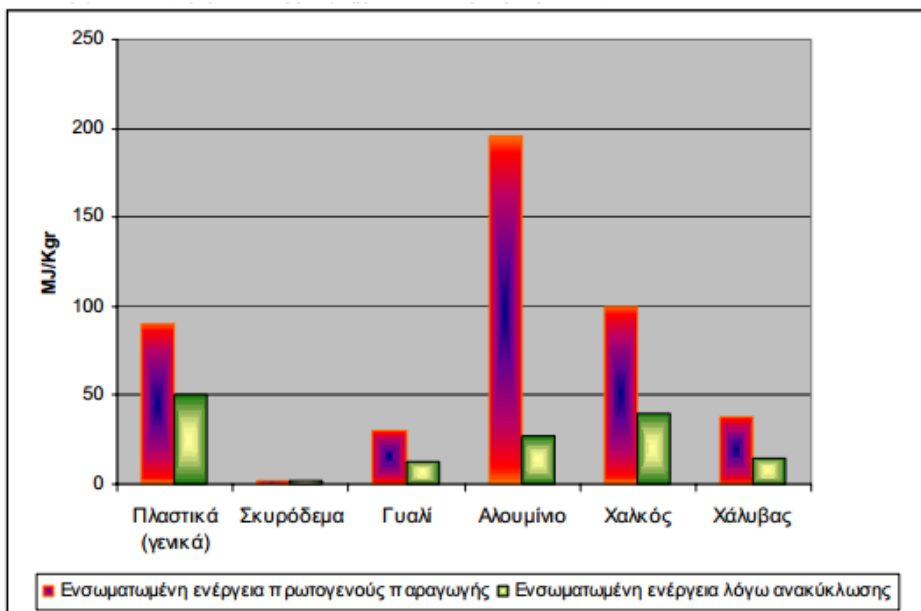
#### **4.1 Ανακύκλωση**

Ο Β. Ουγκώ επωφελούμενος της περιγραφής των υπονόμων του Παρισιού λέει ότι το 1832 το Παρίσι ρίχνει στη θάλασσα κάθε χρόνο μέσα από τους υπονόμους το ισοδύναμο πεντακοσίων εκατομμυρίων χρυσών φράγκων. Και αντιπαραθέτει τους υπονόμους του Παρισιού με τη συμπεριφορά των Κινέζων χωρικών, οι οποίοι λιπαίνουν την γη με τα ίδια τους τα περιττώματα και για αυτό «η γη της Κίνας είναι σήμερα τόσο γόνιμη όσο την πρώτη ημέρα της δημιουργίας». Με άλλα λόγια ο Ουγκώ διαπιστώνει ότι οι παραδοσιακές οικονομίες ήταν οικονομίες ανακύκλωσης ενώ οι σύγχρονες κοινωνίες είναι οικονομίες σπατάλης. Ασφαλώς αυτά τα οποία λέει πρέπει να βασίζονται στους υπολογισμούς των μμεγάλων επιστημόνων χημικών της εποχής του.

Η ανακύκλωση είναι μία απόπειρα να μιμηθεί ο άνθρωπος τους κύκλους της φύσης, οι οποίοι γενικά αποτελούν θετικά παραδείγματα αποτελεσματικής λειτουργίας και σταθερότητας.

Πραγματικά οι φυσικοί κύκλοι δε χρειάζονται τροφοδότηση με πρώτες ύλες και δεν δημιουργούν απόβλητα. Είναι λοιπόν υποδείγματα τέλει ανακύκλωσης.

- Ανακυκλωμένα πρωτογενώς είναι τα προϊόντα που ανακτώνται από τα υλικά «απορρίμματα»-κατεδάφισης.
- Ανακυκλωμένα δευτερογενώς είναι τα υλικά που προκύπτουν ως παραπροϊόντα άλλων διεργασιών (εξορυκτική βιομηχανία, σκωρίες, πριονίδι)



Πίνακας 6: Ενσωματωμένη ενέργεια για την ανακύκλωση συνήθων υλικών.

Συνήθως μετά από την κατασκευή του έργου και στο τελικό στάδιο του κύκλου ζωής, προκύπτει ένα μείζον ερώτημα: κατεδάφιση και υλικά «απορρίμματα» ή κατεδάφιση και επαναχρησιμοποίηση; Πολλές φορές προκύπτει ένα υλικό να απαιτεί μεγαλύτερο κόστος και ενέργεια να το ανακυκλώσουμε ή να το επαναχρησιμοποιήσουμε παρά να το παράγουμε εξ αρχής. Εδώ προκύπτει η ηθική πλευρά της ανακύκλωσης η οποία οφείλει να επιβάλλεται.

Γενικά ισχύει η αρχή ότι τα υλικά που έχουν μικρή διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής ανακυκλώνονται εύκολα. Δηλαδή σε υλικά που έχει επέμβει σημαντικά ο ανθρώπινος παράγοντας με πολύπλοκες διαδικασίες (υψηλές θερμοκρασίες και σύνθετες χημικές αντιδράσεις) είναι δύσκολο όταν υποστούν γήρανση να ανακυκλωθούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της ιδιότητας αυτής αποτελούν τα πλαστικά. Φυσικά, υλικά που βιοδιασπώνται είναι τα καλύτερα και γηράσκουν ομαλά, ακολουθώντας τη ροή και τους χρόνους της φύσης. (32)

## 4.2 Απόβλητα από Εκσκαφές, Κατασκευές και Κατεδαφίσεις

### 4.2.1 Ορισμοί

Το 1991 με το 'Πρόγραμμα Ρευμάτων Αποβλήτων Προτεραιότητας' που ξεκίνησε από τη Γενική Διεύθυνση XI της Επιτροπής για το περιβάλλον, την πυρηνική ασφάλεια και την αστική προστασία (Directorate General XI), τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις αναγνωρίστηκαν ως ρεύμα αποβλήτων προτεραιότητας (primary waste stream). Τα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις είναι ένα από τα μεγαλύτερα ρεύματα αποβλήτων στην Ε.Ε. καθώς η ποσότητά τους εκτιμάται ότι αποτελεί το 25 % της συνολικής ποσότητας των στερεών αποβλήτων. **Κύριες κατηγορίες αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις(33)**

Ο όρος απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (**AKK**) αναφέρεται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα υλικών, τα οποία χωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους:

(α) Υλικά Εκσκαφών: Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι μητρικά χώματα εκσκαφών, άμμος, χαλίκι, πέτρες, άργιλος και οποιαδήποτε άλλα υλικά που μπορεί να προκύψουν από εκσκαφές. Τα άχρηστα υλικά εκσκαφών υπάρχουν σχεδόν σε κάθε κατασκευαστική δραστηριότητα και ιδιαίτερα στις υπόγειες κατασκευές και σε έργα της γεωτεχνικής μηχανικής. Τα υλικά αυτά μπορούν να προέλθουν και από φυσικά φαινόμενα, όπως για παράδειγμα από υπερχειλίσεις χειμάρρων, κατολισθήσεις σε δρόμους κ.λπ. Η σύσταση των υλικών εκσκαφών εξαρτάται σημαντικά από τα γεωλογικά δεδομένα.

(β) Υλικά Οδοποιίας: Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι άσφαλτος και οποιαδήποτε άλλα υλικά οδοστρώματος, υλικά βάσεων και υποβάσεων, δηλαδή χαλίκι, άμμος, σκύρα και γενικά υλικά που προκύπτουν από την αποξήλωση και ανακαίνιση οδών. Τα άχρηστα υλικά οδοποιίας προέρχονται όχι μόνο από την αποξήλωση και τη συντήρηση των δρόμων αλλά και από τις υπόγειες υδραυλικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πόλεων καθώς και από έργα επιδιόρθωσης αυτών.

(γ) Υλικά Κατεδαφίσεων-Μπάζα: Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι χώματα, χαλίκι, κομμάτια ή στοιχεία από μπετόν (σκυροδέματα), επιχρίσματα, πλίνθοι (τούβλα), πλάκες επιστρώσεως, γύψος, άμμος, λαξευμένες πέτρες, θρύμματα ειδών υγιεινής κ.λπ. Τα υλικά κατεδαφίσεων χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια και προκύπτουν από την εξολοκλήρου ή επιμέρους κατεδάφιση των κατασκευών. Η σύσταση των υλικών αυτών ποικίλλει ανάλογα με το είδος, την ηλικία, τη μορφή, τη χρήση και το μέγεθος του κτιρίου/κατασκευής, ενώ για την κατεδάφιση σημαντικό ρόλο παίζει η ιστορική πολιτιστική και οικονομική αξία της κατασκευής.

(δ) Απόβλητα από Εργοτάξια: Τα απόβλητα αυτά μπορεί να είναι ξύλο, πλαστικό, χαρτί, γυαλί, μέταλλα, καλώδια, χρώματα, βερνίκια, στοιχεία επικαλύψεων προσόψεων, κόλλες και γενικά όλα τα υλικά που προέρχονται από τη λειτουργία



εργοταξίων κατασκευής, κατεδάφισης, επισκευής, ενίσχυσης, προσθήκης, επέκτασης και ανακαίνισης. Πρέπει να σημειωθεί ότι μεγάλες ποσότητες άχρηστων υλικών στα εργοτάξια αποτελούν τα υλικά συσκευασίας οικοδομικών υλικών

#### Πίνακας 7 :ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων, τα ΑΕΚΚ ταξινομούνται με τον κωδικό 17.

<b>17 00</b>	<b>00</b>	<b>ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΚΑΙ ΤΑ ΧΩΜΑΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΑΠΟ ΡΥΠΑΣΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ)</b>
<b>17</b>		<b>ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ(ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΡΟΜΩΝ)</b>
<b>17 01</b>		<b>Σκυρόδεμα , τούβλα, πλακάκια και κεραμικά</b>
17 01	01	Σκυρόδεμα
17 02	01	Τούβλα
17 03	01	Πλακάκια και κεραμικά
17 06*	01	Μίγμα , ή ξεχωριστό κλάσμα από σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμικά και πλακάκια που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
17 07	01	Μίγμα από σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμικά και πλακάκια διαφορετικό από αυτό που αναφέρεται στη 17 01 06
<b>17 02</b>		<b>Ξύλο, γυαλί και πλαστικό</b>
17 01	02	Ξύλο
17 02	02	Γυαλί
17 03	02	Πλαστικό
17 04*	02	Ξύλο, γυαλί , πλαστικό που περιέχει ή έχει μολυνθεί με επικίνδυνα υλικά
<b>17 03</b>		<b>Μίγματα βιουμενίου, ανθρακόπισσα και άλλα προϊόντα πίσσας</b>
17 01*	03	Μίγματα Βιουμενίου που περιέχουν ανθρακόπισσα
17 02	03	Μίγματα Βιουμενίου που δεν υπάγονται στην 17 03 01
17 03*	03	Ανθρακόπισσα και προϊόντα πίσσας
17 04		Μέταλλα (περιλαμβάνονται και τα κράματά τους)
17 01	04	Χαλκός, Μπρούτζος, ορείχαλκος
17 02	04	Αλουμίνιο
17 03	04	Μόλυβδος
17 04	04	Ψευδάργυρος

04		
17 05	04	Σιδηρος και χάλυβας
17 06	04	Κασσίτερος
17 07	04	Μίγμα υλικών
17 09*	04	Απόβλητα μετάλλων ρυπασμένα με επικίνδυνα υλικά
17 10*	04	Καλώδια που περιέχουν έλαια , ανθρακόπισσα και άλλα επικίνδυνα υλικά
17 11	04	Καλώδια που δεν υπάγονται στην 17 04 11
17 05		Χώματα (περιλαμβάνονται τα χώματα εκσκαφών από ρυπασμένα εδάφη), πέτρες και μπάζα εκσκαφών
17 03*	05	Χώματα και πέτρες που περιλαμβάνουν επικίνδυνα υλικά
17 04	05	Χώματα και πέτρες που δεν υπάγονται στην 17 05 03
17 05*	05	Μπάζα εκσκαφών που περιέχουν επικίνδυνα υλικά
17 06	05	Μπάζα εκσκαφών που δεν υπάγονται στην 17 05 05
17 07*	05	Άχρηστο φορτίο φορτηγών οχημάτων ( track ballast) που περιέχει επικίνδυνα υλικά
17 08	05	Άχρηστο φορτίο οχημάτων που δεν υπάγεται στη 17 05 07
17 06		Μονωτικά υλικά και κατασκευαστικά υλικά που περιέχουν αμιάντο
17 01*	06	Μονωτικά υλικά που περιέχουν αμιάντο
17 03*	06	Άλλα μονωτικά υλικά που περιέχουν η αποτελούνται από επικίνδυνα υλικά
17 04	06	Μονωτικά υλικά που δεν αναφέρονται στις 17 06 03 και 17 06 01
17 05*	06	Κατασκευαστικά υλικά που περιέχουν αμιάντο
17 08		Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο
17 01*	08	Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο ρυπασμένα με επικίνδυνα υλικά
17 02	08	Κατασκευαστικά υλικά με βάση το γύψο που δεν υπάγονται στη 17 08 01
17 09		Άλλα υλικά από κατασκευές και κατεδαφίσεις
17 01*	09	Απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις που περιέχουν υδράργυρο
17 02*	09	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 03*	09	Άλλα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις (περιλαμβανομένων των αποβλήτων μικτών κατασκευών και κατεδαφίσεων) που περιέχουν επικίνδυνα υλικά

[Τα απόβλητα που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται με αστερίσκο όπως ορίζει η Απόφαση 2000/532/ΕΚ.]

Ακολουθως παραθέτονται οι σημαντικότεροι ορισμοί εννοιών που διέπουν τη διαχείριση των ΑΕΚΚ, όπως αυτοί καταγράφονται στο σχέδιο του προεδρικού διατάγματος.

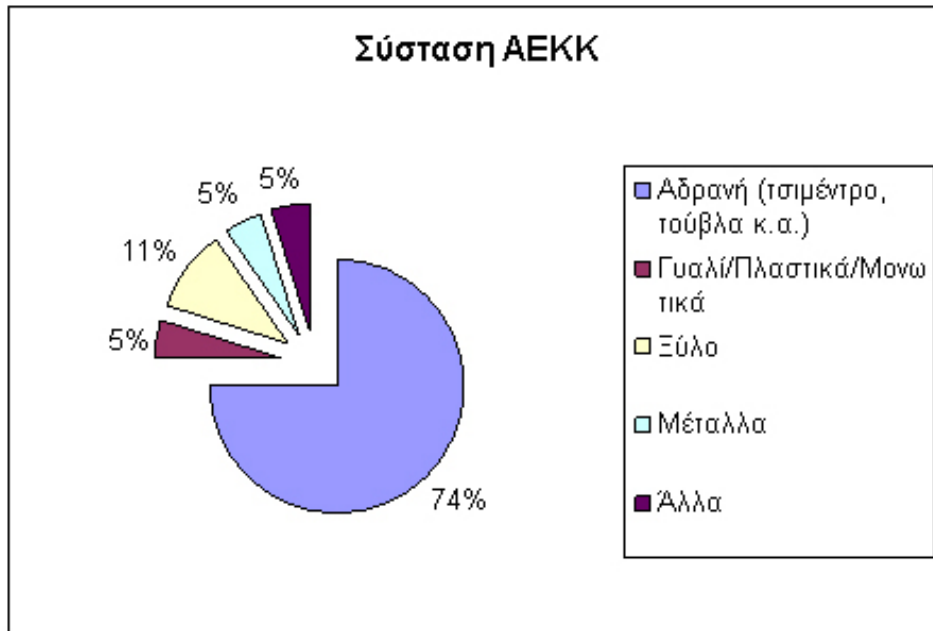
**«Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις»** (ΑΕΚΚ), κάθε υλικό ή αντικείμενο από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις που θεωρείται ως απόβλητο κατά την έννοια του άρθρου 2 (στοιχείο α) της υπ. αριθ. 50910/2003 ΚΥΑ σε συνδυασμό με την παρ. 4 του άρθρου 2 του Ν. 2939/2001 και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Ι του άρθρου 17 του παρόντος Διατάγματος

**«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 αμελητέες και ειδικότερα να μη θέτει σε κίνδυνο την ποιότητα των επιφανειακών ή και υπογείων υδάτων.

**«οικοδομικές εργασίες»** ανεγέρσεις, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις, επισκευές, περιφράξεις και περιστοιχίσεις ατομικών κατοικιών ή/και κτιριακών συγκροτημάτων.

**«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 παραγ.25 και 26 του άρθρου 3 του Ν.2939 (2001) 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.

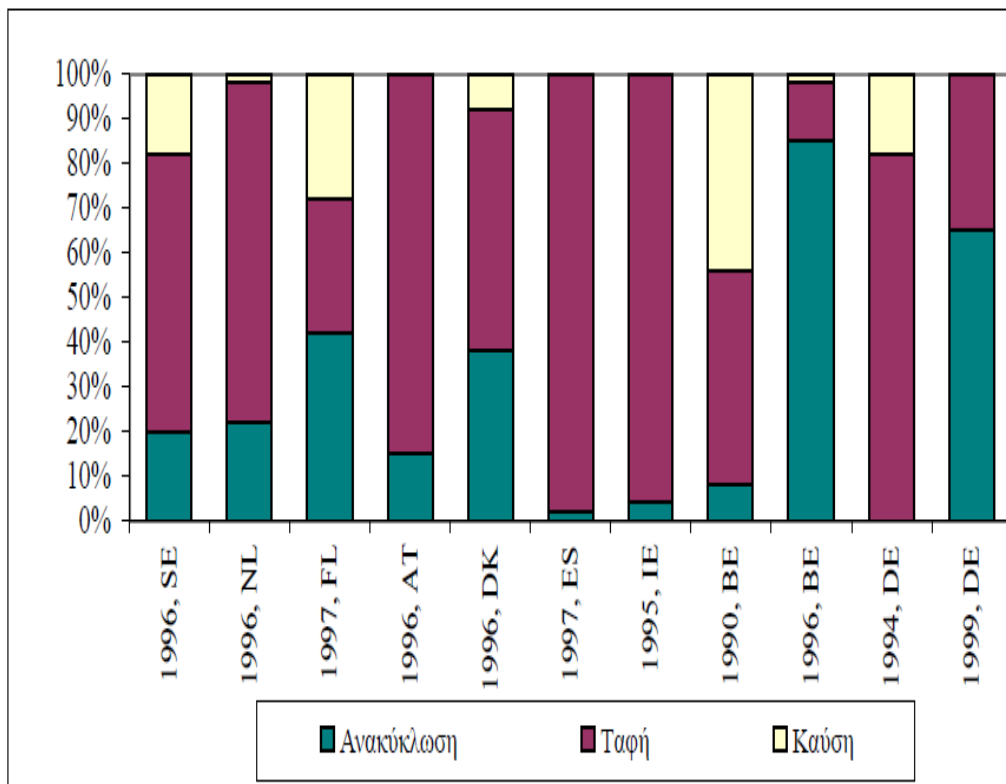
**«αξιοποίηση»** κάθε εργασία που προβλέπεται στο Παράρτημα ΙV.Β (εργασίες αξιοποίησης) του άρθρου 17 της ΚΥΑ 50910/2727/2003, συμπεριλαμβανομένων επιπλέον των επιχωματώσεων, αποκαταστάσεων ανενεργών λατομείων και ανεξέλεγκτων χωματερών, επικαλύψεων χώρων υγειονομικής ταφής και εν γένει αναμόρφωση υποβαθμισμένων τοπίων ή αναπλάσεων χώρων.(33)



Διάγραμμα 1: Σύσταση ΑΕΚΚ

#### 4.2.2 Στατιστικά στοιχεία Μεθόδων Διαχείρισης σε Ευρωπαϊκές χώρες

Τα απόβλητα από εσκαφές , κατασκευές και κατεδαφίσεις πρόκειται να παρουσιάσουν αύξηση εκτός εάν ληφθούν δραστικές αποφάσεις και επιπρόσθετα μέτρα με σκοπό την ενθάρρυνση της ανακύκλωσης και της ανάκτησης των αποβλήτων. Αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν ήδη επιτύχει υψηλούς ρυθμούς ανακύκλωσης στο συγκεκριμένο ρεύμα αποβλήτων. Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι μέθοδοι διαχείρισης που εφαρμόζονται σε Ευρωπαϊκές χώρες.



Διάγραμμα 2: Παρουσιάζονται οι μέθοδοι διαχείρισης που εφαρμόζονται σε Ευρωπαϊκές χώρες.

Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τις ετήσιες ποσότητες αποβλήτων από κατασκευές και καταδαφίσεις που παράγονται στις ευρωπαϊκές χώρες, καθώς και το ποσοστό της ποιότητας που ανακτάται για επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, είναι προφανές ότι δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη τάση όσον αφορά το επίπεδο των ανακτηθέντων των υλικών, δεδομένου ότι σε ορισμένες χώρες το επίπεδο αυτό είναι υψηλό (Δανία, Βέλγιο, Κάτω Χώρες), ενώ σε άλλες είναι εξαιρετικά χαμηλό (Ιρλανδία, Ελλάδα, Ιταλία, Πορτογαλία).(34)

Table 1: Management of C&D waste in European countries (EEA 2002).

Country	Quantity (10 <sup>6</sup> tonnes/ year)	Percentage of recovery (%)	Percentage of final disposal (%)
Germany	59	17	83
United Kingdom	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

(34)

Η ποσότητα της συγκεκριμένης κατηγορίας αποβλήτων ανά κάτοικο ποικίλλει σημαντικά από χώρα σε χώρα. Αυτό οφείλεται στις διαφορές σε:

- τα οικονομικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά της κάθε χώρας

- τον καθορισμό των χαρακτηριστικών για τα απόβλητα της ροή ως απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων (π.χ. στην Αυστρία και τη Γερμανία, ανασκαφή χώματα και πέτρες που περιλαμβάνονται στα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων)
- ο τρόπος καταγραφής των στοιχείων (π.χ. τούβλα και μπετόν δεν είναι καταγράφονται ως απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων των αποβλήτων όταν χρησιμοποιείται άμεσα ως δομικό υλικό για την κατασκευή μικρών δρόμων).(35)

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η συνεισφορά της κάθε κατηγορίας αποβλήτων στο σύνολο των αποβλήτων ΑΚΚ που αναφέρονται στην παρακάτω λίστα (ΕΟΧ 2002).(34)

- Τα απόβλητα από την εκσκαφή και κατεδαφίσεις: 40-50%.
- Απόβλητα από προσθήκες και ανακαίνιση των υπαρχόντων κτιρίων:30-50%.
- Απόβλητα από την κατασκευή των νέων κτιρίων: 10-20%. (ΕΕΑ 2002)(34)

### **4.2.3 Η Διαχείριση των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις**

Ορισμένα υλικά που υπάρχουν στα απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Πιο συγκεκριμένα, τα λίγα υλικά επαναχρησιμοποιούνται όπως καλώδια, γυαλί, πλαίσια θυρών και παραθύρων. Απαιτείται βέβαια η απομάκρυνση των υλικών πριν την έναρξη της κατεδάφισης της κατασκευής, διαδικασία πιο επίπονη άλλα και με υψηλότερο κόστος σε σύγκριση με τη συμβατική κατεδάφιση. Επιπλέον είναι απαραίτητος ο προσεκτικός διαχωρισμός, η ταυτοποίηση καθώς και ο έλεγχος των υλικών που προκύπτουν. Για τους παραπάνω λόγους το κόστος ανάκτησης υλικών χαμηλής αξίας όπως τούβλα και πλακάκια είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερο από αυτό της αγοράς νέων υλικών. Σε αντίθεση προϊόντα υψηλότερης αξίας όπως διάφορα μέταλλα και η ξυλεία ήδη ανακτώνται σε κάποιο βαθμό.

Για ένα χρησιμοποιημένο προϊόν πρέπει εμπειρικά να αποδειχθεί, ότι μπορεί να επιτελέσει τους σκοπούς για τους οποίους κατασκευάστηκε. Στην περίπτωση που δεν είναι γνωστή η ακριβή χρονική διάρκεια χρήσης ενός υλικού αλλά και πώς αυτό χρησιμοποιήθηκε, τότε είναι απαραίτητη η διεξαγωγή ελέγχων απόδοσης (performance test), δραστηριότητα με υψηλό κόστος που κρίνεται ασύμφορη ειδικά για μικρές ποσότητες υλικών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αφορά στην επαναχρησιμοποίηση των τούβλων που έχουν ψηθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες και θεωρούνται ακατάλληλα για εξωτερική χρήση. Η εμφάνισή τους μοιάζει με αυτή των τούβλων που έχουν κατασκευαστεί για εξωτερική χρήση καθιστώντας δύσκολο το διαχωρισμό τους οπτικά.

Όσον αφορά στα μέταλλα, το μεγαλύτερο ποσοστό των μετάλλων που υπάρχουν ως απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις, ανακτάται λόγω της οικονομικής του αξίας. Τα μεταλλικά συστατικά σπάνια επαναχρησιμοποιούνται και συνήθως

ανακυκλώνονται. Εξαίρεση αποτελούν οι καλωδιώσεις, οι σκελετοί στήριξης παραθύρων κατασκευασμένοι από αλουμίνιο και άλλα υλικά, τα οποία έχουν αρκετά υψηλό κόστος ανακύκλωσης

Πιο αναλυτικά αναφέρουμε τους τρόπους διαχείρισης για όλα τα είδη δομικών υλικών.

### Διαχείριση σκυροδέματος

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, από την συνολική ποσότητα αδρανών ενός τεχνικού έργου, το σημαντικότερο ποσοστό αποτελούν τα απορρίμματα σκυροδέματος. Η βασική σύσταση του σκυροδέματος είναι : τσιμέντο, άμμος, αδρανή υλικά (χαλίκι), νερό και διάφορα άλλα πρόσμικτα . Η αξιοποίηση του σκυροδέματος στο τέλος της ωφέλιμής του ζωής μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά στη θραύση και επαναχρησιμοποίηση του σε κατασκευές ως έχει, ενώ ο δεύτερος αφορά στην ανακύκλωση του σκυροδέματος για την παραγωγή άλλων υλικών, είτε ως πρόσθετο, είτε ως υλικό αντικατάστασης του τσιμέντου. Σε γενικές γραμμές πάντως, η ανάκτηση του υλικού αυτού δεν θεωρείται εύκολη στην πράξη για το λόγο ότι είναι πολύ δύσκολος ο διαχωρισμός των επιμέρους υλικών που περιέχει.

Με βάση τη διεθνή πρακτική, οι συνηθέστερες πρακτικές αξιοποίησης του σκυροδέματος στο τέλος της ωφέλιμης του ζωής –στις περισσότερες των περιπτώσεων, αφού έχει προηγουμένως υποστεί κάποια επεξεργασία (π.χ. θρυμματισμός)- αποτελούν οι παρακάτω:

- Τοποθέτηση του γύρω από τσιμεντοσωλήνες για όμβρια ύδατα.
- Χρήση ως αδρανών σε αντικατάσταση των χαλικιών και της άμμου.
- Χρήση ως υλικό για βάσεις και υποβάσεις κάτω από ασφαλτικό τάπητα σε έργα οδοποιίας.
- Χρήση σε προσωρινή οδοποιία και χωματόδρομους ή και δασικούς δρόμους.
- Χρήση ως αδρανών σε παραγωγή σκυροδέματος και ασφάλτου.
- Χρήση στην κατασκευή υλικών για πεζοδρόμια.
- Χρήση ως υλικό ημερήσιας κάλυψης των απορριμμάτων των ΧΥΤΑ.
- Χρήση ως υλικό επιχώσεων σε οικοδομικά έργα.
- Σε έργα επεξεργασίας και βιολογικού καθαρισμού λυμάτων. Το σκυρόδεμα μπορεί να αντικαταστήσει φυσικά υλικά, όπως άμμος ή και χαλίκια, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγάλες ποσότητες για το σκοπό αυτό.

### Διαχείριση τούβλων, πλακιδίων και κεραμικών

Όπως και στην περίπτωση του σκυροδέματος, υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθούν και άλλα υπολείμματα κατεδαφίσεων. Από τη μία, η άμεση επαναχρησιμοποίηση κεραμιδιών από τις στέγες κτιρίων είναι απόλυτα εφικτή, καθώς η αφαίρεση τους και η αποθήκευσή τους δεν είναι ιδιαίτερη δύσκολη. Επίσης, σε πολλά οικοδομικά έργα δεν είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός των αναγκών σε τούβλα ,οπότε αυτά που μένουν αχρησιμοποίητα σε ένα έργο μπορούν να διοχετεύονται για άλλες χρήσεις. Αντίθετα, τα τούβλα που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί και προκύπτουν από εργασίες αποδόμησης, κατεδάφισης ή ανακαίνισης ενός τεχνικού έργου παρουσιάζουν περισσότερες δυσκολίες για άμεση επαναχρησιμοποίηση, για τον λόγο ότι μπορεί πιθανότατα να έχουν μολυνθεί με



σκυρόδεμα, κονιάμα, γύψο ή /και άλλα υλικά. Σε διεθνές επίπεδο, οι κύριοι τρόποι αξιοποίησης τούβλων, πλακιδίων και κεραμικών στο τέλος της ωφέλιμης του ζωής είναι :

- Αναμόρφωση σαν τούβλα και κεραμίδια.
- Υλικά πλήρωσης και σταθεροποίησης για έργα υποδομής. Παρόλο που τα υλικά που προέρχονται από τη θραύση ενός τοίχους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δρόμους ελαφριάς κυκλοφορίας, δεν είναι κατάλληλα για βαριά κυκλοφορία λόγω του κινδύνου παραμόρφωσης. Τα ανωτέρω υλικά αντικαθιστούν φυσικά υλικά, όπως την άμμο και τα χαλίκια, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγάλες ποσότητες για αυτό το σκοπό. Σε μερικές περιπτώσεις, τα υλικά που προέρχονται από τη θραύση ενός τοίχους, αναμιγνύονται μαζί με σκυρόδεμα και φυσικά αδρανή για τη δημιουργία ενός μίγματος.
- Αδρανή για εργοτάξιο και πρόχυτο σκυρόδεμα και κονιάματα. Θραυσμένα τούβλα και άλλα υλικά τοιχοποιίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξομάλυνση και πλήρωση ορυγμάτων για σωλήνες. Το θραυσμένο υλικό αντικαθιστά φυσικά υλικά όπως την άμμο προκαλώντας λιγότερες αναταραχές σε τοπία. Για τα ορύγματα των σωληνώσεων χρησιμοποιείται ένα λεπτόκοκκο υλικό. Χονδρότερα τεμάχια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα αδρανή σκυροδέματος ή κονιαμάτων.
- αδρανή για τούβλα από πυριτικό ασβέστιο. Θραυσμένα τούβλα, κεραμίδια και άλλα στοιχεία τοιχοποιίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σαν αδρανή στο έγχυτο σκυρόδεμα.
- Άμμος για γήπεδα τένις. Η άμμος για την επιφανειακή κάλυψη γηπέδων τένις παράγεται από τη θραύση ερυθρών τούβλων και κεραμιδιών για στέγες. Διαφορετικά είδη τούβλων δίνουν διαφορετικές ποιότητες και χρωματισμούς της άμμου που χρησιμοποιείται στα γήπεδα τένις. Η καλή ποιότητα του ψημένου υλικού έχει πολυάριθμα ευεργετήματα, όπως καλύτερη αποστράγγιση του νερού, νιαίο χρώμα, μεγαλύτερη πυκνότητα (μικρότερος διασκορπισμός από τον αέρα) και μικρότερα προβλήματα χορταρίσματος. Το λεπτό επιφανειακό στρώμα διαστώνεται πάνω από χονδρόκοκκα στρώματα, τα οποία επίσης μπορούν να περιέχουν θραυσμένο υλικό από τούβλα.
- Υποστρώματα για φυτά. Για το σχηματισμό υποστρωμάτων καλλιέργειας φυτών μπορούν να χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων και εν αχρηστία τούβλα και κεραμίδια.

## Διαχείριση ξύλου

Το ξύλο συναντάται σε αρκετά μεγάλες ποσότητες στο εσωτερικό των παλαιότερων κυρίως κτιρίων, ως υλικό για την επίστρωση των πατωμάτων των δωματίων. Οι πόρτες των δωματίων στο εσωτερικό ενός κτηρίου, καθώς και οι ντουλάπες όπως και ο πάγκος των κουζινών είναι μέρη στα οποία επίσης το ξύλο είναι το κυρίαρχο υλικό. Τέλος, σε αρκετά κτίρια (κυρίως μονοκατοικίες) οι ξύλινες οροφές και τα ξύλινα κουφώματα αποτελούν συνήθη κατασκευαστική πρακτική, με αποτέλεσμα οι τελικές προς διαχείριση ποσότητες ξύλου να αυξάνονται σημαντικά. Τροχοπέδη στην επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση της ξυλείας, αποτελεί το γεγονός ότι συνήθως έχει ρυπανθεί από πολλά υλικά όπως βίδες, καρφιά, μπογιές, και συντηρητικά.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι κυριότεροι τρόποι ανακύκλωσης ξύλου, το οποίο προέρχεται από κατεδαφίσεις:

- Κατασκευή σανίδων πάνελ (panels) καθώς και μεσαίας πυκνότητας MDF οι οποίες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σπιτιών.
- Θρυμματισμός του ξύλου (ροκανίδια, σκόνη) για την παραγωγή προϊόντων συμπίεσης, όπως ξύλινα δάπεδα, σανίδες κόντρα πλακέ, κ.λπ.
- Προϊόντα ξύλου –σκυροδέματος. Μπορεί να επιτευχθεί παραγωγή τούβλων, panels από υπολείμματα ξύλου και σκυροδέματος με πολύ καλές θερμομονωτικές και αντιπυρικές ιδιότητες.
- Αξιοποίηση της θερμογόνου δύναμης του εφόσον είναι απαλλαγμένο από προσμίξεις (ελεγχόμενη καύση).
- Χρήση σε συνδυασμό με ανακυκλώσιμα πλαστικά υλικά για τη δημιουργία εξαιρετικά αποτελεσματικών, υψηλής απόδοσης, συνθετικών υλικών. Πεδίο εφαρμογής των υλικών αυτών αποτελεί η συσκευασία προϊόντων, διάφορα εξαρτήματα στο εσωτερικό των αυτοκινήτων, η κατασκευή επίπλων καθώς και σε διάφορες εξωτερικές κατασκευές (π.χ. παγκάκια).

#### Διαχείριση γυαλιού

Οι ποσότητες γυαλιού προς διαχείριση μπορεί να προέλθουν κατά τη διάρκεια μιας κατασκευής ή μιας κατεδάφισης ενός έργου κυρίως από την θραύση των υαλοπινάκων. Το γυαλί έχει το μεγάλο πλεονέκτημα συγκριτικά με τα υπόλοιπα αδρανή στο ότι μπορεί να ανακυκλωθεί πολλές φορές χωρίς να αλλοιωθούν οι φυσικές και μηχανικές του ιδιότητες. Δεδομένου ότι για την παραγωγή του απαιτούνται αρκετά μεγάλες ποσότητες ενέργειας ,η ανάκτησή του και η τελική ανακύκλωσή του μπορεί να οδηγήσει σε αρκετά μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Τα προϊόντα γυαλιού διαφέρουν ως προς τη χημική σύσταση και το χρώμα. Το γυαλί υποδιαιρείται ανάλογα το χρώμα του σε λευκό, πράσινο και καφέ. Οι τιμές αγοράς του διαχωρισμού γυαλιού είναι υψηλότερες από εκείνες του ανάμικτου, το οποίο χρησιμοποιείται για παραγωγή μόνο πράσινου γυαλιού. Κατά τη συλλογή, το γυαλί θραύεται με σκοπό να μειωθεί ο όγκος του. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται το υαλόθραυσμα, το οποίο αποθηκεύεται προσωρινά σε ξεχωριστό κάδο αποθήκευσης, έτσι ώστε να μην αναμιχθεί με άλλα απορρίμματα. Το υαλόθραυσμα μικτού χρώματος χρησιμοποιείται στα πυρότουβλα, στα τούβλα, στο σκυρόδεμα καθώς επίσης και στην παραγωγή ασφάλτου. Αναλυτικά ανακυκλωμένο γυαλί χρησιμοποιείται για:

- την παραγωγή ινών γυαλιού. Το ανακυκλωμένο γυαλί χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή ινών γυαλιού για την κατασκευή ηχομονωτικών και θερμομονωτικών υλικών και συγκεκριμένα για την παραγωγή του υαλοβάμβακα. Το ανακυκλωμένο γυαλί χρησιμοποιείται σε ποσοστό 3-4% σε σχέση με τις συνολικές ποσότητες των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας του υαλοβάμβακα. Το γυαλί που προέρχεται από ΑΕΚΚ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή καινούργιου γυαλιού μόνο όταν δεν περιέχει κάποια άλλη ουσία.
- Κεραμικά πλακάκια. 100% αντικατάσταση από ανακυκλωμένο γυαλί πραγματοποιείται στις ΗΠΑ. Το τελικό προϊόν παρουσιάζει εξαιρετική ανακλαστική επιφάνεια μετά το γυάλισμα.
- Παραγωγή ασφάλτου για κατασκευή δρόμων. Το προς ανακύκλωση γυαλί θα πρέπει να θρυμματιστεί σε πολύ μικρές διαστάσεις προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ασφάλτου.

- Παραγωγή σκυροδέματος. Η προσθήκη γυαλιού ως πρώτη ύλη κατά τη διαδικασία παραγωγής του σκυροδέματος μπορεί να οδηγήσει σε ελάττωση της αντοχής του σκυροδέματος.

#### Διαχείριση πλαστικού

Στις κατασκευές, το πλαστικό χρησιμοποιείται κυρίως στις εγκαταστάσεις ύδρευσης, αποχέτευσης λυμάτων και ομβρίων υδάτων, στα πατώματα, στα κουφώματα, στα κεραμίδια, καθώς και στην τοποθέτηση των ηλεκτρολογικών καλωδίων. Η ανακύκλωση πλαστικών είναι αρκετά δύσκολη και πολλές φορές οικονομικά ασύμφορη. Από περιβαλλοντικής άποψης είναι ιδιαίτερα σημαντική επειδή όταν καίγονται τα πλαστικά που περιέχουν χλώριο (π.χ. πολυβινυλοχλωρίδιο) παράγουν τοξικές ενώσεις. Χαρακτηριστικό γνώρισμα των πλαστικών είναι η σχέση βάρους/όγκου που φτάνει μέχρι και 1:3. Λόγω της σχέσης αυτής, τα πλαστικά θραύονται για την οικονομικότερη μεταφορά τους στη μονάδα επεξεργασίας, όπου κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας τους απομακρύνονται οι προσμίξεις.

Τα πλαστικά υλικά τα οποία ανακτώνται από τα ΑΚΚ μπορούν να διαχωριστούν, να καθαριστούν, να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν σε προϊόντα τα οποία είναι σχεδιασμένα να χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα πλαστικά ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του όπως:

- Προϊόντα πλαστικής ξυλείας (π.χ. παγκάκια, τραπέζια εξοχής, καταστρώματα, κτλ.).
- Διαχωριστικά αυτοκινητοδρόμων.
- Κώνοι ρύθμισης της κυκλοφορίας.

Για την επιτυχή ανακύκλωση των συγκεκριμένων υλικών και την παραγωγή καινούργιων πλαστικών υλικών με συγκεκριμένες ιδιότητες και προδιαγραφές, πρέπει τα υλικά τα οποία αποτελούν πρώτη ύλη για την παραγωγή των καινούργιων αυτών υλικών. Το ποσοστό αυτό μπορεί να φτάσει και μέχρι και 70% ανακυκλωμένο και 30% πρώτη ύλη για την παραγωγή των καινούργιων πλαστικών υλικών.

#### Διαχείριση μετάλλων

Τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές χωρίζονται σε σιδηρούχα (χάλυβας) και μη σιδηρούχα (αλουμίνιο, χαλκός, ψευδάργυρος).

#### Σιδηρούχα

Σε όλες τις φάσεις κατασκευής αλλά και κατεδάφισης ενός έργου προκύπτουν σιδηρούχα απόβλητα από ένα πλήθος πηγών όπως κάγκελα, χαλύβδινα πλαίσια, οπλισμός σκυροδέματος, σιδερόβεργες, κ.λπ. Οι ποσότητες του χάλυβα συλλέγονται συνήθως από ιδιώτες οι οποίοι αναλαμβάνουν την ανακύκλωσή τους π.χ. παρασκευή κραμάτων, ή την πώλησή τους σε άλλους ενδιαφερόμενους. Ο χάλυβας μπορεί να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή καινούριων ποσοτήτων χάλυβα. Κατά τη διαδικασία της κατεδάφισης είναι από τα ελάχιστα υλικά των οποίων η διαχείριση αποφέρει κέρδος για τον εργολάβο, με αποτέλεσμα ο βαθμός ανάκτησής τους να πλησιάζει το 100%.

## Μη Σιδηρούχα

Το αλουμίνιο αποτελεί τον κυριότερο εκπρόσωπο των μη σιδηρούχων μετάλλων. Στα αδρανή υπολείμματα καταδαφίσεων το αλουμίνιο μπορεί να προέλθει από ένα πλήθος πηγών όπως κατασκευαστικά πλαίσια, σκέπαστρα, οροφές, πόρτες, κουφώματα, υδρορροές, κ.λπ. Η διεργασία παραγωγής του αλουμινίου είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα, αφού ένας τόνος αλουμινίου που παράγεται από βωξίτη απαιτεί κατανάλωση ενέργειας της τάξης των 51 MWh. Αντίθετα, ένας τόνος αλουμινίου που παράγεται από ανακυκλωμένο αλουμίνιο απαιτεί την κατανάλωση μόλις 2 MWh. Επιτυγχάνεται επομένως εξοικονόμηση ενέργειας έως και 95%, γεγονός το οποίο αποτελεί το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που προκύπτει από την ανακύκλωση του αλουμινίου. Κυριότερες πηγές παραγωγής χαλκού αποτελούν οι σωληνώσεις κυρίως από το δίκτυο θέρμανσης και κλιματισμού, τα σκέπαστρα οροφών καθώς και το εσωτερικό των καλωδίων. Αντίστοιχα ο μόλυβδος προέρχεται από σωλήνες υδραυλικών εγκαταστάσεων, παλιές αποχετεύσεις, σιφόνια καθώς και φύλλα μονώσεων. Ο ψευδάργυρος συναντάται όχι τόσο συχνά και κυρίως σε σωλήνες ύδρευσης καθώς και σκέπαστρα οροφής.

## Διαχείριση ασφάλτου ορυκτής πίσσας και προϊόντων πίσσας

Διαφορές μορφές ασφάλτου βρίσκονται στη φύση, σε καθαρή κατάσταση ή αναμειγμένες με διάφορες ανόργανες ουσίες, ή προέρχονται από τη διύλιση του πετρελαίου. Κατά κύριο λόγο, τα υλικά αυτά στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους επαναχρησιμοποιούνται σε έργα οδοποιίας ως βάση σε οδούς, αλλά και ως υλικό στρώσης σε αγροτικούς δρόμους, ενώ με περαιτέρω επεξεργασία χρησιμοποιούνται ακόμη και για νέα άσφαλτο. Συγκεκριμένα, για την ανακύκλωση των υλικών κατασκευής του οδοστρώματος έχουν αναπτυχθεί δύο μέθοδοι. Η μέθοδος της επιτόπιας ανακύκλωσης στο χώρο αποκατάστασης του δρόμου (αυτό που συναντάμε όταν ξύνεται ένας δρόμος για να πέσει νέα άσφαλτος) και η μέθοδος της ανακύκλωσης σε κεντρική εγκατάσταση παραγωγής ασφαλτομίγματος, οι μέθοδοι αυτοί θα εξεταστούν πιο αναλυτικά παρακάτω.

## Διαχείριση μονωτικών υλικών

Τα θερμομονωτικά υλικά καθορίζουν τη συμπεριφορά του κτηριακού κελύφους από πλευράς δομικής φυσικής και έχουν ως προορισμό τους να μειώσουν το συντελεστή θερμοπερατότητας των δομικών στοιχείων με στόχο την μείωση των θερμικών απωλειών κατά την χειμερινή περίοδο και μείωση της θερμικής προσόδου κατά τη περίοδο δροσισμού. Μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: Τα οργανικά αφρώδη και τα ανόργανα ινώδη. Κυριότεροι εκπρόσωποι της πρώτης κατηγορίας αποτελούν η διογκωμένη και εξηλασμένη πολυστερίνη καθώς και ο αφρός πολυουρεθάνης, ενώ της δεύτερης αποτελεί ο πετροβάμβακας και ο υαλοβάμβακας.

Ο πετροβάμβακας στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του πρακτικά δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Είναι όμως ανακυκλώσιμος και η συνηθέστερη πρακτική

αφορά στη χρησιμοποίηση του ως πρώτη ύλη για την παραγωγή καινούργιου πετροβάμβακα. Μπορεί επίσης να τοποθετηθεί σε χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων χωρίς να επηρεάζει το έδαφος, καθώς το ποσοστό του οργανικού άνθρακα που εμπεριέχει βρίσκεται κάτω από το 1,5 % της συνολικής μάζας, αρκετά δηλαδή πιο χαμηλά από το επιτρεπτό όριο.

Τα απορρίμματα της πολυστερίνης είναι βλαπτικά για το περιβάλλον, όχι μόνο εξαιτίας της διαφυγής διαφόρων προσθετικών υλικών, αλλά και επειδή η πολυστερίνη δεν αποσυντίθεται εύκολα. Η πολυστερίνη μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αλλά και να ανακυκλωθεί σχετικά εύκολα λόγω της θερμοπλαστικής φύσης του υλικού. Η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να επιτευχθεί αν η πολυστερίνη μετά την αποξήλωση της παραμείνει σε καλή κατάσταση. Αναφορικά με την ανακύκλωση, αυτή μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας την πολυστερίνη ως πρώτη ύλη για την παραγωγή καινούργια πολυστερίνης, μια πρακτική η οποία υιοθετείται από τη παραγωγή μονωτικών υλικών. Η πολυστερίνη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μετά από θερμική επεξεργασία, για την παρασκευή άκαυστου, υψηλών προδιαγραφών, ελαφρού σκυροδέματος. Τέλος τα απορρίμματα της πολυστερίνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως χυτά τεμάχια, κυρίως ως υλικά συσκευασίας και προστασίας κατά τις μεταφορές, μετά από κατάλληλη θερμική επεξεργασία. (36-44)

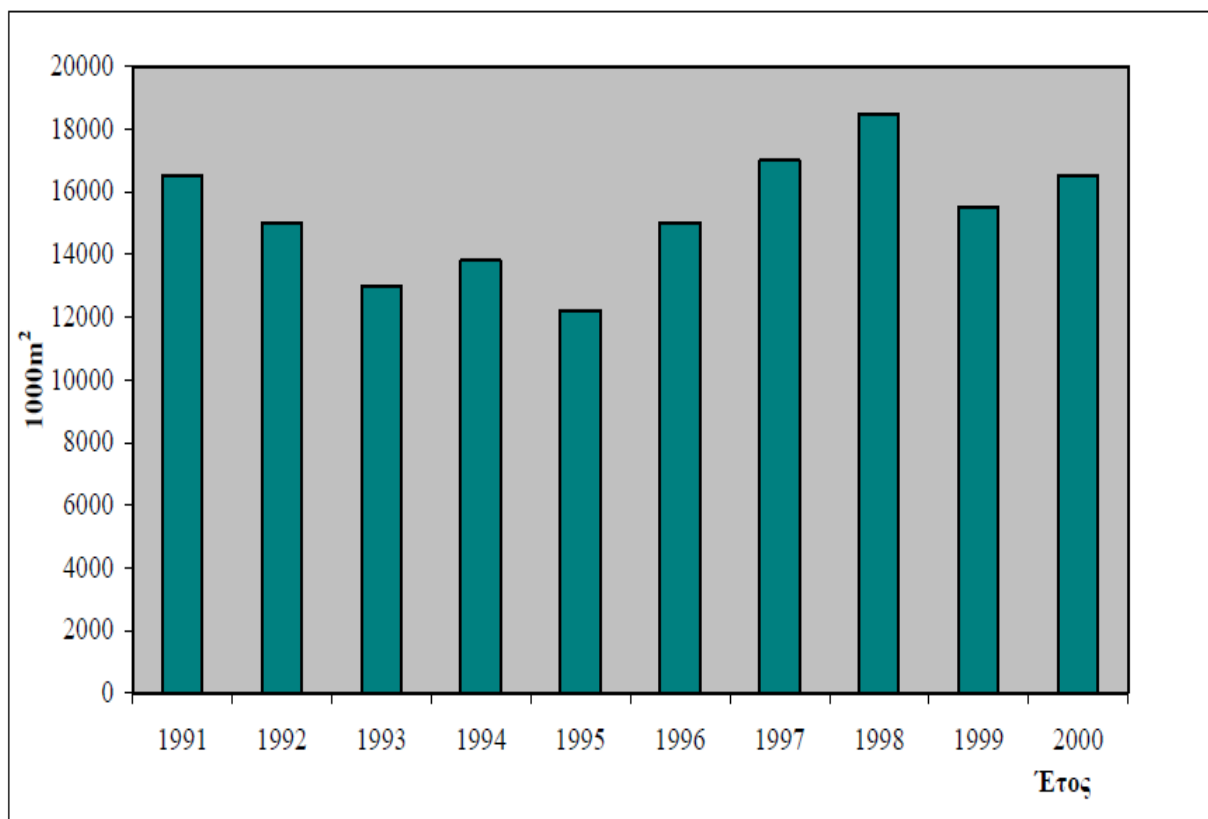
#### **4.2.4 ΤΑ Ποσοτικά στοιχεία αποβλήτων από Κατασκευές και Κατεδαφίσεις στην Ελλάδα**

Ο άμεσος προσδιορισμός των παραγόμενων ποσοτήτων και η ακριβής σύνθεση των ΑΚΚ αποβλήτων είναι δύσκολος. Πρώτα απ' όλα, δεν είναι οι κατασκευαστικές εταιρείες μέχρι τώρα υποχρεωμένες να καταγράφουν και να αναφέρουν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των αποβλήτων που παράγουν και, ως εκ τούτου, δεν είναι σε θέση να παρέχουν σχετικά ακριβή στοιχεία.

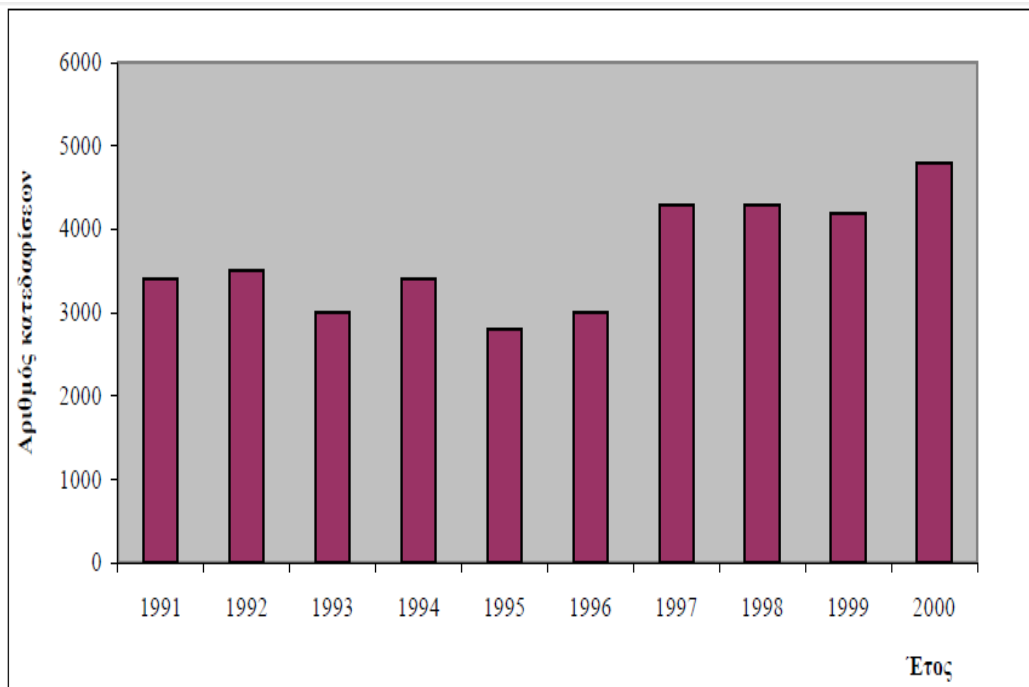
Προς το παρόν, ο μόνος τρόπος για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΚΚ αποβλήτων είναι μέσω της χρήσης των δεδομένων που σχετίζονται με την οικοδομική δραστηριότητα και τον αριθμό των αδειών κατεδάφισης. Τα δεδομένα αυτά εμφανίζονται στα σχήματα 2 και 3, με τα έτη αναφοράς 1991 έως 2000. Προκειμένου να αξιολογήσει τις ποσότητες των παραγόμενων ΑΚΚ αποβλήτων, τρεις βασικές παραδοχές που έγιναν ως εξής:

- $1000\text{m}^2$  της οικοδομικής δραστηριότητας συνεπάγεται στην παραγωγή των αποβλήτων  $50\text{m}^3$ .
- Κάθε κατεδάφιση αντιστοιχεί στο κτίριο του  $60\text{m}^2$  και ο όγκος των παραγόμενων αποβλήτων  $114\text{m}^3$ .
- Για να μετατρέψετε τα ποσοτικά δεδομένα από κυβικά μέτρα σε τόνους, η μέση τιμή της ΑΚΚ πυκνότητας αποβλήτων θεωρείται ως  $1,5 \text{ tonnes/m}^3$ .(45)

Διάγραμμα 3: Συνολικός αριθμός κατασκευαστικών αδειών στην Ελλάδα



Όλες οι παραπάνω παραδοχές έγιναν μετά από διαβουλεύσεις με το Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος (ΕΣΥΕ, 1999) και ενδελεχείς έρευνες σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Με τον τρόπο αυτό, η συνολική ποσότητα αποβλήτων από την OFC & Α στην Ελλάδα εκτιμήθηκαν για τα έτη 1996, 1997 1998, 1999 και 2000 (Διάγραμμα 3). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, οι ποσότητες αυτές δεν περιλαμβάνουν απόβλητα από την κατασκευή και τη διατήρηση των δραστηριοτήτων ανακαίνισης των υποδομών. Η κατανομή των ανωτέρω συνολικών ποσοτήτων της ΑΚΚ αποβλήτων στις 13 περιφέρειες της Ελλάδος φαίνεται στο διάγραμμα 5 για τα έτη 1999 και 2000. Διάγραμμα 6 δείχνει τις ποσότητες της ΑΚΚ στην Ελλάδα για τα έτη 1999 και 2000 χωριστά(45)

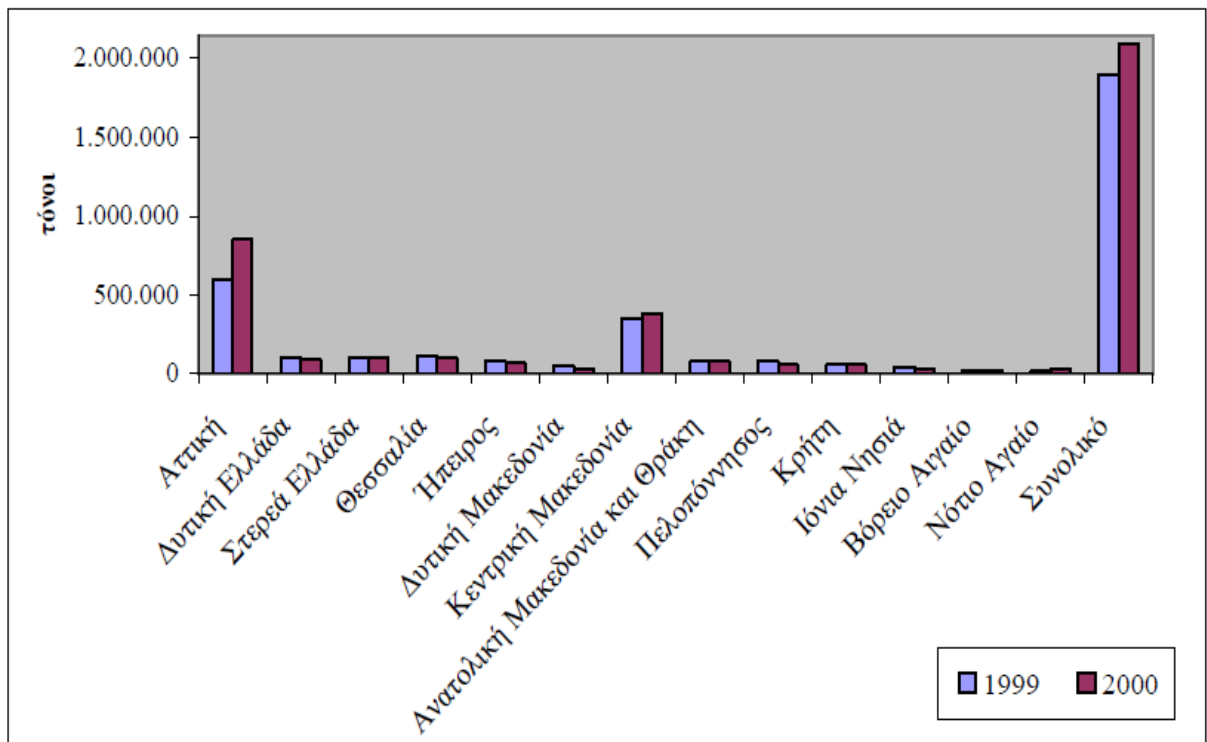


Διάγραμμα 4: Συνολικός αριθμός αδειών καταδείξης στην Ελλάδα

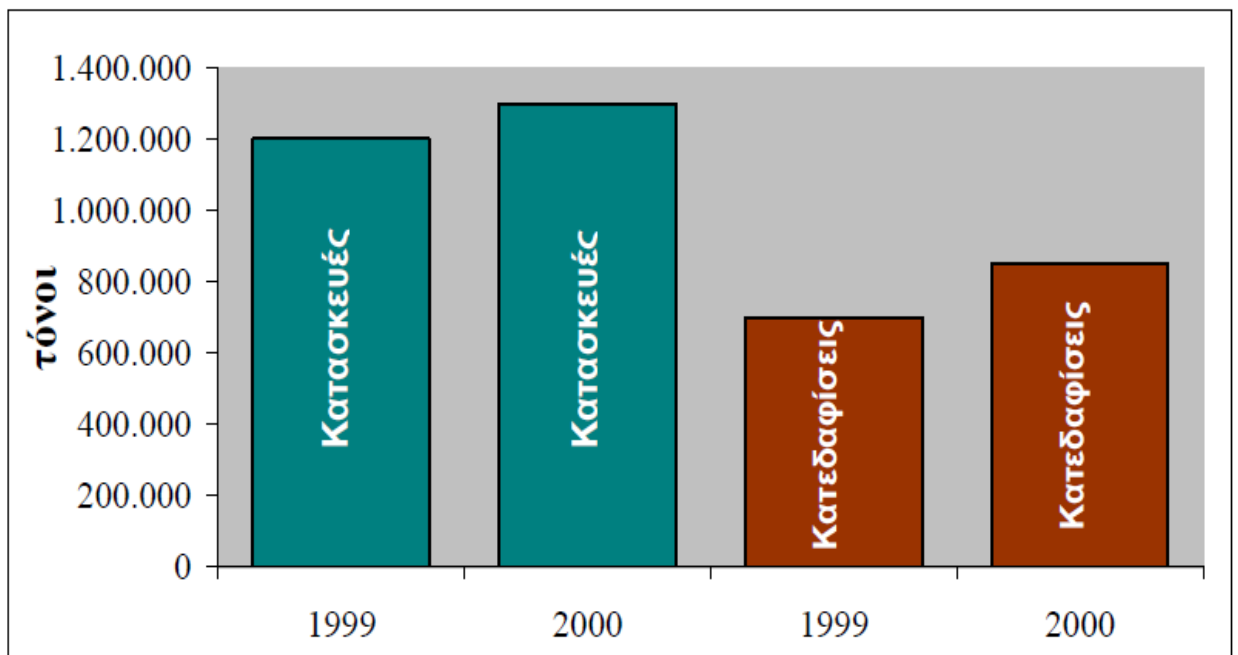
Πίνακας 9 : Συνολικές εκτιμώμενες ποσότητες αποβλήτων από κατασκευές και καταδείξεις για τα έτη 1996-2000 στην Ελλάδα

Έτος	Ποσότητες (τόνοι)
1996	1.636.298
1997	2.006.625
1998	2.130.939
1999	1.899.075
2000	2.092.387

Διάγραμμα 5: Συνολική ποσότητα αποβλήτων από κατασκευές και καταδείξεις για τα έτη 1999 και 2000



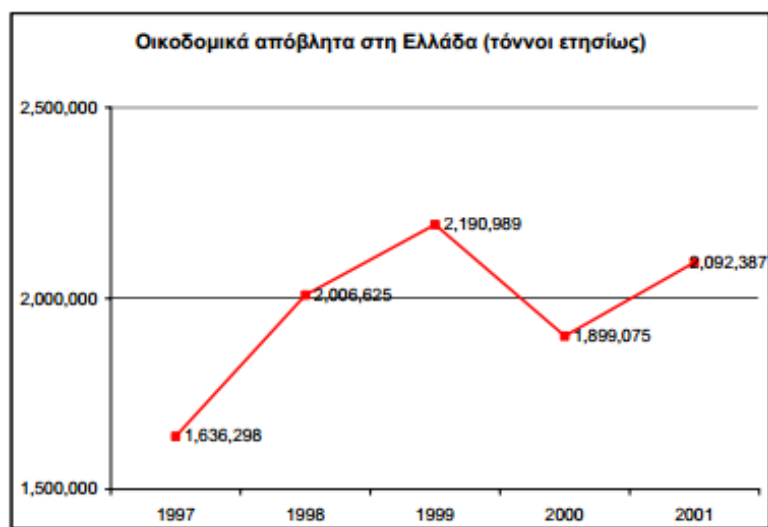
Διάγραμμα 6: Παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις για τα έτη 1999 και 2000



Με βάση την τελευταία απογραφή πληθυσμού (10 939 605), η εκτίμηση των 2. 092 387 τόνοι της ΑΚΚ αποβλήτων για το έτος 2000, δίνει μια μέση παραγωγή 191 κιλά ανά κάτοικο. Αυτή η τιμή είναι πολύ χαμηλότερη από το μέσο όρο των κρατών μελών της υπόλοιπης Ευρωπαϊκής Ένωσης (περίπου 656 kg κατά κεφαλήν,



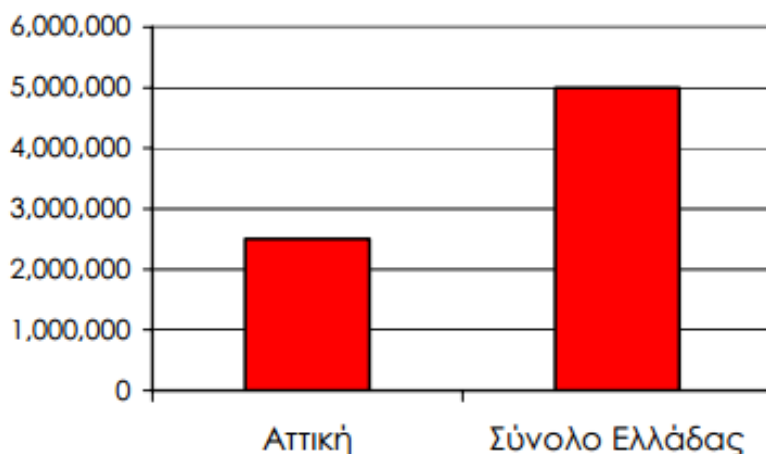
συμπεριλαμβανομένων των αποβλήτων που προέρχονται από έργα υποδομής). Εάν τα απόβλητα από τις δραστηριότητες των υποδομών ελήφθησαν υπόψη, η αξία των 191 kg ανά κεφαλή για την Ελλάδα θα αυξηθούν σημαντικά και πιθανότατα θα είναι συγκρίσιμα με το μέσο όρο των ποσοτήτων που παράγονται σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι, στις περισσότερες χώρες, τα ΑΚΚ απόβλητα προσεγγίζουν και υπερβαίνουν τον όγκο των αστικών απορριμμάτων, ο όγκος των ΑΚΚ αποβλήτων στην Ελλάδα εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 3,9 εκατομμύρια τόνους.(45)



Σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ ([www.minenv.gr/anakyklosi](http://www.minenv.gr/anakyklosi)), τα απόβλητα που προέρχονται από οικοδομικές δραστηριότητες και κατεδαφίσεις εκτιμάται ότι το 2004 είναι (σχήμα 9) :

- στην Αττική: 2.500.000 τόνοι
- στο σύνολο της χώρας: 5.500.000 τόνοι

### Οικοδομικά απόβλητα (τόννοι ετησίως)



Σχήμα 10: Ποσότητες οικοδομικών αποβλήτων στην Ελλάδα (2004)

Παρ' όλα αυτά, θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, τα ποσά αποβλήτων ανά κάτοικο διαφέρουν σημαντικά από τη μία χώρα στην άλλη. Αυτό μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί από τις οικονομικές και πολιτιστικές διαφορές ότι, υπάρχουν μεταξύ των χωρών. Τα διαφορετικά επίπεδα θα μπορούσαν επίσης, σε κάποιο βαθμό να εξηγηθούν από τις διάφορες διαδικασίες εγγραφής και χρήσης αυτού του τύπου αποβλήτων, (ΕΕΑ,2001).(46)

#### 4.2.5 Νομοθετικό Σχέδιο διαχείρισης για τη απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων στην Ελλάδα

Το 2001 ένας νέος νόμος δημοσιεύθηκε (Νόμος 2939, 2001) σχετικά με την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων. Ο νόμος αυτός μαζί με την Κοινή Υπουργική Απόφαση, για την 69728/824/96 στα Μέτρα και Όροι για τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, ορίζουν το πλαίσιο στο οποίο, ένα σχέδιο διαχείρισης για την ΑΚΚ αποβλήτων πρέπει να βασίζεται. Πιο συγκεκριμένα η διοίκηση πρέπει να λαμβάνει υπόψη και να είναι σύμφωνη με τις ακόλουθες αρχές:

- Η σταθερότητα και η βιωσιμότητα.
- πρόληψη και ελαχιστοποίηση των αποβλήτων.
- ο ρυπαίνων πληρώνει.
- Η ευθύνη του παραγωγού του.
- Ενέργεια και πρώτες ύλες διατήρησης.

- Προστασία των φυσικών πόρων.
- Ελαχιστοποίηση από τα επικίνδυνα χαρακτηριστικά των αποβλήτων.
- Ελαχιστοποίηση των ποσοτήτων αποβλήτων που αποθηκεύονται προσωρινά.
- Αύξηση των ποσοτήτων να επαναχρησιμοποιηθούν, να ανακυκλωθούν και να ανακτηθούν.
- Προώθηση των περιβαλλοντικών επενδύσεων.
- Ασφαλής τελική διάθεση.
- Έναρξη των εκστρατειών ευαισθητοποίησης και εκπαιδευτικά προγράμματα.

Κατά τη διάρκεια των σπουδών τους οι συγγραφείς κατέληξαν με τις ακόλουθες προτάσεις και εισηγήσεις που, σχετίζονται με την επίτευξη των ορθολογιστικών διαχείρισης των αποβλήτων ΑΚΚ στην Ελλάδα. Δεδομένου ότι η απογραφή των παραγόμενων αποβλήτων δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμη, οι προτάσεις με βάση τους υπολογισμούς που πραγματοποίησε η ομάδα ΕΜΠ. Όλες οι προτάσεις είναι σύμφωνες με τις προαναφερθείσες αρχές.

Το πρώτο σημαντικό βήμα ότι, πρέπει να γίνει είναι η καταγραφή των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΚΚ αποβλήτων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η ΕΕ δίνει έμφαση στην συλλογή ακριβών στατιστικών στοιχείων και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων διαύλων πληροφόρησης. Τα αποτελέσματα αυτά θα αποτελέσουν τη βάση για τον καθορισμένων μεθόδων θεραπείας και την ικανότητα των μονάδων επεξεργασίας ανά περιφέρεια. Επιπλέον, όλες οι παράνομες εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για τη διάθεση των ΑΚΚ αποβλήτων πρέπει να καταχωρηθούν και ποσοτικά δεδομένα πρέπει να συλλέγονται. Ένα μεγάλο ποσό των ΑΚΚ αποβλήτων που παράγονται από τις δραστηριότητες των υποδομών. Ως εκ τούτου, η συνεργασία με τις μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες που, προβαίνει σε έργα είναι απαραίτητη για τη συλλογή ποσοτικών δεδομένων σχετικά με την παραγωγή αποβλήτων.

Το γεγονός ότι, οι κύριες ποσότητες της εν λόγω κατηγορίας αποβλήτων στην Αθήνα και Θεσσαλονίκη δίνει προτεραιότητα στην εφαρμογή της σχεδίων διαχείρισης για τις περιοχές αυτές και κυρίως την Αθήνα λόγω των επικείμενων Ολυμπιακών Αγώνων του 2004, το οποίο, απαιτεί την ανάπτυξη χιλιάδων εργοταξίων για τα επόμενα έτη. Αυτά τα σχέδια πρέπει να εξασφαλίζουν ότι, η κατανάλωση πόρων δεν υπερβαίνει τη φέρουσα ικανότητα του περιβάλλοντος και να συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη (Κολιόπουλος, 1999).(47) Η επίτευξη της αποσύνδεσης της χρήσης πόρων από την οικονομική ανάπτυξη μέσω σημαντικά βελτιωμένης απόδοσης των πόρων, η απλοποίηση της οικονομίας και η πρόληψη των αποβλήτων θα πρέπει να είναι ο κύριος στόχος (EC, 2001).(48)

Το κύριο χαρακτηριστικό του προτεινόμενου συστήματος στις πόλεις, όπου παράγονται μεγάλες ποσότητες των ΑΚΚ , είναι η κατασκευή και λειτουργία μιας μονάδας για την επεξεργασία / ανακύκλωση των ΑΚΚ και της διάθεσης των αδρανών αποβλήτων. Η μονάδα αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει τον εξοπλισμό για τη διαλογή και τη θραύση των αδρανών αποβλήτων, καθώς και χώροι υγειονομικής ταφής για τη διάθεση των υπολειμμάτων. Η μονάδα θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή των δομικών υλικών, θραύσματα από μέταλλο, ξύλο, μικτή άχρηστα υλικά και αδρανές υπόλειμμα.

Τα μικτά άχρηστα υλικά θα πρέπει να διατίθενται σε ελεγχόμενους χώρους υγειονομικής ταφής, ενώ τα υπόλοιπα χρήσιμα υλικά πρέπει να προωθηθούν προς πώληση. Ο φόρος συνιστάται να τεθούν σε ισχύ για τη διάθεση των μη αδρανών αποβλήτων όπως θραύσματα ότι περιέχει ξυλεία, μέταλλα, κλπ. Ο φόρος αυτός θα αποτελέσει ένα ισχυρό κίνητρο για την ανάπτυξη τεχνικών διαχωρισμού από τους δημιουργούς των αποβλήτων. Όσον αφορά τη φορολογία και την εισαγωγή του ειδικού τέλους διάθεσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, εκτός εάν οι παραγόμενες ποσότητες των C & D αποβλήτων είναι καταχωρημένες και τα νόμιμα χώρων διάθεσης και των μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων που καθιερώθηκε, την ανεξέλεγκτη διάθεση, το λεγόμενο ανεξέλεγκτο, θα γίνει ένα φαινόμενο των μεγαλύτερων διαστάσεων.

Τα ΑΚΚ απόβλητα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά επικάλυψης σε χώρους υγειονομικής ταφής, μετά την αφαίρεση των επικίνδυνων ουσιών. Επιπλέον, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην οδοποιία, στην κατασκευή παρκινγκ, ως αναχώματα, κ.λπ. (EC , 2000).(49)

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, οι ακίνητες ΑΚΚ εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων έχουν υψηλότερο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης από αυτό, της κινητής μονάδας. Εξοπλισμός τους ακολουθεί την τελευταία λέξη της τεχνολογίας και παράγει υλικό ανακύκλωσης υψηλής ποιότητας. Βέβαια, απαραίτητη προϋπόθεση για την αποδοτική έκβαση των εν λόγω φυτών είναι ότι, έχουν τοποθετηθεί σε περιοχές όπου παράγονται μεγάλες ποσότητες των ΑΚΚ αποβλήτων. Όσον αφορά την πλειοψηφία των περιοχών της Ελλάδας, εκτός Αθήνας και Θεσσαλονίκης, η λύση των κινητών μονάδων θεραπείας φαίνεται να είναι η βέλτιστη.

Όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων εξετάζεται στα πολυάριθμα ελληνικά νησιά ,οι ακόλουθες ειδικές περιπτώσεις θα πρέπει να τονιστούν:

- Υπάρχει περιορισμένη διαθέσιμη γη για την εγκατάσταση των μονάδων.
- Υπάρχει σημαντική απόσταση από την ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ η θαλάσσια μεταφορά συχνά παρεμποδίζεται από τις κακές καιρικές συνθήκες.
- Οι δραστηριότητες συγκεντρώνονται σε ορισμένες περιοχές των νησιών.
- Η τοπική οικονομία εξαρτάται από τον τουρισμό.

- Τα νησιά χαρακτηρίζονται από μακρές περιόδους υψηλών θερμοκρασιών και ισχυρών ανέμων.

Ως αποτέλεσμα, οι περιοχές θα πρέπει να συσταθούν για την προσωρινή διάθεση από ΑΚΚ απόβλητα. Στη συνέχεια, μια κινητή μονάδα θεραπείας, που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες της περιφέρειας, θα αξιοποιήσει το μείγμα αδρανούς από τα απόβλητα. Επιπλέον, η μεταφορά από αδρανών υλικών από το ένα νησί στο άλλο (με ορισμένες εξαιρέσεις, βάσει της απόστασης) δεν είναι οικονομικά εφαρμόσιμη λόγω του μεγάλου όγκου των αποβλήτων. Επιπλέον, υπάρχει ο κίνδυνος για τις κοινωνικές αντιδράσεις εάν τα απόβλητα μεταφέρονται σε άλλα νησιά. Παρόμοιες ειδικές συνθήκες σε ορεινές περιοχές της Ελλάδας και, ως εκ τούτου, το πλαίσιο για τη διαχείριση από ΑΚΚ αποβλήτων θα πρέπει να είναι αντίστοιχη αυτής που απορρέει

Η ροή των αποβλήτων προκύπτουν από κατεδάφισεις χαρακτηρίζεται ως έχουσα το μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας όσον αφορά τη διαχείριση της. Σήμερα, η ανάπτυξη αποβλήτων ΑΚΚ σχεδίου διαχείρισης πριν από τη χορήγηση της άδειας κατεδάφισης δεν αποτελεί προϋπόθεση στην Ελλάδα. Ωστόσο, σε συμφωνία με τις αρχές του «ο ρυπαίνων πληρώνει» και «ευθύνη του παραγωγού», το προαναφερθέν σχέδιο διαχείρισης πρέπει να καταστεί υποχρεωτικό. Επιπλέον, αυτό το σχέδιο πρέπει να περιλαμβάνει εκτίμηση των επικίνδυνων υλικών ότι, το κτίριο μπορεί να περιέχει, ενώ οι τεχνικές κατεδάφισης θα πρέπει επίσης να αναλυθούν, καθώς μπορούν να επηρεάσουν τη σύνθεση των παραγόμενων αποβλήτων. Το όλο σύστημα διαχείρισης των ΑΚΚ αποβλήτων θα πρέπει να περιγράφεται λεπτομερώς, πριν λαμβάνουν άδεια να προχωρήσει σε κατεδάφιση.

Η ροή αποβλήτων από κατασκευές παρουσιάζει λιγότερες δυσκολίες στην άποψη για τη διαχείριση της επειδή είναι γνωστές οι ποσότητες και τα είδη των υλικών, τα οποία, εισάγονται στα εργοτάξια. Η πρόληψη των αποβλήτων είναι ένα στοιχείο το οποίο απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση. Η εστίαση στην πρόληψη των αποβλήτων θα πρέπει τώρα να σχετίζεται τόσο με την ποσοτική (δηλ. όγκος) όσο και την ποιοτική (δηλ. επικινδυνότητα) πτυχή. Η καλή επικοινωνία μεταξύ του αναδόχου και όλους τους εμπλεκόμενους φορείς θα πρέπει να καθοριστούν, ώστε να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν εναλλακτικά υλικά αντί π.χ. ξυλείας καθώς επίσης και να υιοθετήσει χαμηλές απώλειες, τεχνολογιών. Επίσης η εκπαίδευση των εργαζομένων να βελτιώσουν τις δεξιότητές τους στο χειρισμό των υλικών και την εκτέλεση οικοδομικών εργασιών, η τακτική επιθεώρηση περιοχής, η επί τόπου διαλογή, η δημοσίευση δεικτών αποβλήτων, το καλύτερο υλικό παραγγελίας, η καλύτερη αποθήκευση υλικών, καλύτερη διαχείριση υλικών, χρήση λιγότερο των υλικών συσκευασίας και ούτω καθεξής θεωρούνται μεγάλης σημασίας (Poon et al., 2002).(50)

Επιπλέον, η ανάπτυξη τεχνικών προδιαγραφών για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων προϊόντων αδρανών θα είναι ένα πολύτιμο βήμα.

Πιο συγκεκριμένα, φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους, καθώς και των δυνατοτήτων εφαρμογής τους θα πρέπει να προσδιορίζεται. Σε συνεργασία με τις κατασκευαστικές εταιρείες, οι ενώσεις των οικοδόμων, οι μηχανικοί, το Τεχνικό Επιμελητήριο στην Ελλάδα και άλλες αρμόδιες αρχές, η μελλοντική σύσταση ενός

πιστοποίησης της ποιότητας σχετικά με τα ανακυκλωμένα προϊόντα πρέπει να εξεταστούν. Στο εν λόγω, τον τρόπο, οι καταναλωτές θα είναι λιγότερο καχύποπτοι απέναντι στα ανακυκλωμένα προϊόντα. Επιπλέον, οι συμφωνίες μεταξύ της βιομηχανίας και τις κυβερνητικές αρχές θα πρέπει να συμβάλλουν στη μείωση των τιμών των ανακυκλωμένων προϊόντων σε σχέση με τις πρώτες ύλες.

Τα απόβλητα προβλέπεται ότι θα συνεχίσουν να αυξάνονται εάν δεν ληφθούν διορθωτικά μέτρα σε συνδυασμό με περαιτέρω μέτρα για να ενθαρρύνουν την ανακύκλωση και την ανάκτηση των αποβλήτων. Αρκετές ευρωπαϊκές χώρες όπως το Βέλγιο και η Γερμανία έχουν ήδη επιτύχει υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης των εν λόγω αποβλήτων

Το θέμα της διαχείρισης των ΑΚΚ αποβλήτων είναι μάλλον περίπλοκο. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της Ελλάδας, που σχετίζονται με την μορφολογία και την υψηλή διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, καθιστά την αντιμετώπιση του θέματος, ακόμη πιο δύσκολη. Όχι μόνο αυτό το ζήτημα θα πρέπει να προσελκύσει την προσοχή των αρμόδιων αρχών διαχείρισης, αλλά και απλών πολιτών που θα πρέπει να επιστήσουν την προσοχή τους σε αυτό.

Η απαιτούμενη τεχνολογία επεξεργασίας για την αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων του κατασκευαστικού κλάδου είναι αρκετά απλή. Οι δυσκολίες αφορούν κυρίως τη διαχείριση των διοικητικών παραγόντων και την έλλειψη γόνιμης συνεργασίας μεταξύ των αρμόδιων αρχών. Προς το παρόν, η μόνη απόπειρα διαχείρισης αποβλήτων του κλάδου περιορίζεται στα χώματα από εκσκαφές και τα αδρανή απόβλητα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση του φυσικού τοπίου και των ανενεργών ορυχείων. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα σχέδια διαχείρισης στερεών αποβλήτων που αναπτύσσονται έχουν επικεντρωθεί σε αστικά κυρίως απόβλητα, έτσι ώστε να προωθείται η δημιουργία και η εύρυθμη λειτουργία νέων χώρων υγειονομικής ταφής και άλλων παρεμφερών εγκαταστάσεων, είναι πραγματικά δύσκολο να επιτευχθεί η ταυτόχρονη δημιουργία χώρων υγειονομικής ταφής αδρανών αποβλήτων και ειδικών μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων των κατασκευών. Δεδομένου ότι ο κύριος όγκος των εν λόγω αποβλήτων παράγεται στην Αθήνα (Αττική) και τη Θεσσαλονίκη (Κεντρική Μακεδονία), οι πρωτοβουλίες διαχείρισης θα πρέπει να επικεντρωθούν σε αυτές τις δύο πόλεις.

Στο πλαίσιο της ανάπτυξης ολοκληρωμένων προγραμμάτων ανακύκλωσης, οι περισσότερες κυβερνήσεις των κρατών μελών της ΕΕ κατέληξαν σε συμφωνίες με τις βιομηχανίες. Η πρακτική αυτή δεν είναι σύνηθες φαινόμενο στην Ελλάδα, αν και θα πρέπει να είναι. Η τεχνική της επιλεκτικής κατεδάφισης, η προώθηση και η χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον, η υποκατάσταση των επικίνδυνων ουσιών, η ανάπτυξη της αγοράς για τα προϊόντα της ανακύκλωσης και την εισαγωγή των τεχνικών προδιαγραφών είναι ότι τα μέτρα, θα μπορούσε να είναι επωφελής με την προϋπόθεση ότι, η κυβέρνηση είναι σε στενή συνεργασία με το βιομηχανικό κλάδο.

Σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, η εισαγωγή πιο αυστηρών μέτρων, όπως η φορολογία και η διάθεση έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές. Στην άποψη προς Ελλάδα, τα μέτρα αυτά θα έχουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα αν συνδυαστεί με τις προαναφερόμενες ενέργειες. Ωστόσο, τα μέτρα σχετικά με την καταγραφή των ΑΚΚ

αποβλήτων και των τεχνικών διαχείρισης (για παράδειγμα προϋποθέσεις για τη χορήγηση άδειας κατεδάφισης) καθώς και τον έλεγχο της ποσότητας των αποβλήτων είναι απαραίτητες για την επιτυχία ενός συστήματος διαχείρισης.

Τέλος, η Ελλάδα μπορεί να διδαχθεί από το παράδειγμα άλλων κρατών μελών της ΕΕ ότι, έχουν επιτύχει υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης των ΑΚΚ αποβλήτων, προκειμένου να επιτύχει την εφαρμογή των κατάλληλων σχεδίων διαχείρισης αποβλήτων.

#### **4.2.6 Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος για την διαχείριση των ΑΚΚ αποβλήτων**

Γενικά θέματα

Τα συστήματα που θα μπορούσαν ενδεχομένως να εφαρμοστούν για τη διαχείριση των ΑΚΚ αποβλήτων διαφέρουν ανάλογα με τις εξής δύο θεμελιώδεις παραμέτρους:

- Είδος της διαδικασίας κατεδάφισης.
- Τοποθεσία της διαχείρισης των αποβλήτων (με ή / και off-site).

Οι διαδικασίες κατεδάφισης θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ως εξής: συμβατικά, μερική επιλεκτική κατεδάφιση και πλήρη επιλεκτική κατεδάφιση. Η επιλογή της τοποθεσίας, όπου η διαχείριση των ΑΚΚ αποβλήτων (θραύση και διαχωρισμός), θα μπορούσαν να λάβουν θέση (επιτόπου ή εκτός του χώρου) βασίζεται στις ακόλουθες παραμέτρους.

- Διαθεσιμότητα των μηχανών.
- Απαιτούμενη ποιότητα των ανακυκλώσιμων υλικών, ώστε να είναι χρησιμοποιηθούν στο εργοτάξιο.
- On-site διαθεσιμότητα χώρου.
- Απόσταση μεταξύ του εργοταξίου και την κοντινότερη Ανακύκλωση Κέντρο ή ΧΥΤΑ.(51)

1. Απομάκρυνση επιλεγμένων υλικών από την υπάρχουσα δομή, πιθανότατα μετά την επί τόπου επεξεργασία	
2. Κατεδάφιση της δομής, ταξινόμηση σε κατάλληλα ρεύματα αποβλήτων και επεξεργασία κάθε ρεύματος επί ή εκτός τόπου πριν την ανακύκλωση ή την τελική διάθεση	
3. Καθαρισμός της επιφάνειας του περιβάλλοντος εδάφους και κάθε μη ανεπιθύμητης σύνδεσης, διαχωρισμένος σε δύο υπο- δραστηριότητες	
3.1 Απομάκρυνση i) των σκληρών επιφανειακών καλυμμάτων και ii) και κάθε ανεπιθύμητης σύνδεσης για ανακύκλωση/διάθεση	3.2 Καθαρισμός και διάθεση ανεπιθύμητης επιφανειακής βλάστησης
4. Προετοιμασία της έκτασης για πώληση ή κατασκευή, διαχωρισμένη σε δύο υπο- δραστηριότητες	
4.1 Προετοιμασία επιπέδων και θεμελίων για νέα κατασκευή	4.2 Προετοιμασία ώστε να μείνει η περιοχή καθαρή και άδεια
5. Ανέγερση νέας δομής και επεξεργασία/διάθεση των αποβλήτων	

Οι πιο σημαντικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή την κατεδάφιση ενός κτιρίου παρουσιάζονται στο Σχήμα 11(52)

Πίνακας 10: Σύνδεση μεταξύ του είδους της περιοχής των έργων και των δραστηριοτήτων οι οποίες πραγματοποιούνται



<b>Πραγματοποιούμενη εργασία</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>4.1</b>	<b>4.2</b>	<b>5</b>
Κατεδάφιση και καθαρισμός							
Κατεδάφιση, καθαρισμός και οικοδόμηση							
Ανακαινήσεις							
Οδοποιία							
Συντήρηση οδοστρώματος							

Τα σκουρότερα κελιά δείχνουν αναπόφευκτες δραστηριότητες
  Τα ανοιχτόχρωμα κελιά δείχνουν προαιρετικές δραστηριότητες

#### 4.2.7 Απόβλητα από κατασκευές

Μια βασική διαφορά ανάμεσα στα απόβλητα που προκύπτουν από τα εργοτάξια όπου λαμβάνει χώρα κατασκευαστική δραστηριότητα και στα απόβλητα από κατεδαφίσεις είναι ότι ο εργολάβος στο εργοτάξιο γνωρίζει (ή οφείλει να γνωρίζει) ακριβώς τη σύσταση των υλικών που χρησιμοποιούνται. Έχει τη δυνατότητα να οργανώσει καλύτερα τη διαχείριση των αποβλήτων που προκύπτουν, καθώς και να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που πιθανόν να προκύψουν κατά το σχεδιασμό διαχείρισης.

Ο εργολάβος οφείλει να διατηρεί αποθέματα υλικών για την αποφυγή τυχόν καθυστερήσεων στην ολοκλήρωση της κατασκευής. Στα εργοτάξια που λαμβάνει χώρα κατασκευαστική δραστηριότητα, εξαιτίας των δύσκολων εργασιακών συνθηκών, κάποια δομικά υλικά αναπόφευκτα καταστρέφονται. Σε αυτή την περίπτωση ο εργολάβος οφείλει να προμηθευτεί νέα ποσότητα υλικών αλλά και να διαχειριστεί τα κατεστραμμένα υλικά που χαρακτηρίζονται ως απόβλητα.

Συνοψίζοντας, τα απόβλητα από κατασκευές χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Κατεστραμμένα υλικά
- Υλικά που δεν χρησιμοποιήθηκαν
- Υλικά συσκευασίας
- Άλλα βοηθητικά υλικά

Όσον αφορά στις δύο πρώτες κατηγορίες, οι ποσότητες των αποβλήτων μπορούν να περιορισθούν με καλύτερο έλεγχο στη διαχείριση των αποθεμάτων και την αρτιότερη εκπαίδευση των εργαζομένων, με στόχο τη μείωση πρόκλησης φθορών στα δομικά υλικά. Η θέσπιση ενός εσωτερικού δικτύου ώστε τα υλικά που περισσεύουν να επιστρέφονται στον παροχέα ή να μεταφέρονται σε άλλο κατασκευαστικό χώρο μπορεί να είναι επίσης χρήσιμη. Η έλλειψη οργάνωσης σε αυτό τον τομέα έχει ως

αποτέλεσμα την απόθεση υλικών από κατασκευές καλής ποιότητας, ως μικτά απόβλητα κατασκευών σε χώρους διάθεσης.(33)

#### 4.2.7.1 Επεξεργασία μίγματος αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις

Το μίγμα των απόβλητων από κατασκευές και κατεδαφίσεις υφίσταται χειροδιαλογή προτού οδηγηθεί στο μαγνητικό διαχωριστή και στο κόσκινο για πρώτη φορά. Ακολουθεί εκ νέου διαχωρισμός για την απομάκρυνση των πλαστικών, ξύλων, χαρτιών και των μη σιδηρούχων μεταλλικών αποβλήτων. Τα μικτά απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις οδηγούνται στη συνέχεια σε ειδικούς θραυστήρες με σιαγόνες (jaw crusher) και ακολούθως σε μαγνητικό διαχωριστή πριν περάσουν από τον διαχωριστή (air separator) ο οποίος απομακρύνει τα ελαφρά υλικά (μικρά κομμάτια χαρτιού και πλαστικού) που δεν απομακρύνθηκαν με τον προηγούμενο διαχωρισμό και το κλάσμα των αδρανών υλικών 0-4mm. Το κλάσμα των 4-45mm δύναται να κοσκινιστεί με τη ίδια διαδικασία που περιγράφηκε για τα πλακάκια τα τούβλα και το σκυρόδεμα. Κάποιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις διαθέτουν ακόμα και μονάδες κομποστοποίησης και επεξεργασίας ξύλου. Στο σχήμα 12 που ακολουθεί απεικονίζεται η διαδικασία που



περιγράφηκε παραπάνω. (33)



Εικόνα 8: Θραυστήρας κρούσης

Οι θραυστήρες με σιαγόνες είναι σφηνοειδής μορφής, όπου μία από τις δύο πλευρές κινείται προς την άλλη και συνθλίβει τα υλικά. Η τροφοδοσία των υλικών γίνεται στο πάνω μέρος, ενώ το στενό άκρο της εξόδου δύναται να καθορίσει και τη φύση των διασπασμένων υλικών.

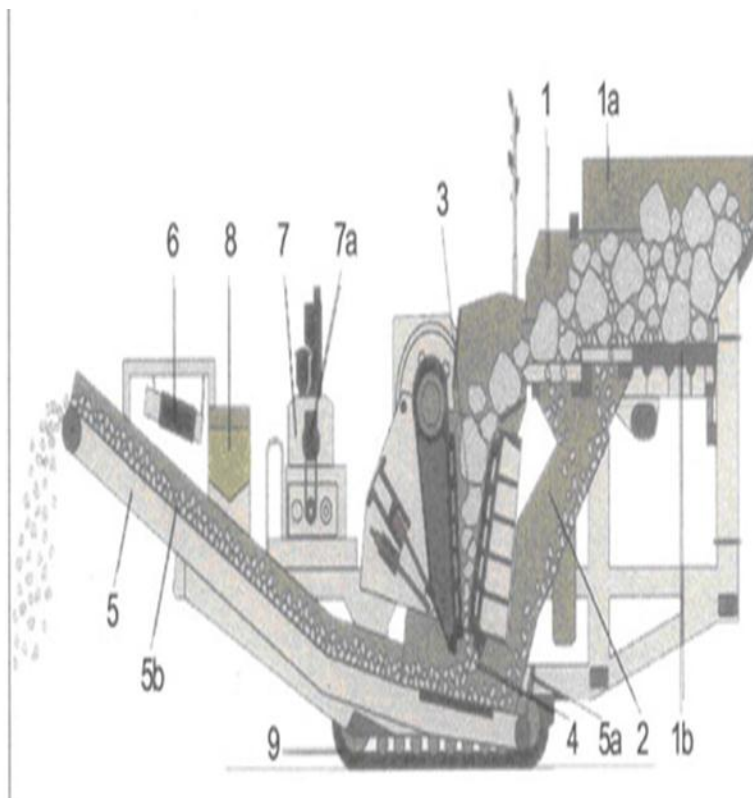
Η επιλογή ανάμεσα στα δυο είδη θραυστήρων εναπόκειται στο υπεύθυνο λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας και κυρίως καθορίζεται από τη χρήση για την οποία προορίζεται το παραγόμενο κονιορτοποιημένο υλικό. Οι θραυστήρες κρούσης παράγουν πιο ομοιόμορφο μίγμα αδρανών, έχουν μικρότερο κόστος αγοράς αλλά μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας ειδικά όταν επεξεργάζονται σκληρά υλικά όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα. Γενικότερα οι θραυστήρες κρούσης έχουν σχεδιαστεί για την επεξεργασία υψηλότερων ροών υλικών σε σχέση με τους θραυστήρες με σιαγόνες.(33)



Εικόνα 9 :Θραυστήρας με σιαγόνες

Key:

- 1 Feed hopper, with extension (1a) and 'grizzly' feeder (1b)
- 2 By-pass chute
- 3 'Jaw' crusher
- 4 Belt protection plate
- 5 Main conveyor, with hydraulic controls (5a) and reinforced belt (5b)
- 6 Magnetic separator
- 7 Engine unit, with generator (7a)
- 8 Fuel and oil tanks
- 9 Tracks



(33)

Εικόνα 10 : Μονάδα επεξεργασίας που περιλαμβάνει μαγνητικό διαχωριστή και θραυστήρα για την επεξεργασία των αποβλήτων

#### 4.2.8 Απόβλητα Οδοποιίας

Υπάρχουν δύο τύποι οδοστρωμάτων, τα εύκαμπτα και τα άκαμπτα οδοστρώματα. Το εύκαμπτο οδόστρωμα κατασκευάζεται συνήθως από σύμφυρμα χαλικιών και ασφάλτου. Τα άκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα τσιμέντου τύπου πόρτλαντ, και ενώ γενικά χαρακτηρίζονται από υψηλότερο αντοχή εμφανίζουν ευπάθεια σε ριγμάτωση.

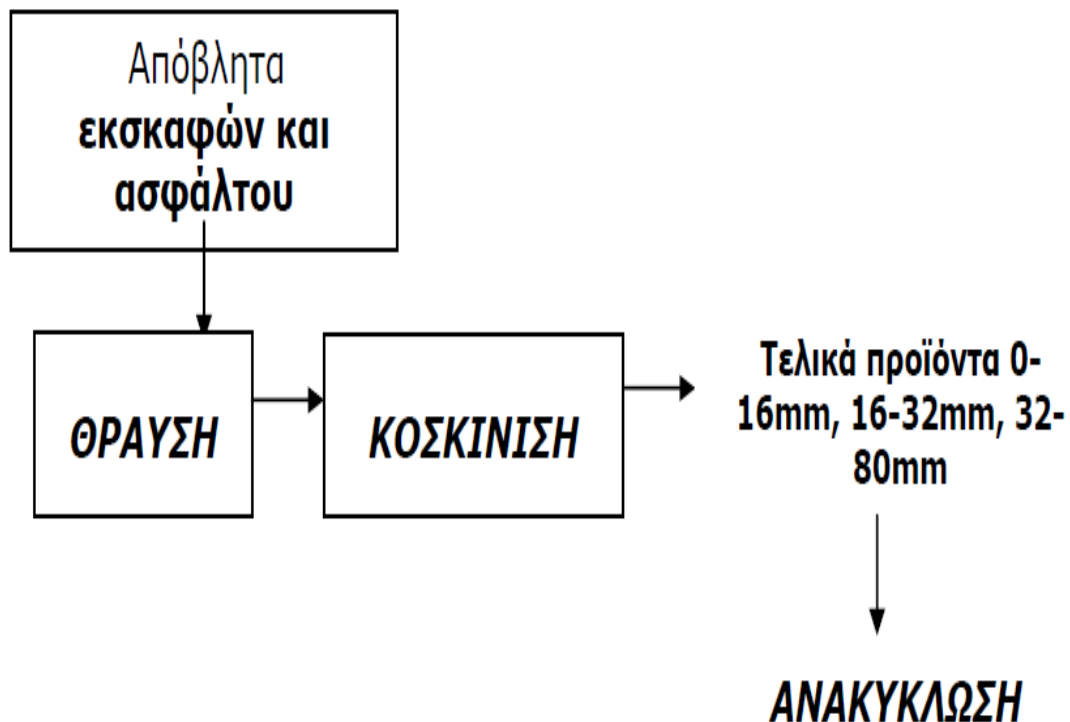
Τα ασφαλτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην οδοποιία είναι κυρίως βιτουμινούχα υλικά, δηλαδή υδρογονανθρακούχα υλικά φυσικής ή πυρογενούς προελεύσεως, τα οποία έχουν συγκολλητικό χαρακτήρα. Στα βιτουμινούχα υλικά οδοποιίας περιλαμβάνονται οι άσφαλτοι και οι πίσσες. Οι άσφαλτοι βρίσκονται στη φύση, σε καθαρή κατάσταση ή αναμεμιγμένες με διάφορες ανόργανες ουσίες, ή προέρχονται από τη διύλιση του πετρελαίου. Οι πίσσες είναι βιτουμινούχα αποστάγματα που παράγονται με αποικοδομητική απόσταξη οργανικών υλών, όπως είναι ο λιθάνθρακας και το ξύλο. Τα ασφαλτικά υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως στην επίστρωση της επιφάνειας των δρόμων. Απόβλητα από τα υλικά που περιγράφηκαν ανωτέρω, παράγονται σε κάθε εργασία επανακατασκευής, συντήρησης ή χάραξης δρόμων.

Υπάρχουν δύο διαδεδομένες μέθοδοι για την ανακύκλωση των υλικών κατασκευής του οδοστρώματος. Η μέθοδος της επιτόπιας ανακύκλωσης στο χώρο αποκατάστασης του δρόμου (in situ) και η μέθοδος της ανακύκλωσης σε κεντρική εγκατάσταση παραγωγής ασφαλτομίγματος (ex situ). Διευκρινίζεται ότι καμία από τις δύο

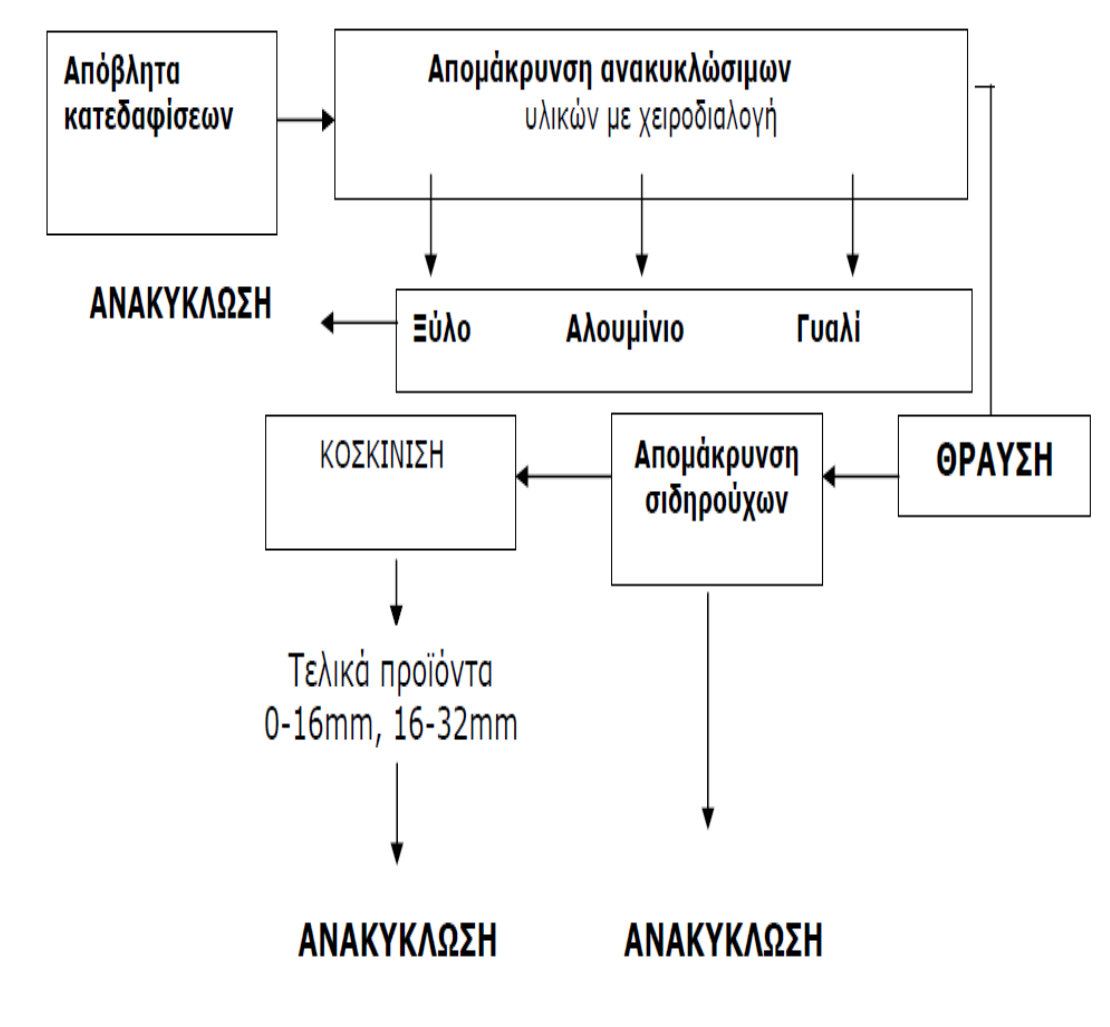
μεθόδους δεν παρέχει διαχωρισμό των υλικών του ασφαλτικού οδοστρώματος στα δύο βασικά του συστατικά την άσφαλτο και τα αδρανή, καθώς και οι δύο βελτιώνουν απευθείας το αρχικό υλικό. Για την επιλογή της μεθόδου ανακύκλωσης, γίνεται δειγματοληψία του παλαιού υλικού του ασφαλτοτάπητα και με εργαστηριακές εξετάσεις καταγράφονται τα χαρακτηριστικά του. Εν συνεχεία προσδιορίζεται το περιεχόμενο ποσοστό της άσφαλτου καθώς και η ποιότητα της (π.χ. βαθμός οξείδωσης, σκληρότητας κ.α.). Τα αποτελέσματα αυτά θα καθορίσουν και τη μέθοδο ανακύκλωσης καθώς και το βαθμό προσθήκης νέου ασφαλτομίγματος, αδρανών υλικών κ.α (33)

#### 4.2.9 Διαγράμματα Ροής Διαχείρισης ΑΕΚΚ

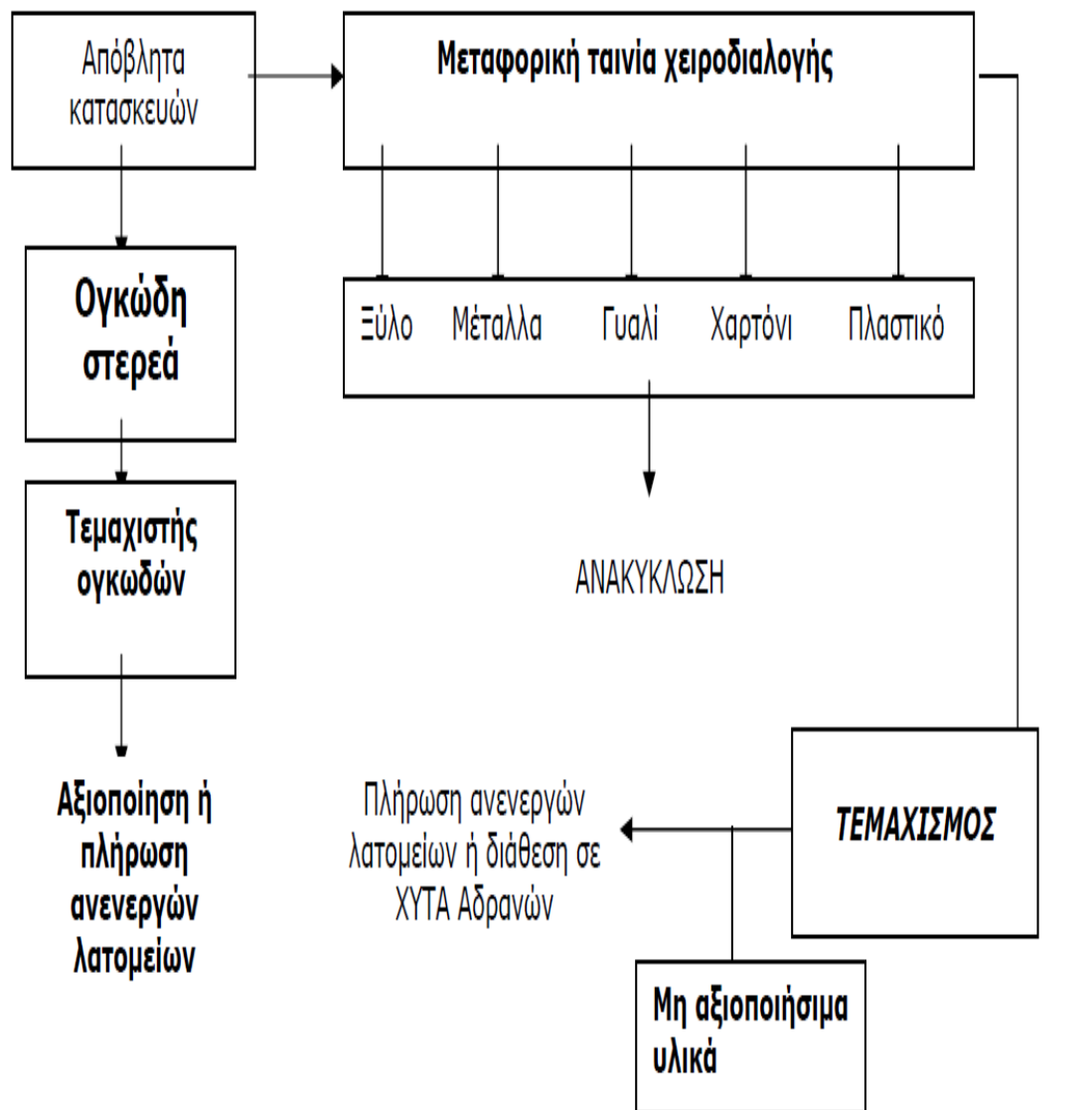
Στα ακόλουθα διαγράμματα περιγράφονται συνοπτικά τα διαγράμματα ροής της διαχείρισης αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές, κατεδαφίσεις και έργα οδοποιίας.(53)



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα ροής διαχείρισης αποβλήτων εκσκαφών και ασφάλτου (53)



Διάγραμμα 8 : Διάγραμμα ροής διαχείρισης αποβλήτων κατεδαφίσεων οικοδομών και τεχνικών έργων. (53)



Διάγραμμα 9: Διάγραμμα ροής διαχείρισης αποβλήτων κατασκευών /ανακαινίσεων κτηρίων.(53)

#### 4.2.10 Τοποθεσία της διαχείρισης των αποβλήτων

Η επιλογή των κατά πόσον η διαχείριση των ΑΚΚ αποβλήτων (θραύση και διαχωρισμός), θα πρέπει να λάβει χώρα εντός ή εκτός του χώρου είναι πολύ περίπλοκη και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, αφού κάθε εναλλακτική διαχείριση (on ή off-site) έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, αλλά και κάποια μειονεκτήματα, όπως παρουσιάζεται συνοπτικά στον Πίνακα .

Πίνακας 11 : Σύγκριση των δύο μεθόδων επεξεργασίας εντός (on-site) και εκτός εργοταξίου (off-site) κατεδάφισης

	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Μειονεκτήματα</b>
Διάσπαση και διαχωρισμός του μίγματος των υλικών που προκύπτουν από την κατεδάφιση εντός εργοταξίου κατεδάφισης	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Χαμηλότερο κόστος διαχείρισης και μεταφοράς των υλικών</li> <li>• Χαμηλότερο κόστος αγοράς μηχανημάτων</li> <li>• Αν τα ανακυκλωμένα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο εργοτάξιο, αυτόματα μειώνονται οι οχλήσεις λόγω της μεταφοράς των υλικών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλότερο κόστος λειτουργίας μηχανημάτων ανά τόνο αποβλήτων</li> <li>• Υψηλότερο επίπεδο ηχορύπανσης και τοπικής ρύπανσης</li> <li>• Απαιτείται χώρος για τα μηχανήματα επεξεργασίας των υλικών</li> <li>• Πιθανή καθυστέρηση στην ολοκλήρωση της κατασκευής</li> <li>• Μικρότερη ευκινησία όσον αφορά στην επιλογή του χρόνου και του τόπου χρήσης των υλικών που ανακυκλώνονται</li> </ul>
Διάσπαση και διαχωρισμός του μίγματος των υλικών που προκύπτουν από την κατεδάφιση εκτός εργοταξίου κατεδάφισης	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Είναι ευκολότερο να μετριάσουν οι όποιες αρνητικές συνέπειες στις γειτονικές περιοχές</li> <li>• Χαμηλότερο κόστος λειτουργίας των μηχανημάτων ανά τόνο αποβλήτων</li> <li>• Είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιείται εξοπλισμός μεγαλύτερης κλίμακας και δυναμικότητας</li> <li>• Είναι πιο εύκολος ο έλεγχος της ποιότητας των ανακυκλωμένων υλικών</li> <li>• Υπάρχει η δυνατότητα διατήρησης αποθεμάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Υψηλότερο κεφάλαιο αγοράς μηχανημάτων</li> <li>• Υψηλότερο κόστος διαχείρισης και μεταφοράς υλικών</li> <li>• Απαιτείται έλεγχος της διεργασίας κατεδάφισης (ώστε να μην έρχονται άγνωστα υλικά στο χώρο)</li> </ul>



#### 4.2.10.1 Εκτός του χώρου της διαχείρισης των αποβλήτων

Τα κέντρα ανακύκλωσης χαρακτηρίζονται από το βαρύ μηχανικό εξοπλισμό και το υψηλό επίπεδο της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις (Brunner & Stampfli 1993, Peng et al. 1997, Huang et al. 2002) (54,55,56). Έτσι, εκτός από τις μονάδες σύνθλιψης και το διαχωρισμό του αδρανούς κλάσματος των ΑΚΚ αποβλήτων, ένα κέντρο ανακύκλωσης περιλαμβάνει μια μονάδα αφαίρεσης μετάλλου καθώς και εξοπλισμό για την πιο περίπλοκη ταξινόμηση / κοσκίνισμα και χέρι-διαλογής, μία μονάδα πλύσης φυτών και άλλων εγκαταστάσεων για ΑΚΚ αποβλήτων (ξύλο, κλπ). Ως αποτέλεσμα, τα κέντρα ανακύκλωσης θεωρούνται κατάλληλα για τη διαχείριση των οποιουδήποτε (αναμειχθεί και έχουν μολυνθεί) τύπων ΑΚΚ αποβλήτων.

Αυτές οι μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις επεξεργασίας βρίσκονται σε χώρες όπου αυτό είναι πιθανώς δίκαιο να υποθέσουμε ότι η ΑΚΚ διαχείριση των αποβλήτων ανέκαθεν θεωρείται ως θέμα διαχείρισης αποβλήτων και ότι τα οικονομικά μέσα (όπως υψηλότερα τέλη διάθεσης αποβλήτων) ακολούθησαν πιο παραδοσιακή γραμμή και κανονισμό για τον έλεγχο.

Ο κύριος σκοπός της μονάδας ανακύκλωσης είναι η μετατροπή των εισερχόμενων αποβλήτων C & D σε κλάσματα που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Στο Διάγραμμα 8 τα απόβλητα C & D διαχωρίζονται με την ακόλουθη διαδικασία. Το μείγμα απορριμμάτων παραδίδεται σε δοχεία που ζυγίζονται και ταξινομούνται με το χέρι, προκειμένου να αφαιρεθούν η ξυλεία, μέταλλα και πλαστικά. Το υπόλοιπο υλικό αρχικά συνθλίβεται σε ένα μηχανικό (σαρόνι ή επιπτώσεις) θραυστήρα και αποστέλλεται στην κεντρική μονάδα θραύσης επάνω σε μεταφορική ταινία. Η κύρια μονάδα θραύσης, η οποία χρησιμοποιείται για την περαιτέρω μείωση του μεγέθους της, αποτελείται από έναν σφαιρομόλο ακολουθούμενη από μονάδα κυκλώνα και ένα μαγνητικό διαχωριστή. Οι κυκλώνες, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με σακούλα φίλτρων με που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό όλων των απαιριών που προκύπτουν από τον σφαιρομόλο και το μαγνητικό διαχωριστή χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή σιδηρούχων μετάλλων. Το υλικό που προέρχεται από την κύρια μονάδα θραύσης κοσκινίζεται σε ένα περιστρεφόμενο τύμπανο, 'ώστε να δώσουν τα ακόλουθα τέσσερα κλάσματα:

- προϊόν Α (ανακυκλωμένο χλιοστά άμμου 0/35)
- προϊόν Β (ανακυκλωμένο χαλίκι 15/45 mm)
- προϊόν Γ (μικτά ανακυκλωμένα αδρανή υλικά 0/45 mm)
- και ένα βαρύ κλάσμα το οποίο επιστρέφεται στην σφαιρομόλο (Pasxali et al. 2005).(57)

Οι μεγάλης κλίμακας μονάδες επικρατούν ως το σύστημα των αποβλήτων διαχείρισης σε χώρες όπου η υγειονομική ταφή έχει απαγορευθεί ή τελών υγειονομικής ταφής είναι πολύ υψηλή. Σε αυτές τις χώρες η ανακύκλωση αποτελεί την πιο ενδιαφέρουσα πρακτική διαχείρισης των αποβλήτων.

Η βιωσιμότητα των μονάδων αυτών σχετίζεται κυρίως με το κόστος μεταφοράς και την τελική διάθεση αποβλήτων, καθώς και το κόστος των πρώτων υλικών. Το πιο σημαντικό, σε χώρους όπου η διάθεση κόστους είναι χαμηλή, το κόστος μεταφοράς είναι υψηλό και οι

τιμές πρώτων και βοηθητικών υλών είναι σχεδόν η ίδια, η βιωσιμότητα ενός κέντρου ανακύκλωσης καθίσταται πολύ δύσκολη (Kartam et al. 2004).(58)

#### **4.2.10.2 Εντός των εγκαταστάσεων διαχείρισης αποβλήτων**

Η επί τόπου αποκατάσταση των ΑΚΚ αποβλήτων μπορεί να ασκηθεί είτε με το διαχωρισμό των υλικών που απορρέει άμεσα ή μέσω του διαχωρισμού των υλικών που αποθηκεύονται μαζικά, δηλαδή σε ένα αρκετά μεγάλο λάκκο στο επίπεδο του εδάφους στο εργοτάξιο (Roop et al, 2004b.Ιωάννης et al. 2004)(59,60). Η άμεση επί τόπου ανάκτηση μπορεί να επιτευχθεί με δύο μεθόδους, λαμβάνοντας υπόψη ότι με συγκεντρωτική επί τόπου αποκατάσταση μπορεί να επιτυγχάνεται με μία μέθοδο. Τα βήματα που ακολουθούνται για τις δύο περιπτώσεις αποκατάστασης εγκατάστασης παρουσιάζονται παρακάτω (Roop et al. 2001).(61)

#### **Άμεση επί τόπου εγκατάσταση**

Η άμεση εγκατάσταση αποκατάσταση των υλικών από C & D αποβλήτων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή των μεθόδων που παρουσιάζονται παρακάτω.

##### **Πρώτη μέθοδος**

- Δύο υδατοπτώσεις υπολειμμάτων που φτάνουν το επίπεδο του εδάφους, μία για τα αδρανή απόβλητα και η άλλη για μη αδρανή απόβλητα.
- Η χωριστή συλλογή αδρανών αποβλήτων και μη αδρανών αποβλήτων από τα συντρίμμια υδατοπτώσεων σε διαφορετικά δοχεία.
- Διαχείριση αδρανών αποβλήτων με μια κινητή μονάδα ανακύκλωσης.
- Οι διαχωρισμένες ροές αποβλήτων εκκαθαρίζονται από διαφορετικά φορτηγά και μεταφέρονται σε διάφορους προορισμούς.

##### **Δεύτερη μέθοδος**

- Μια υδατόπτωση υπολειμμάτων που φτάνει το επίπεδο του εδάφους, για τα αδρανή και μη αδρανή απόβλητα.
- Μόνο ένας τύπος αποβλήτων, αδρανών ή μη αδρανών αποβλήτων, συγκεντρώνονται σε δοχεία κάθε φορά.
- Διαχείριση αδρανών αποβλήτων με μια κινητή μονάδα ανακύκλωσης.
- Απομάκρυνση μη αδρανών αποβλήτων με φορτηγά κάθε 1 ή 2 ημέρες.

## Κεντρική επιτόπου ανάκτηση

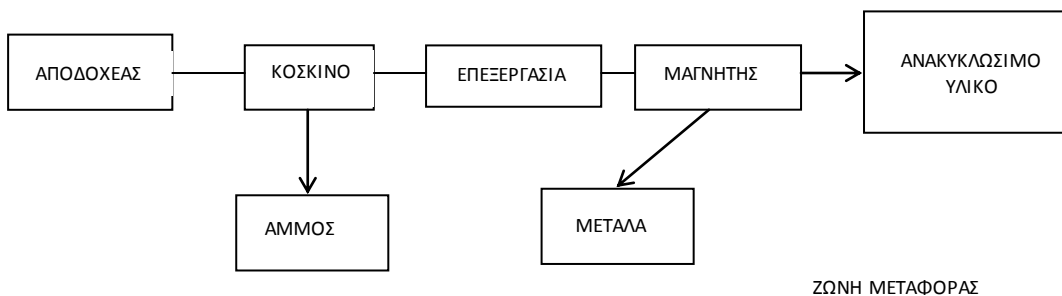
Η κεντρική εγκατάσταση ανάκτησης υλικών από C & D αποβλήτων θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή των ακόλουθων ενεργειών.

- Μια υδατόπτωση υπολειμμάτων που φτάνει το επίπεδο του εδάφους, για τα αδρανή και μη αδρανή απόβλητα.
- Ένα αρκετά μεγάλο λάκκο για την αποθήκευση αποβλήτων στο επίπεδο του εδάφους.
- Εγχειρίδιο διαλογής των απορριμμάτων στο λάκκο.
- Διαχείριση αδρανών αποβλήτων με μια κινητή μονάδα ανακύκλωσης.
- Ξεχωριστή απομάκρυνση των αποβλήτων κατά διαλογή στα φορτηγά.

Το κύριο πλεονέκτημα της διαχείρισης των αποβλήτων είναι ότι ο διευθυντής της κατασκευής ξέρει ή θα πρέπει να γνωρίζει ακριβώς τα είδη εισερχόμενων υλικών και θα πρέπει να είναι σε θέση να ελέγξει το απόθεμα και τη ροή εισόδου αυτών των υλικών. Ως εκ τούτου, είναι δυνατό να πρόβλεψη με ακρίβεια την επεξεργασία των κάθε αποβλήτων. Η καταλληλότητα της διαθέσιμης επιφάνειας, για την αποθήκευση και την επεξεργασία των υλικών είναι το μόνο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει.

Το διάγραμμα 10 απεικονίζει μια κινητή διαδικασία ανακύκλωσης αποβλήτων, που αποτελείται από τέσσερις μονάδες λειτουργίας. Οι μονάδες αυτές περιλαμβάνουν την παραλαβή υλικών, κοσκίνισμα, λείανση και τελικό μαγνητικό διαχωρισμό. Τα εισερχόμενα ΑΚΚ απόβλητα τροφοδοτούνται στον υποδοχέα και αποστέλλονται στη μονάδα ελέγχου άμμου μέσω ενός ιμάντα μεταφοράς. Απόβλητα μεγαλύτερα από το μέγεθος των πόρων του κόσκινου περνούν από την πρώτη μονάδα λειτουργίας και αποστέλλονται στο μύλο για το άμεσα χρησιμοποιώντας ένα μαγνητικό διαχωριστή γενικά.

Τέλος, το ανακυκλωμένο υλικό, το οποίο αποτελείται από διάφορες κατασκευές υλικά όπως άμμο, χαλίκι, σιτάρι, ή βότσαλα, συλλέγονται.



Διάγραμμα 10 :Κινητή διαδικασία ανακύκλωσης ΑΚΚ αποβλήτων

Τα υλικά που προκύπτουν από κατασκευές και κατεδαφίσεις δραστηριοτήτων χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες.

- Κατεστραμμένα υλικά.
- Τα υλικά που βρίσκονται περίσσεια και άφησαν πίσω τους στο τέλος του έργου κατασκευής.
- Γκρι απόβλητα (πετρελαιοειδή απόβλητα, διαρροές πετρελαίου από τα μηχανήματα) και τα απόβλητα που προέρχονται από διάφορες δραστηριότητες (βερνίκι διανομείς και χρώμα, μπουκάλια και δοχεία συγκόλληση κόλλα κλπ.).
- Τα απορρίμματα συσκευασίας.

Οι δύο πρώτες κατηγορίες μπορούν να αντιμετωπιστούν εφόσον οι ακόλουθες προϋποθέσεις πληρούνται (Paxsalí et al. 2005).(57)

- Δημιουργούνται χώροι αποθήκευσης.
  - Ο έλεγχος του αποθέματος βελτιώνεται. Ως αποτέλεσμα, δεν υπάρχουν υλικά που είναι περίσσεια.
  - Το προσωπικό είναι εκπαιδευμένο σχετικά με τις πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων.
  - Οι εταίροι που συμμετέχουν στο πρόγραμμα είναι καλής συνεργασίας.
- Οι κινητές μονάδες είναι κατάλληλες για τη διαχείριση αδρανών ΑΚΚ αποβλήτων. Η αποτελεσματική επί τόπου διαχείριση ΑΚΚ αποβλήτων απαιτεί τις ακόλουθες προϋποθέσεις.

- Δημιουργία χώρων αποθήκευσης στο εργοτάξιο.
- Έλεγχος των αποθεμάτων έτσι ώστε να μην είναι τα υλικά εκτεθειμένα.
- Κατάλληλη εκπαίδευση των εργαζομένων, προκειμένου να καταστεί ικανή η εφαρμογή των κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης.
- Συνεργασία όλων των εργαζομένων που συμμετέχουν στο σύστημα κατεδάφισης του έργου.

Επιπλέον, στις εγκαταστάσεις της διαχείρισης των αποβλήτων απαιτείται συνεργασία μεταξύ των ακόλουθων μερών.

- Ιδιοκτήτες των εργοταξίων.
- Οι αντισυμβαλλόμενοι, οι μηχανικοί και οι εποπτικές αρχές που συμμετέχουν στην το έργο.
- Οι εργαζόμενοι.

Κάθε ομάδα που συμμετέχει θα πρέπει να γνωρίζει με ακρίβεια σχέδιο διαχείρισης των αποβλήτων και, κατά συνέπεια, να είναι σε θέση να εκτελέσει το ρόλο που αναλαμβάνει. Στην περίπτωση των δημοσίων έργων, είναι απαραίτητο το σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων εντός των υποχρεώσεων του αναδόχου και να περιλαμβάνονται στη συγγραφή υποχρεώσεων εργασίας. Η δημοσίευση του οδηγού ορθής πρακτικής θα μπορούσε να βοηθήσει όλους τους συμμετέχοντες στον κλάδο των κατασκευών ώστε να είναι εύκολα εξοικειωμένοι με τις απαιτήσεις των C & D διαχείριση των αποβλήτων με τη χρήση των κινητών μονάδων ανακύκλωσης.

### 4.3 Εναλλακτικά συστήματα για τη διαχείριση των ΑΚΚ αποβλήτων

Σύμφωνα με τις παραμέτρους που αναφέρονται παραπάνω, τα ακόλουθα εναλλακτικά συστήματα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για τη διαχείριση των της ροής των αποβλήτων υπό εξέταση.(62)

#### 4.3.1 Εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων κατεδαφίσεων

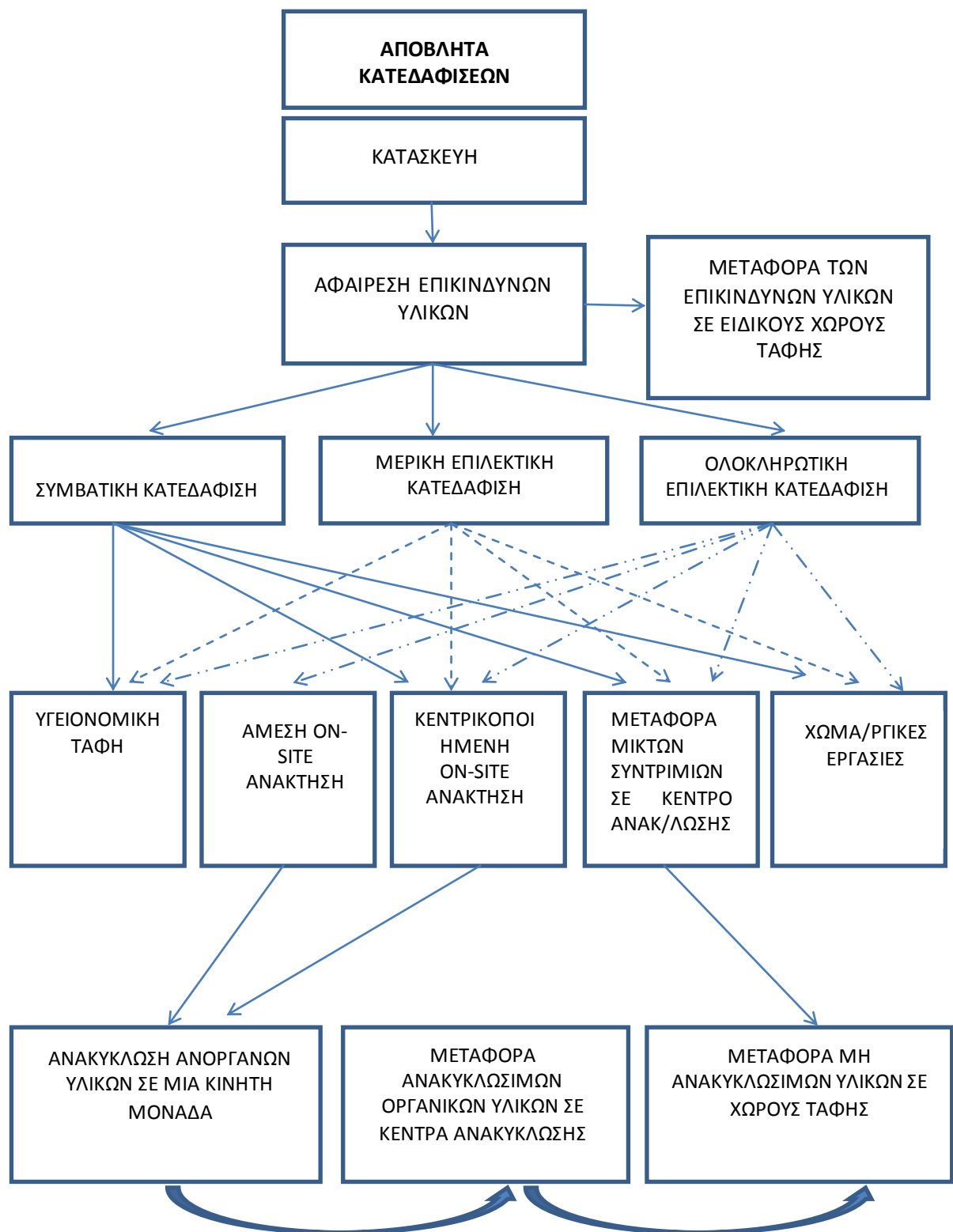
- Συμβατική κατεδάφιση → Χρήση υλικών για τον τραπεζικό τομέα και άλλων έργων εξωραϊσμού.
- Συμβατική κατεδάφιση → Μεταφορά μικτών ανακυκλώσιμων υλικών σε κέντρο ανακύκλωσης → Μεταφορά μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Συμβατική κατεδάφιση → Κεντρική ανάκτηση των σύμμεικτων ανακυκλώσιμων υλικών στο χώρο του ξενοδοχείου και την ανακύκλωση ανόργανων υλικών σε μια κινητή μονάδα ανακύκλωσης → Μεταφορά των ανακυκλώσιμων μη ανόργανων υλικών σε κέντρο ανακύκλωσης και μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Μερική επιλεκτική κατεδάφιση → Μεταφορά μικτών ανακυκλώσιμων υλικών στο κέντρο ανακύκλωσης → Μεταφορά μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Μερική επιλεκτική κατεδάφιση → Κεντρική ανάκτηση μικτών ανακυκλώσιμων υλικών στο χώρο του "ξενοδοχείου" και την ανακύκλωση ανόργανων υλικών σε μια κινητή μονάδα κέντρου ανακύκλωσης → Μεταφορά ανακυκλώσιμων μη ανόργανων υλικών σε κέντρο ανακύκλωσης και μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Πλήρης επιλεκτική κατεδάφιση → Μεταφορά μικτών ανακυκλώσιμων υλικών σε κέντρο ανακύκλωσης → Μεταφορά μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Πλήρης επιλεκτική κατεδάφιση → Κεντρική ανάκτηση μικτών ανακυκλώσιμων υλικών στο χώρο του "ξενοδοχείου" και την ανακύκλωση ανόργανων υλικών σε μια κινητή μονάδα κέντρου ανακύκλωσης → Μεταφορά ανακυκλώσιμων μη ανόργανων υλικών σε κέντρο ανακύκλωσης και μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Πλήρης επιλεκτική κατεδάφιση → Άμεση αποκατάσταση των ατομικών ανακυκλώσιμων υλικών, ξεχωριστά, στο χώρο του ξενοδοχείου και την ανακύκλωση των ανόργανων υλικών σε μια κινητή μονάδα κέντρου ανακύκλωσης → Μεταφορά των ανακυκλώσιμων οργανικών υλικών σε κέντρο ανακύκλωσης \_ και μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.(62)

#### 4.3.2 Εναλλακτική διαχείριση των Αποβλήτων κατασκευών

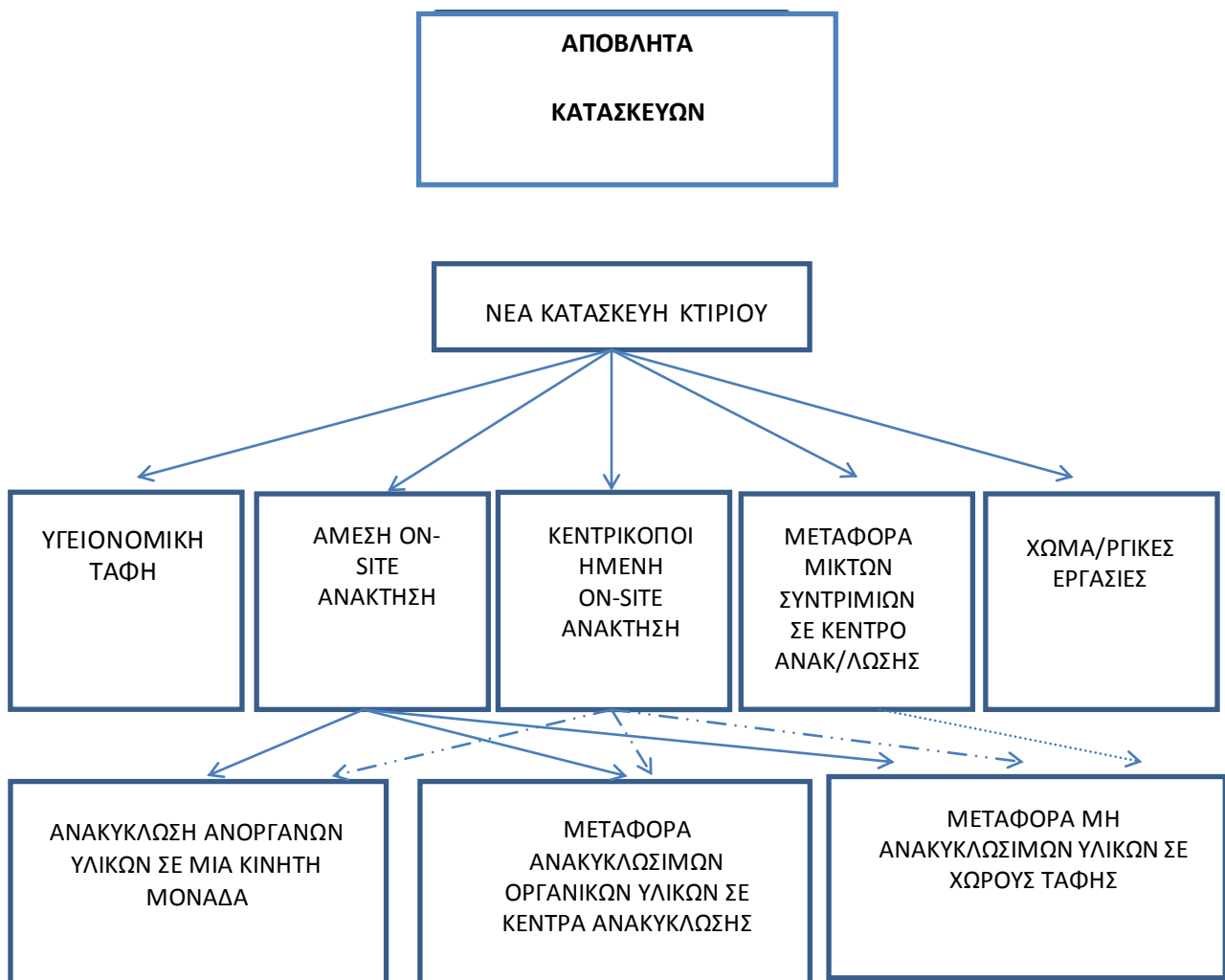
- Χρήση υλικών για τις επιχωματώσεις και άλλα έργα εξωραϊσμού.
- Μεταφορά μικτών ανακυκλώσιμων υλικών για το κέντρο ανακύκλωσης \_ → Μεταφορά μη ανακυκλώσιμου υλικού σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Κεντρική αποκατάσταση μικτών ανακυκλώσιμων υλικών σε τοποθεσία και την

ανακύκλωση ανόργανων υλικών σε μια κινητή μονάδα κέντρου ανακύκλωσης  
→ μονάδα μεταφοράς των ανακυκλώσιμων οργανικών υλικών κέντρου  
ανακύκλωσης και των μη ανακυκλώσιμων υλικών σε χώρους υγειονομικής ταφής.

• Άμεση αποκατάσταση των επιμέρους ανακυκλώσιμων υλικών, χωριστά, στο χώρο  
του ξενοδοχείου και την ανακύκλωση ανόργανων υλικών σε μια κινητή  
μονάδα κέντρου ανακύκλωσης → Μεταφορά των ανακυκλώσιμων οργανικών υλικών  
σε κέντρο ανακύκλωσης και μη ανακυκλώσιμα υλικά σε χώρους υγειονομικής  
ταφής.(62)



Σχήμα 13: Συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων κατεδάφισης(62)



Σχήμα 14 : Συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης των αποβλήτων κατασκευής(62)

Το θέμα της διαχείρισης των ΑΚΚ αποβλήτων είναι μάλλον περίπλοκη. Πρόκειται για ένα ζήτημα που θα πρέπει να κερδίσει την προσοχή και των δύο αρμόδιων αρχών και απλών πολιτών

Είναι σαφές ότι η επιλογή της βέλτιστης διαχείρισης καθεστώτος σχετικά με ΑΚΚ αποβλήτων αποτελεί πολύπλοκο για την λήψη αποφάσεων πρόβλημα για τους ακόλουθους λόγους.

- Τα ΑΚΚ απόβλητα παρουσιάζουν διαφορές στα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους ανάλογα με την καταγωγή τους.



- Πολλές εναλλακτικές πρακτικές διαχείρισης / συστήματα είναι διαθέσιμες.
- Κάθε σύστημα διαχείρισης έχει διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Ως εκ τούτου, η συγκριτική αξιολόγηση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με αξιόπιστη και επιστημονική υποστήριξαν προσέγγιση.

- Η καταλληλότητα του κάθε συστήματος διαχείρισης εξαρτάται από τη τοπική κατάσταση και τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, η οποία μπορεί να προκαλέσει πολλούς φυσικούς και τεχνικούς περιορισμούς.

- Σημαντικές ασυμφωνίες υπάρχουν μεταξύ των στόχων – κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των εναλλακτικών συστημάτων διαχείρισης και την ταξινόμηση των εναλλακτικών λύσεων που περιλαμβάνουν αβεβαιότητα.(62)

Τα κύρια ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επίλυση αυτού του προβλήματος περιλαμβάνουν τους ακόλουθους παράγοντες.

- Το ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης πρέπει να βασίζεται στην διατάξεις και τις αρχές της σχετικής περιβαλλοντικής πολιτικής και νομοθεσίας (ανάκτηση υλικών και επαναχρησιμοποίησης / ή κέντρου ανακύκλωσης).
- Οι πραγματικές ποσότητες των παραγόμενων ΑΚΚ αποβλήτων θα πρέπει να καταγράφονται.

- Οι υφιστάμενες υποδομές για τη διαχείριση της ΑΚΚ αποβλήτων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη.

- Οι διαδικασίες κατεδάφισης που εφαρμόζονται σήμερα θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις πρακτικές της μερικής και πλήρους κατεδάφισης και όχι μόνο το συμβατικό τρόπο. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη δημιουργία του κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου από τις αρμόδιες αρχές.(62)

### 4.3.3 Εναλλακτική Διαχείριση επιμέρους αδρανών οδοποιίας

#### ΕΠΙΤΟΠΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Στη μέθοδο αυτή το ασφαλτικό υλικό του δρόμου που πρόκειται να ανακατασκευαστεί, διασπάται και αναμειγνύεται μέσω ενός κονιοποιητή. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί με ή χωρίς την προσθήκη θερμότητας (εν θερμώ – εν ψυχρώ). Η επιτόπια ανακύκλωση λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών των μηχανημάτων που χρησιμοποιεί, περιορίζεται μόνο στα υλικά της κυκλοφοριακής στρώσης του οδοστρώματος.

#### *Επιτόπια ανακύκλωση εν ψυχρώ*

Στην μέθοδο αυτή τα υλικά κατασκευής του οδοστρώματος διασπώνται με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού, και ακολούθως αναμειγνύονται με νέο ασφαλτικό υλικό. Η

προσθήκη του νέου υλικού δύναται να γίνει πριν την κονιοποίηση ή σε οποιαδήποτε φάση μετά το πρώτο πέρασμα του υλικού από τον κονιοποιητή. Το συνδετικό υλικό που χρησιμοποιείται είναι σχεδόν πάντα ένα ασφαλτικό γαλάκτωμα, ώστε να διασφαλίζεται το πορώδες του υλικού. Το οδόστρωμα που αποκαθίσταται με τον τρόπο αυτό, είναι κατάλληλο για χρήση σε ήπια κλίματα και για ελαφρά κυκλοφορία. Στα ζεστά κλίματα το ποσοστό της υγρασίας στο ανακυκλωμένο μίγμα πριν αυτό απλωθεί στην επιφάνεια πρέπει να είναι χαμηλό, διότι διαφορετικά θα οδηγήσει σε αστοχία εξαιτίας της εσωτερικής πίεσης από την εξάτμιση του πλεονάζοντος νερού.

#### *Επιτόπια ανακύκλωση εν θερμώ*

Η επιτόπια ανακύκλωση εν θερμώ μπορεί να χωριστεί σε τρεις διαδικασίες, που έχουν ως χαρακτηριστικό τη χρήση του ίδιου μηχανικού εξοπλισμού και τη χρησιμοποίηση θερμότητας. Αυτές είναι η αναμόρφωση (reshape), η επαναδιάστρωση (repave) και η επανάμιξη (remix).

#### *Αναμόρφωση του ασφαλτικού οδοστρώματος*

Στη μέθοδο αυτή η επιφάνεια του οδοστρώματος θερμαίνεται με υπέρυθρες ακτίνες σε θερμοκρασία 120-130 °C και επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση χωρίς πρόσμιξη υλικού. Με τη βοήθεια κοχλιών διενεργείται μια εγκάρσια κατανομή του αναμοχλευθέντος υλικού κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο διαστρωτήρας που ακολουθεί να μπορεί να διαστρώσει το υλικό σύμφωνα με την διατομή και σε σταθερό πάχος. Το υλικό που ενδεχομένως περισσεύει απομακρύνεται από τα πλάγια του οδοστρώματος. Η συμπύκνωση του επαναδιαστρωθέντος τάπητα γίνεται αμέσως με βαρείς στατικούς ή δονητικούς συμπυκνωτές και πρέπει να ολοκληρωθεί πριν πέσει η θερμοκρασία της στρώσης που υφίσταται επεξεργασία. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος θα πρέπει το οδόστρωμα να έχει τη σωστή διατομή και να μην παρουσιάζει μεγάλες ανωμαλίες, διότι σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να προηγηθεί πλάνισμα και φρεζάρισμα της επιφάνειας. Επίσης το υπάρχον ασφαλτικό υλικό του ασφαλτοτάπητα θα πρέπει να έχει σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανούς υλικού και σωστή αναλογία σε άσφαλτο. Τέλος η άσφαλτος δεν θα πρέπει να έχει υποστεί χημικές αλλοιώσεις (π.χ. οξειδωση) σε προχωρημένο βαθμό.

#### *Επαναδιάστρωση του παλιού οδοστρώματος με προσθήκη υλικού χωρίς ανάμιξη*

Στη μέθοδο αυτή το οδόστρωμα θερμαίνεται με υπέρυθρες ακτίνες και στη συνέχεια αναμοχλεύεται σε βάθος 3-4 cm. Εν συνεχεία διαμορφώνεται η αναμοχλευόμενη στρώση του παλιού οδοστρώματος και αναθερμαίνεται, ενώ συγχρόνως διαστρώνεται πάνω σε αυτή ένας λεπτοτάπητας (πάχους 3 cm) από νέο ασφαλτόμιγμα. Ακολουθεί συμπύκνωση της διπλής στρώσης ασφαλτομίγματος. Αν το παλιό ασφαλτόμιγμα έχει υποστεί αλλοιώσεις χημικής φύσεως, αυτές θα αντιμετωπιστούν από την κάλυψη του με τη νέα επίστρωση.

### *Επανάμιξη του παλαιού υλικού οδοστρώματος με νέο ασφαλτικό μίγμα*

Στη μέθοδο αυτή ο παλαιός ασφαλτοτάπητας θερμαίνεται και αναμοχλεύεται σε βάθος περίπου 5 cm. Το παλιό ασφαλτόμιγμα αναμιγνύεται με νέο συμπληρωματικό ασφαλτόμιγμα σε θερμαινόμενο ειδικό αναμικτήρα του μηχανήματος ανακύκλωσης. Ακολούθως γίνεται η διάστρωση του νέου μίγματος και η κυλίνδρωσή του ώστε να επέλθει συμπίκνωση. Με τη μέθοδο αυτή διορθώνεται η κοκκομετρική διαβάθμιση του αδρανούς υλικού, το ποσοστό της ασφάλτου στο μίγμα καθώς και το είδος της ασφάλτου. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η σχετική ομοιομορφία του ασφαλτομίγματος, ως προς τη διαβάθμιση των υλικών και το ποσοστό της ασφάλτου.

### **ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΕ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Στη μέθοδο αυτή το ανακτημένο υλικό μεταφέρεται σε κατάλληλη εγκατάσταση μίξεως όπου μπορούν να δημιουργηθούν αποθέματα για μελλοντική χρήση ή να υποβληθούν αμέσως σε ανακύκλωση ώστε να παραχθεί νέο ασφαλτικό υλικό. Οι κεντρικές εγκαταστάσεις όπου λαμβάνει χώρα η ανακύκλωση, δύναται να είναι παλιές εγκαταστάσεις παραγωγής ασφαλτομίγματος που έχουν τροποποιηθεί, ή καινούριες εγκαταστάσεις που κατασκευάστηκαν με την πρόβλεψη να δέχονται και να επεξεργάζονται και τα ανακυκλωμένα υλικά από τα παλιά ασφαλτικά οδοστρώματα. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει καλύτερο έλεγχο της ποιότητας των υλικών και καλύτερο μηχανικό έλεγχο της κατασκευαστικής λειτουργίας, με αποτέλεσμα το παραγόμενο μίγμα να παρουσιάζει υψηλή συνοχή και ποιότητα των υλικών αυτών.(63-66)

## **4.4 Επικίνδυνα υλικά στα απόβλητα ΕΚΚ**

Οδηγίας 91/689/ΕΟΚ του Συμβουλίου (1991) (στο Παράρτημα ΙΙΙ), καταρτίστηκε ένας κατάλογος των κριτηρίων να χρησιμοποιείται όταν η επικινδυνότητα των αποβλήτων έχει προσδιοριστεί. Ο κατάλογος αυτός δημοσιεύεται ως συνέχεια της απόφασης 94/904/ΕΟΚ του Συμβουλίου (ο κατάλογος επικίνδυνων αποβλήτων) και αναθεωρήθηκε πρόσφατα από την απόφαση της Επιτροπής, 2001/118/ΕΚ (2001).

Πολύ λίγα υλικά, τα οποία, μπορεί να ταξινομηθούν ως ΑΚΚ αποβλήτων, είναι πάντοτε επικίνδυνα όπως ορίζεται στην οδηγία 91/689/ΕΟΚ και 94/904/ΕΟΚ του Συμβουλίου της απόφασης. Ένα από τα πιο προφανή παραδείγματα αυτής της μικρής ομάδας, και σίγουρα αυτό που, πολύ συχνά αναφέρεται, με βάση τον αμiantoμονώσεως. Ωστόσο, κάποια άλλα υλικά μπορεί να είναι επικίνδυνα επειδή εμφανίζουν ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στο παράρτημα ΙΙΙ της Οδηγίας για να καθορίσουν την

επικινδυνότητα (όπως τοξικότητα ή ευφλεκτότητα). Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να αποκαλυφθούν μόνο κάτω από ειδικές περιστάσεις, οι οποίες, είναι δυνατόν να αποφευχθούν.

Επιπλέον, ορισμένα άλλα απόβλητα, τα οποία, βρίσκονται σε σχετικά μικρά ποσά στα ΑΚΚ απόβλητα (όπως το χρώμα και τα πλαστικά), αν και όχι απαραίτητως επικίνδυνα, δεν είναι ούτε αδρανή. Για χάρη τους πολύ μεγαλύτερο μέρος αδρανές, τα υλικά αυτά πρέπει να διατηρούνται χωριστά από λόγω κλάσματος. Εάν δεν είναι, μπορεί να μην είναι δυνατό για τη θεραπεία του κυρίου όγκου των υλικών ως αδρανών.

Μερικά κλάσματα αποβλήτων ΑΚΚ είναι επικίνδυνα επειδή τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά περιείχαν μεγάλο ποσοστό των υλικών, τα οποία, ήταν τα ίδια επικίνδυνα (π.χ. υπολείμματα μολύβδου, πίσσα, ο αμίαντος, το χρώμα και η διατήρησή τους). Άλλα υλικά γίνονται επικίνδυνα ως άμεσο αποτέλεσμα του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο, έχουν υπάρξει για πολλά χρόνια. Τέλος, άλλα κλάσματα αποβλήτων ΑΚΚ γίνονται επικίνδυνα αν είναι σε επαφή με επικίνδυνα υλικά και / ή στη συνέχεια μπερδεύονται με αυτά. (Council Directive 91/689/EEC, 1991; Council Decision 94/904/EC, 1994; SYMONDS Group Ltd, 1999). (67,68,52)

Στον Πίνακα 12 που ακολουθεί καταγράφονται τα πιθανά επικίνδυνα συστατικά στο ρεύμα των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις, καθώς και οι επιθυμητές πρακτικές διαχείρισής τους.

Προϊόν/ υλικό	Πιθανά επικίνδυνα συστατικά	Πιθανές επικίνδυνες ιδιότητες	Πρακτικές διαχείρισης
Πρόσθετα σκυροδέματος	H/C διαλύτες	Εύφλεκτο	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση
Υλικά ανθεκτικά στην υγρασία	Διαλύτες, Βπουμένιο	Εύφλεκτα, Τοξικά	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση-επεξεργασία πριν από τη διάθεση
Κόλλες	Διαλύτες, ισοκυανιούχες ενώσεις	Εύφλεκτα, Τοξικά, Διεγερτικά	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση-επεξεργασία πριν από τη διάθεση, αναζήτηση εναλλακτικών λιγότερο επικίνδυνων προϊόντων
Προστατευτικές επικαλύψεις, υλικά στεγανοποίησης	Διαλύτες, Βπουμένιο	Εύφλεκτα, τοξικά	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση,

			απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση-επεξεργασία πριν από τη διάθεση, Αναζήτηση εναλλακτικών λιγότερο επικίνδυνων προϊόντων, χρήση νερού
Υλικά επικάλυψης δρόμων	Γαλακτώματα με βάση την πίσσα	Τοξικά	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση
Αμίαντος	Ίνες που μπορούν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα	Τοξικά, καρκινογόνα	Απομάκρυνση κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με σκοπό την εξειδικευμένη διαχείριση
Ορυκτές Ίνες	Ίνες που μπορούν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα	Δερματικές και πνευμονικές ενοχλήσεις	Απομάκρυνση για ξεχωριστή διάθεση
Επεξεργασμένο ξύλο	Χαλκός, αρσενικό, χρώμιο, πίσσα, μικροβιοκτόνα, μυκητοκτόνα	Τοξικό, Οικοτοξικό, Εύφλεκτο	Ανακύκλωση, τα επικίνδυνα υλικά είναι δεσμευμένα στο ξύλο, μικρό ποσοστό αρνητικών επιπτώσεων κατά την απόθεση, αναθυμιάσεις τοξικής αιθάλης και υπολείμματα παράγονται κατά την καύση
Μπογιές και στρώματα επικάλυψης	Διαλύτες μολύβδου, χρωμίου, βαναδίου	Τοξικό εύλεκτο	Μικρό ποσοστό αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον αν είναι δεσμευμένο στο υπόστρωμα, πιθανή τοξική αιθάλη κατά την καύση
Εξοπλισμός μεταφοράς ενέργειας	PCB	Οικοτοξικό	Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια που πρέπει να απομακρυνθούν υπό ελεγχόμενες συνθήκες
Πηγή φωτός	PCB, Υδράργυρος, νάτριο	Τοξικό, Οικοτοξικό	Ανακύκλωση/ απομάκρυνση με σκοπό την εξειδικευμένη απόθεση
Συστήματα εξαερισμού	CFCs	Καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος	Απομάκρυνση με σκοπό την εξειδικευμένη απόθεση
Σύστημα πυροπροστασίας	CFCs	Καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος	Απομάκρυνση με σκοπό την εξειδικευμένη απόθεση
Ρυπασμένες υφάνσιμες ίνες που χρησιμοποιούνται στις οικοδομές	Ραδιονουκλίδια	Τοξικό	Εξειδικευμένη απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση
	Βαριά μέταλλα περιλαμβανόμενου καδμίου, υδραργύρου	Τοξικό	Εξειδικευμένη απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση
	Άνθρακας	Τοξικό	Εξειδικευμένη απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση
Ζωικά προϊόντα[1]	Άνθρακας	Τοξικό	Εξειδικευμένη

			απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση
Φιάλες γκαζιού	Προπάνιο, βουτάνιο, ακετυλένιο	Εύφλεκτα	Επιστροφή στον προμηθευτή
Πληρωτικές ίνες	Ισοκυανιούχες ενώσεις, φθαλικός ανυδρίτης	Τοξικό, Διεγερτικό	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση για εξειδικευμένη διαχείριση
Έλαια και καύσιμα	H/C	Εύφλεκτο, Οικοτοξικό	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση για εξειδικευμένη διαχείριση
Γυψοσανίδες	Πιθανή πηγή H <sub>2</sub> S στο χώρο διάθεσης	Εύφλεκτο, Τοξικό	Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση για εξειδικευμένη διαχείριση
Γυαλί			Παρουσιάζει δυσκολίες στη συλλογή και μεταφορά προς επεξεργασία
Δρόμοι	Πίσσα, διαλύτες	Εύφλεκτο Τοξικό	Ανακύκλωση, και ανάκτηση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι χαμηλή. Ξεχωριστή διάθεση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι μεγάλη
Υπόστρωμα τέφρας/ κλίνκερ	Βαριά μέταλλα περιλαμβανομένου του υδραργύρου και του χαλκού.	Τοξικά	Ανακύκλωση, και ανάκτηση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι χαμηλή. Ξεχωριστή διάθεση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι μεγάλη

(33)

Η Ελλάδα γενικά χαρακτηρίζεται από την απουσία ενός δικτύου για στην συλλογή και τη χρησιμοποίηση των υλικών που περιέχονται στα απόβλητα που δημιουργούνται από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις

#### 4.5 Ρυπασμένα εδάφη

Τα χώματα εκσκαφών σε περίπτωση που δεν έχουν ρυπανθεί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις λειτουργικές ανάγκες των χώρων διάθεσης (π.χ. επιχωματώσεις), για την αποκατάσταση παλαιών χώρων διάθεσης κ.λπ. Το πρόβλημα όσον αφορά στη διαχείρισή τους, έγκειται στο μεγάλο όγκο των συγκεκριμένων αποβλήτων και στο αντίστοιχα υψηλό κόστος μεταφοράς τους.

Όσον αφορά στα χώματα από ρυπασμένα εδάφη, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, κυρίως στην Αμερική, για την επεξεργασία τους με στόχο τη διάσπαση/εξουδετέρωση των ουσιών που προκάλεσαν τη ρύπανση.

Οι τεχνικές επεξεργασίας των ρυπασμένων χωμάτων ταξινομούνται ως εξής:

1. Βιολογικές μέθοδοι: Πρόκειται για μεθόδους που στοχεύουν στη διάσπαση των οργανικών ρυπαντών και τη μετατροπή τους σε προϊόντα που δεν είναι επικίνδυνα για το περιβάλλον (bioremediation, composting).
2. Φυσικές μέθοδοι: Πρόκειται για μεθόδους που βασίζονται στις διαφορετικές φυσικές ιδιότητες του ρυπαντή και των χωμάτων, όπως διαφορά στην πυκνότητα, το ηλεκτρικό δυναμικό, διαλυτότητα κ.α. Οι μέθοδοι αυτοί πρέπει να συνδυασθούν με συστήματα διαχωρισμού ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ανάκτηση.
3. Χημικές μέθοδοι: Πρόκειται για μεθόδους που βασίζονται στην ανάμειξη των χωμάτων με χημικές ουσίες, οι οποίες προκαλούν μείωση της τοξικότητας.
4. Θερμικές μέθοδοι: Πρόκειται για μεθόδους που βασίζονται στη θέρμανση των χωμάτων και στοχεύουν στη διάσπαση των ρύπων σε υψηλές θερμοκρασίες. Πρέπει να εφαρμόζονται με προσοχή, ούτως ώστε να διασφαλίζονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του εδαφικού υλικού.
5. Μέθοδοι επεξεργασίας/σταθεροποίησης: Οι μέθοδοι αυτοί μειώνουν η και εξαφανίζουν τη ρυπογόνο δραστηριότητα του ρύπου, χωρίς να αλλάζουν τη χημική του φύση. Με τη χρήση σταθεροποιητών (τσιμέντο, PFA κ.α.) μειώνεται η μη επιθυμητή ρυπογόνο δραστηριότητα του ρύπου και βελτιώνεται η ποιότητα του εδάφους. Άλλες μέθοδοι μετατρέπουν τα ρυπασμένα χώματα σε βιομηχανικό προϊόν, το οποίο για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή δρόμων.

Σε κάθε περίπτωση η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας εξαρτάται από το είδος του ρύπου, το βαθμό της ρύπανσης και τις συνθήκες του εδάφους.(33)

#### **4.6 Εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων του ΑΚΚ αποβλήτων**

Η γνώση των παραγόμενων ποσοτήτων από κάθε ρεύμα αποβλήτων αποτελεί την κύρια παράμετρο που απαιτείται για την ανάπτυξη ενός κατάλληλου συστήματος για τη διαχείριση του. Τα απόβλητα ΑΚΚ είναι μία από τις πηγές αποβλήτων για τις οποίες τα δεδομένα που σχετίζονται με τις ποσότητες που παράγονται δεν είναι εύκολο να ληφθούν. Τα δεδομένα διατηρούνται από τους παραγωγούς που συμμετέχουν και οι αρχές δεν αναφέρονται σε ποσότητα αποβλήτων, αλλά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως βάση για την εξαγωγή ποσοτικών δεδομένων, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα αποδεικτικά εργαλεία υπολογισμού.

Όλοι οι παραγωγοί και οι αρχές που εμπλέκονται στην παραγωγή και τη διαχείριση της (πηγές για τη συλλογή των δεδομένων που σχετίζονται με τη συγκεκριμένη κατηγορία αποβλήτων) θα πρέπει να καταγράφονται και ένα πρόγραμμα απογραφής θα μπορούσε στη συνέχεια να εφαρμόζονται

προκειμένου να λάβουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία και πληροφορίες για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των ΑΚΚ αποβλήτων.

Τα πρωτογενή δεδομένα που τηρούνται από τις αρμόδιες αρχές και συλλέγονται μέσω του προγράμματος απογραφής πρέπει να αξιολογούνται και να υποβάλλονται σε επεξεργασία για τον υπολογισμό των ποσοτήτων των ΑΚΚ αποβλήτων.

Στη συνέχεια, ένα ενδεικτικό μαθηματικό μοντέλο για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΚΚ αποβλήτων, η οποία έχει αναπτυχθεί από το ΕΜΠ, παρουσιάζεται (NTUA 2002, Fetta et al. 2003).(52)

Πιο συγκεκριμένα, η παρακάτω εξίσωση (1) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των αποβλήτων κατασκευών

$$CW = [NC + OC] * V * D$$

όπου CW είναι η ποσότητα αποβλήτων που δημιουργείται (τόνοι)

NC είναι η επιφάνεια της νέας κατασκευής (m<sup>2</sup>)

OC είναι η επιφάνεια της πρόσθετη κατασκευής ή την επέκταση (m<sup>2</sup>)

V είναι ο όγκος των αποβλήτων κατασκευής ανά 100 m<sup>2</sup> της επιφάνειας (m<sup>3</sup> ανά 100 m<sup>2</sup>)

και D είναι η πυκνότητα των παραγόμενων αποβλήτων (t m<sup>-3</sup>).

Για τον υπολογισμό των ποσοτήτων των αποβλήτων κατεδαφίσεων, η παρακάτω εξίσωση (2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί

$$DW = ND * ANF * AS * V * D$$

όπου η DW είναι παραγόμενης ποσότητας της αποβλήτων κατεδάφισης (σε τόνους), ND είναι ο αριθμός των κτιρίων που κατεδαφίστηκαν ANF είναι ο μέσος αριθμός των ορόφων ανά κατεδαφισμένο κτίριο, AS είναι η μέση επιφάνεια του κτιρίου προς κατεδάφιση (m<sup>2</sup>)

V είναι ο όγκος των παραγόμενων κατεδάφισης αποβλήτων ανά 100 m<sup>2</sup> επιφάνειας του κτιρίου που κατεδαφίστηκε (m<sup>3</sup> ανά 100 m<sup>2</sup>) και D είναι η πυκνότητα των παραγόμενων αποβλήτων (tm<sup>-3</sup>).

#### 4.7 Κόστος Διαχείρισης Αποβλήτων από εσκαφές και κατεδαφίσεις

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οικονομικά στοιχεία σχετικά με την διαχείριση των ΑΕΚΚ. Τα περισσότερα από τα στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται προέρχονται από Ισπανικές επιχειρήσεις αλλά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την Ελλάδα, την Πορτογαλία και την Νότια Ιταλία. Στις χώρες αυτές ισχύουν τα ακόλουθα :

- Οι τιμές των ΧΥΤΑ είναι χαμηλές και τα πρόστιμα για παραβιάσεις είναι σχεδόν ανύπαρκτα.
- Τα πρωτογενή υλικά είναι φθηνά
- Πολύ λίγοι θραυστήρες είναι ικανοί να παράγουν υλικά προερχόμενα από απόβλητα από εσκαφές και κατεδαφίσεις.
- Οι πιο ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις διαχείρισης ΑΕΚΚ βρίσκονται στην Καταλονία και τις διαχειρίζεται η Επιτροπή Διαχείρισης Αποβλήτων (Junta de Residuos). Η επιτροπή Διαχείρισης Αποβλήτων έχει διατυπώσει ένα μοντέλο κοστολόγησης για την ανακύκλωση των αδρανών ΑΕΚΚ. Το μοντέλο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για να συγκριθούν το κόστος/τόνο στις διάφορες



μονάδες διαχείρισης. Ο πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα από το μοντέλο αυτό.

Πίνακας 13: Κόστος σε euro/τόνο για την επεξεργασία με φορητό θραυστήρα

Ετήσια δυναμικότητα εγκατάστασης	30% χρησιμοποίηση	60% χρησιμοποίηση	100% χρησιμοποίηση
50.000 τόνοι/έτος	10,25	5,50	3,60
100.000 τόνοι /έτος	6,40	3,40	2,40
200.000 τόνοι /έτος	4,95	2,75	1,90

Το Καταλονικό μοντέλο προσδιορίζει το πόσο σημαντικό είναι (με οικονομικούς όρους) να ανταποκρίνονται οι θραυστήρες στις απαιτήσεις της αγοράς. Καμία επιχείρηση η οποία θα χρέωνε 10 euro/τόνο για τον θρυμματισμό ΑΕΚΚ, δεν θα μπορούσε να επιβιώσει για πολύ καιρό.

Τα μεταφορικά έξοδα γύρω από την Βαρκελώνη υπολογίζονται σε 2,75 euro για ένα ταξίδι 20 χλμ. Η μεταφορά ΑΕΚΚ σε τιμή μεγαλύτερη από 4-5 euro /τόνο είναι ασύμφορη εκτός και εάν η απόσταση μεταφοράς είναι πολύ μικρή.

Στην Καταλονία η τιμή διάθεσης ΑΕΚΚ σε ΧΥΤΑ εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού. Υλικά με πυκνότητα <0,8 τόνο/m<sup>3</sup> χρεώνεται προς 4,82 euro /τόνο ενώ υλικά με πυκνότητα >1,1 τόνο/m<sup>3</sup> τιμώνται από 1,80 μέχρι 2,10 euro /τόνο. Οι τιμές αυτές έχουν καθοριστεί έτσι ώστε να ενθαρρύνουν τη διαλογή στην πηγή.

Στη μαδρίτη λειτουργεί μια πιλοτική μονάδα ανακύκλωσης πολύ κοντά στην πόλη. Στην Ισπανική αυτή πόλη, τα φορητά είναι συνήθως 20χλμ. , ενώ η χρέωση είναι 3-4 euro /τόνο. Οι τιμές αυτές είναι λίγο υψηλότερες τις αντίστοιχες της Καταλονίας, ενώ πλησιάζουν τις αντίστοιχες Βρετανικές.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω τιμές δημιουργούν προβλήματα στους ανθρώπους που ασχολούνται με την ανακύκλωση με αποτέλεσμα να ψάχνουν είτε για δωρεάν χώρους μέσα στα ΧΥΤΑ είτε για φορητούς θραυστήρες.(53)

#### 4.8 Ποσοτικοί στόχοι για την συλλογή – αξιοποίηση των αποβλήτων από κατασκευές, εκσκαφές και κατεδαφίσεις

1. Οι ποσοτικοί στόχοι για την αξιοποίηση των αποβλήτων από κατασκευές, εκσκαφές και κατεδαφίσεις, εξαιρουμένων των κατηγοριών 17 05 04 και 17 05 06 του Ευρωπαϊκού Καταλόγου Αποβλήτων σύμφωνα με την Απόφαση 2001/118/ΕΚ είναι οι ακόλουθοι:

α) μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2010, να αξιοποιείται κατ' ελάχιστο το 30 % κατά βάρος των παραγομένων αποβλήτων στη χώρα, από το οποίο να ανακυκλώνεται τουλάχιστον 50%.

β) μέχρι την 1η Ιανουαρίου 2015, να αξιοποιείται τουλάχιστον το 60 % κατά βάρος των παραγομένων αποβλήτων στη χώρα, από το οποίο να ανακυκλώνεται τουλάχιστον 50%.

2. Οι ως άνω ποσοτικοί στόχοι είναι δυνατό να τροποποιούνται με κοινή απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων μετά από εισήγηση του ΕΟΕΔΣΑΠ σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 17 (παρ.5) του Ν.2939/2001

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή της Επικοινωνιακής Πολιτικής θα πρέπει να είναι εθνικής εμβέλειας και να απευθύνεται προς :

- τις παραγωγικές τάξεις καθώς και τους ιδιωτικούς και δημόσιους φορείς που έχουν σχέση με τις διαδικασίες της εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΕΚΚ
- το ευρύ κοινό, χωρίζεται για μεθοδολογικούς λόγους σε επιμέρους ομάδες στόχους ώστε να γίνουν εξειδικευμένες εκστρατείες, τόσο από την πλευρά του περιεχομένου του μηνύματος όσο και από τον τρόπο μετάδοσης του προς τους αποδέκτες τους.

Το περιεχόμενο της ενημέρωσης προτείνεται να κινηθεί στην εξής θεματολογία:

I. στα προγράμματα εναλλακτικής διαχείρισης για τα ΑΕΚΚ

II. στα συστήματα επαναχρησιμοποίησης /ανακύκλωσης /αξιοποίησης

III. στο ρόλο των χρηστών-καταναλωτών για την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί στον τομέα της εναλλακτικής διαχείρισης

IV. στη διάθεση των αναγκαίων στοιχείων και δεδομένων σχετικά με τη διαχείριση των ΑΕΚΚ προς τους ενδιαφερόμενους (69)

#### 4.9 Προτεινόμενες δράσεις:

- ✓ Ανάπτυξη Τράπεζας Πληροφοριών πάνω σε Βάση Δεδομένων, η οποία θα είναι προσπελάσιμη διαμέσου ιστοσελίδας στο διαδίκτυο
- ✓ δημιουργία και διανομή CD-ROM για τους εμπλεκόμενους φορείς και τις παραγωγικές τάξεις
- ✓ εκκλαϊκευμένη πληροφορία για την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του ευρέως κοινού θα διατίθεται διαμέσου teletext
- ✓ σχεδιασμός, εκτύπωση και διανομή έντυπου υλικού με τη μορφή: α) αφίσας, β)φυλλαδίων με πιο σύνθετη και ειδική πληροφορία για τους εμπλεκόμενους φορείς, παραγωγικές τάξεις και τους Ο.Τ.Α., και γ) πολύπτυχων ή/και ολιγοσέλιδων εντύπων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του ευρέως κοινού με τη διάθεσή

τους: κατά τη διάρκεια ειδικών εκδηλώσεων ενημέρωσης, από επιλεγμένα σημεία ενημέρωσης στα οποία θα τοποθετηθούν stands με τα έντυπα και σαν ένθετα σε εφημερίδες μεγάλης κυκλοφορίας

- ✓ παραγωγή διαφημιστικών μηνυμάτων για το ραδιόφωνο και την τηλεόραση
- ✓ παραγωγή οπτικοακουστικού υλικού σε βιντεοκασέτες και DVDs το οποίο θα διανεμηθεί επιλεκτικά σε αυτούς που κάνουν ενημέρωση σε ομάδες του κοινού όπως: σχολεία, συλλόγους, χώρους εργασίας, επαγγελματικές ομάδες (69)

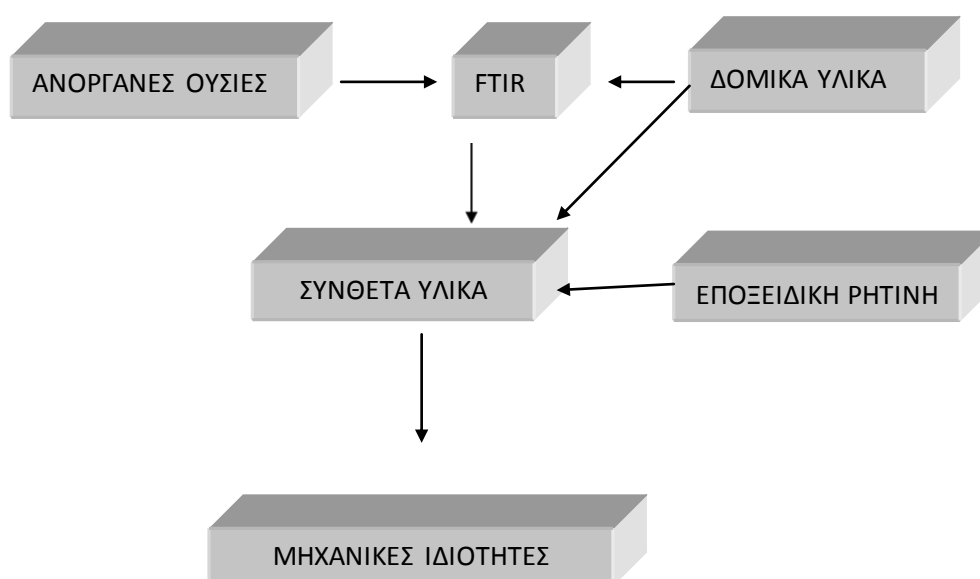
## **5. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΕΙΑΣ**

Σκοπός της μεταπτυχιακής εργασίας είναι να αναδείξει ένα τρόπο ανακύκλωσης δομικών υλικών από κατασκευές και κατεδαφίσεις. Τα δομικά υλικά αυτά αντί να πετάγονται στα Χ.Υ.Τ.Α. και να μολύνουν το περιβάλλον μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν. Όπως έχει προαναφερθεί η εποξειδική ρητίνη είναι ένα υλικό με εξαιρετική πρόσφυση, χημική και θερμική αντοχή/ αντίσταση, καλές έως άριστες μηχανικές ιδιότητες και πολύ καλές ηλεκτρικές μονωτικές ιδιότητες. Οπότε μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε ως πολυμερική μήτρα και να ωφεληθούμε από αυτές τις ιδιότητες της.

Τα νέα αυτά υλικά που θα κατασκευάσουμε μπορεί να μην αποτελούν την πιο οικονομική εναλλακτική λύση σε σχέση με τα παραδοσιακά υλικά λόγω της αυξημένης εμπορικής τιμής της εποξειδικής ρητίνης, αλλά εμφανίζουν

ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές που χρειάζονται για την επαναχρησιμοποίηση τους σε οικοδομές και όχι μόνο.

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, θα μελετηθεί η συμπεριφορά της εποξειδικής ρητίνης σε συνδυασμό με ανόργανα υλικά σε διαφορετικά ποσοστά όπως 10,17, 23 % w/w σε σχέση με το βάρος της εποξειδικής ρητίνης. Τα δοκίμια θα υποβληθούν σε στατικά πειράματα κάμψης και διάτμησης τριών σημείων (3 point bending), για τον χαρακτηρισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών. Ύστερα θα φτιαχτούν δισκία με τις ουσίες CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> καθώς και της σκληρυμένης εποξειδικής ρητίνης για να χαρακτηρισθούν με Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (FTIR). Επίσης θα φτιαχτούν δισκία από κομμάτι από σοβά, κεραμίδι και βαφή για να χαρακτηριστούν με FTIR.



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 6 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

#### 6.1 Πρώτες Ύλες

Για την παραγωγή των σύνθετων υλικών χρησιμοποιήθηκαν ανόργανες χημικές ουσίες όπως :CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και εποξειδική ρητίνη. Παρακάτω αναφέρονται διάφορα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών.

## Εποξειδική ρητίνη & Σκληρυντής

Χρησιμοποιήθηκε το εξής σύστημα εποξειδικής ρητίνης – σκληρυντή της σειράς Eroxol 2004 της εταιρείας Neotex:

### Ρητίνη Eroxol 2004 A Fluid (λεπτόρρευστη)

Λεπτόρρευστη, κατάλληλη για χρήση με οπλισμούς ινών υάλου, ανθρακονημάτων και αραμιίου. Έχει ως βάση της την επιγλωρυδίνη και την διφαινόλη Α σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%.

Σκληρυντής: Eroxol 2004 B Fast (Ταχύς) (κατάλληλος και για χρήση σε θερμοκρασίες <math><10^{\circ}\text{C}</math>). Ο σκληρυντής είναι μία τροποποιημένη κυκλοαλειφατική αμίνη, χαμηλού ιξώδους, με διαλυτή βενζυλική αλκοόλη.

Η αναλογία κατά βάρος που χρησιμοποιήθηκε προς σκλήρυνση του συστήματος, είναι Ρητίνη : Σκληρυντής = 100/18.

Ο χρόνος ζωής μίγματος (POT LIFE) :18'-20'. Ο αναφερόμενος χρόνος ζωής μίγματος είναι υπολογισμένος στους 25°C και για μάζα μίγματος 150gr όπως αναφέρεται στο φυλλάδιο της εταιρείας NEOTEX.

**Το οξείδιο του μαγνησίου** είναι ένα ενδιαφέρον βασικό οξείδιο με πολλές εφαρμογές στην κατάλυση, στην χημορόφηση και στην σύνθεση των ανακλαστικών κεραμικών. Είναι ένα ιδιαίτερο στερεό λόγω του υψηλού του ιοντικού χαρακτήρα, της απλήστου στοιχειομετρίας και κρυσταλλικής του δομής και μπορεί να παρασκευαστεί σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών κόκκων και διατάξεων. (

Έχει παρατηρηθεί το σχήμα και το μέγεθος των νανακρυσταλικών σωματιδίων MgO τους προσδίδει μεγάλη ιδανική επιφάνεια και δραστηριότητα λόγω της υψηλής συγκέντρωσης δομικών ατελειών και εζογομάτων στην επιφάνειά τους. Επίσης είναι έντονα υδροσκοπικό.(70)

Ακίνητα	
Μοριακός τύπος	MgO
Μοριακή μάζα	40,3044 g / mol
Εμφάνιση	Λευκή σκόνη
Οσμή	Άοσμο
Πυκνότητα	3,58 g / cm <sup>3</sup>
Σημείο τήξης	2852 ° C, 3125 K, 5166 ° F
Σημείο βρασμού	3600 ° C, 3873 K, 6512 ° F
Διαλυτότητα στο νερό	0,0086 g/100 ml (30 ° C)
Διαλυτότητα	Διαλυτό σε οξύ , αμμωνία αδιάλυτη στο αλκοόλ
Οξύτητα (σ. Κ <sub>a</sub> )	10,3
Band χάσμα	7,8 eV [1]
Θερμική αγωγιμότητα	45-60 W · m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> . [2]
Δείκτης διάθλασης (n <sub>D</sub> )	1,736
Δομή	
Δομή κρυστάλλου	Halite (κυβικά), CF8
Ομάδα Διάστημα	Fm $\bar{3}m$ , αρ. 225
Συντονισμός γεωμετρία	Οκταεδρικός (Mg <sup>2+</sup> )? Οκταεδρικός (O <sup>2-</sup> )

Θερμοχημεία	
Ενθαλπίας του Std σχηματισμός Δ <sub>στ</sub> H <sup>⊖</sup> <sub>298</sub>	-602 KJ · mol <sup>-1</sup> [3]
Πρότυπο μοριακό εντροπία <sup>⊖</sup> S <sub>298</sub>	27 J · mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> . [3]

(71)

Πίνακας 14 :Χαρακτηριστικά του MgO

Το **οξείδιο του ασβεστίου** παρασκευάζεται βιομηχανικά με πύρωση ασβεστόλιθου μέσα σε κατακόρυφο καμίνι, που εσωτερικά είναι επενδυμένο με πυρίμαχο υλικό, που λέγεται ασβεστοκάμιнос. Ο ασβεστόλιθος διασπάται και σαν προϊόντα δίνει άσβεστο (οξείδιο του ασβεστίου) και διοξείδιο του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα φροντίζουμε να το απομακρύνουμε με ρεύμα αέρα από το κάτω προς το επάνω μέρος της ασβεστοκαμίνου. Η ποιότητα της ασβέστου εξαρτάται από την καθαρότητα του χρησιμοποιούμενου ασβεστόλιθου.

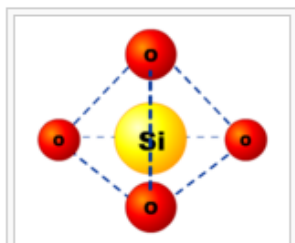
Η άσβεστος είναι σώμα λευκό, στερεό, που λιώνει στους 2.570° C, χωρίς να αποσυντίθεται. Αντιδρά ζωηρά με το νερό και σχηματίζει υδροξείδιο του ασβεστίου (σβησμένη άσβεστος).

Χρησιμοποιείται για την παρασκευή υδροξειδίου του ασβεστίου, ανθρακασβεστίου, κυαναμίδη του ασβεστίου, χλωρασβέστου και γενικά ενώσεων του ασβεστίου. Επίσης βρίσκει εφαρμογή στην υαλουργία, στην κατασκευή πυρίμαχων χωνευτηρίων και σαν συλλίπασμα στη μεταλλουργία.(73)

Ακίνητα	
Μοριακός τύπος	CaO
Μοριακή μάζα	56,0774 g / mol
Εμφάνιση	Λευκό έως υποκίτρινο / καφέ σε σκόνη
Οσμή	όσμο
Πυκνότητα	3,35 g / cm <sup>3</sup>
Σημείο τήξης	2572 ° C, 2845 K, 4662 ° F
Σημείο βρασμού	2850 ° C, 3123 K, 5162 ° F
Διαλυτότητα στο νερό	1,19 g / L (25 ° C), 0,57 g / L (100 ° C), εξώθερμη αντίδραση [1]
Διαλυτότητα σε οξέα	διαλυτό (επίσης σε γλυκερόλη , διάλυμα ζάχαρης )
Διαλυτότητα σε μεθανόλη	αδιάλυτη (επίσης σε διαιθυλαιθέρας , n-οκτανόλη )
Οξύτητα (σ. Κ α)	12,8
Θερμοχημεία	
Ενθαλπίας του Std σχηματισμός $\Delta_{\text{στ}} H^{\ominus}_{298}$	-635 KJ · mol <sup>-1</sup> [2]
Πρότυπο μοριακό εντροπία $^{\ominus} S_{298}$	40 J · mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> . [2]

Πίνακας 15 :Χαρακτηριστικά του CaO (72)

Το **διοξείδιο του πυριτίου** (SiO<sub>2</sub>) είναι ένωση του πυριτίου με οξυγόνο (οξείδιο) πολύ διαδεδομένη στη φύση σε κρυσταλλική ή άμορφη κατάσταση. Η κοινή θαλάσσια άμμος αποτελείται κυρίως από διοξείδιο του πυριτίου. Η κρυσταλλική μορφή αναφέρεται σαν "χαλαζίας", ενώ η άμορφη σαν άμμος. Υπάρχει και η παρασκευασμένη τεχνητά μορφή "πηκτική πυριτίου" (silica gel): πρόκειται για διοξείδιο πυριτίου σε μικροσκοπώδη μορφή, το οποίο λόγω της δομής του, έχει την ιδιότητα να απορροφά - προσροφά διάφορες ουσίες.



Εικόνα 11 : Δομή SiO<sub>2</sub>

Το άμορφο διοξείδιο του πυριτίου χρησιμοποιείται σαν οικοδομικό υλικό, σαν πρώτη ύλη της βιομηχανίας του πυριτίου, του γυαλιού και των κεραμικών. Η συνηθέστερη χρήση της πηκτής πυριτίου είναι σαν απορροφητικό υγρασίας, μέσα σε συσκευασίες ευαίσθητων στην υγρασία αντικειμένων. Είναι τα γνωστά σακουλάκια που βρίσκονται μέσα σε θήκες φωτογραφικών μηχανών, ηλεκτρονικών εξαρτημάτων κλπ. Χρησιμοποιείται όμως και στα χημικά εργαστήρια καθώς και στην χημική βιομηχανία (επίσης σαν προσροφητικό υλικό).

Το κρυσταλλικό χρησιμοποιείται σαν ημιπολύτιμος λίθος και για κατασκευή ειδικών οπτικών οργάνων (επειδή δεν απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία). Χρησιμοποιείται επίσης, λόγω των πιεζοηλεκτρικών ιδιοτήτων του, σε εφαρμογές της ηλεκτρονικής.

Ακίνητα	
Μοριακός τύπος	O <sub>2</sub> Si
Μοριακή μάζα	60,08 g mol <sup>-1</sup>
Εμφάνιση	Διαφανείς κρύσταλλοι
Πυκνότητα	2,648 g · cm <sup>-3</sup>
Σημείο τήξης	1600-1725 ° C, K 1873-1998, 2912-3137 ° F
Σημείο βρασμού	2230 ° C, 2503 K, 4046 ° F
Διαλυτότητα στο νερό	0,079 g L <sup>-1</sup>
Σχετικές ενώσεις	
Σχετικά dioxides	Το διοξείδιο του άνθρακα Γερμανίου διοξειδίου του Μόλυβδος διοξειδίου του Διοξειδίου του κασσίτερου
Σχετικές ενώσεις	Μονοξείδιο του πυριτίου Σουλφίδιο του πυριτίου
Θερμοχημεία	
Ενθαλπίας του Std σχημασμός Δ <sub>στ</sub> H <sup>⊖</sup> <sub>298</sub>	-911 KJ · mol <sup>-1</sup> [1]
Πρότυπο μοριακό εντροπία <sup>⊖</sup> S <sub>298</sub>	42 J · mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> . [1]

(73)(74)

Πίνακας 16 :Χαρακτηριστικά του SiO<sub>2</sub>

**Οξείδιο του αργιλίου** είναι ένα οξείδιο αμφοτερικές με το χημικό τύπο Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>. Είναι κοινώς αναφέρεται ως αλουμίνα (α-αλουμίνα), ή κορούνδιο σε κρυσταλλική μορφή του, καθώς και πολλά άλλα ονόματα, γεγονός που αντικατοπτρίζει ευρέως την



εμφάνισή του στη φύση και τη βιομηχανία. Πιο σημαντική χρήση του είναι στην παραγωγή αλουμινίου μετάλλων, αν και χρησιμοποιείται επίσης ως λειαντικό, λόγω της σκληρότητάς του και ως πυρίμαχο υλικό λόγω της υψηλής σημείο τήξης του. [75] Υπάρχει επίσης ένα κυβικό γ-αλουμίνας με σημαντικές τεχνικές εφαρμογές.

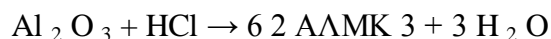
Κορούνδιο είναι η πιο συχνή φυσική κρυσταλλική μορφή του οξειδίου του αργιλίου. ρουμπίνια και ζαφείρια είναι στολίδια ποιότητας μορφές κορούνδιο, που οφείλουν τα χαρακτηριστικά χρώματά τους για τον εντοπισμό προσμείξεων. Ρουμπίνια δίνονται χαρακτηριστικό βαθύ κόκκινο χρώμα τους και λείζερ ιδιότητες από τα ίχνη του χρωμίου. Ζαφείρια έρχονται σε διαφορετικά χρώματα που δόθηκαν από διάφορες άλλες ακαθαρσίες, όπως ο σίδηρος και το τιτάνιο.

Οξείδιο του αργιλίου σε μορφή σκόνης του.

Οξείδιο του αλουμινίου είναι ένας ηλεκτρικός μονωτής, αλλά έχει σχετικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα ( $30 \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$  [1]) για ένα κεραμικό υλικό. Σε πιο συχνά εμφανιζόμενων κρυσταλλική μορφή του, που ονομάζεται κορούνδιο ή α-οξείδιο του αργιλίου, η σκληρότητα του το καθιστά κατάλληλο για χρήση ως λειαντικό και ως συστατικό σε κοπτικά εργαλεία. [75]

Η αλουμίνα παράγεται από ανοδίωσης είναι συνήθως άμορφο, αλλά απαλλαγεί υποβοηθούμενης οξειδωτικές διεργασίες, όπως η ηλεκτρολυτική οξείδωση στο πλάσμα ως αποτέλεσμα ένα σημαντικό ποσοστό του κρυσταλλικού αλουμίνας στην επικάλυψη, την ενίσχυση της σκληρότητας.

Οξείδιο του αλουμινίου είναι εντελώς αδιάλυτα στο νερό. Ωστόσο, είναι ένα αμφοτερικές ουσία, που σημαίνει ότι μπορεί να αντιδράσει και με τα δύο οξέα και βάσεις, όπως υδροχλωρικό οξύ και υδροξείδιο του νατρίου.



Δομή

Η πιο κοινή μορφή του κρυσταλλικού αλουμίνας είναι γνωστή ως κορούνδιο. Τα ιόντα οξυγόνου σχηματίζουν σχεδόν μια εξαγωνική κοντά γεμάτο δομή αλουμινίου με ιόντα πλήρωση δύο-τρίτα των οκταεδρικός διάκενα. Κάθε  $\text{Al}^{3+}$  είναι το κέντρο οκταεδρικός. Όσον αφορά της κρυσταλλογραφίας, κορούνδιο υιοθετεί μια τριγωνικός πλέγμα Bravais με μια ομάδα χώρο της  $E-3\gamma$  (αριθμός 167, στο Διεθνές πίνακες). Το πρωτόγονο κύτταρο περιέχει δύο μονάδες τύπο του οξειδίου του αργιλίου.

Αλουμίνας υπάρχει και σε άλλες φάσεις, δηλαδή γ-, δ-, η-, θ, και χ-aluminas. [76] Καθένα από αυτά έχει μια μοναδική δομή του κρυστάλλου και ιδιότητες. Η λεγόμενη β-αλουμίνας αποδειχθεί  $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$ .

Γνωστή ως alundum (λιωμένο σε μορφή) ή aloxite στην εξόρυξη, κεραμικά, και την επιστήμη των υλικών κοινότητες, αλουμίνας βρίσκει ευρεία χρήση. Η παγκόσμια παραγωγή αλουμίνας είναι περίπου 45 εκατομμύρια τόνους, πάνω από το 90% των

οποίων χρησιμοποιείται για την παρασκευή αλουμινίου. [75] Οι κύριες χρήσεις της ειδικότητας οξειδία του αλουμινίου είναι σε πυρίμαχων υλικών, κεραμικά, και στύλβωση και εφαρμογές λείανσης. Οι μεγάλες ποσότητες και χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των ζεολίθων , επίστρωση τιτανίου χρωστικές ουσίες, και ως επιβραδυντικό φωτιάς / καπνού καταπιεστική.

Ακίνητα	
Μοριακός τύπος	$Al_2O_3$
Μοριακή μάζα	$101,96 \text{ g mol}^{-1}$
Εμφάνιση	Λευκό στερεό
Οσμμή	άοσμο
Πυκνότητα	$3,95 - 4,1 \text{ g / cm}^3$
Σημείο τήξης	$2072 \text{ }^\circ\text{C}$ [2]
Σημείο βρασμού	$2977 \text{ }^\circ\text{C}$ [3]
Διαλυτότητα στο νερό	αδιάλυτο
Διαλυτότητα	αδιάλυτη σε αιθέρα πρακτικά αδιάλυτη σε αιθανόλη
Θερμική αγωγιμότητα	$30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$ . [1]
Δείκτης διάθλασης ( $n_D$ )	$n_\omega = 1,768$ έως $1,772$ $n_\epsilon = 1,760$ έως $1,763$ Birefringence 0,008
Δομή	
Δομή κρυστάλλου	Τριγωνικός , hR30 , χώρος ομάδα $E = \bar{3} \gamma$ , αριθ. 167
Συντονισμός γεωμετρία	οκτάεδρος

Θερμοχημεία	
Ενθαλπίας του Std σχηματισμός $\Delta$ στ $H^\ominus_{298}$	$-1675,7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ [4]
Πρότυπο μοριακό εντροπία $^\ominus S_{298}$	$50,92 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [4]

Πίνακας 17 :Χαρακτηριστικά του  $Al_2O_3(75)$

Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ως πρώτες ύλες δομικά υλικά που ελήφθησαν από κατεδαφιστέα κτίρια ( κομμάτι από σοβά, κεραμίδι και χρώμα).

## 6.2 Εργαστηριακές Συσκευές

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή των πειραμάτων, εκτός από τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων, είναι οι ακόλουθες :

- Ζυγός απλός : OHAUS Portable advanced/ Model No CT1200V/Capacity: 1200\*0,1 g CE/10°C/ τάση συνεχούς λειτουργίας: 6-12 VDC (Volt Direct Current)/70 Ma max.
- Ζυγός ακριβείας : Explorer Ohaus Corporation No E11140 (USA)/max 110 g/d= 0,1 mg/10°C
- Πρέσσα υδραυλική : CARVER, Inc/Model :3856 CE Protected by U.S. and foreign Patents.
- Ηλεκτρικός φούρνος: Elvem/1KW/Volt 220.

## 7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ FOURIER

### 7.1 Γενικά

Το φάσμα απορρόφησης υπερύθρου αποτελεί μία θεμελιώδη ιδιότητα κάθε μορίου που χρησιμεύει κυρίως στην ποιοτική ανάλυση για την αποσαφήνιση της δομής της ένωσης. Παρέχει, λοιπόν, πληροφορίες για την φύση των ατόμων που βρίσκονται στο μόριο και για τη διάταξη τους στο χώρο. Από τα φάσματα υπερύθρου μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα ως προς τη συγκέντρωση ενός συστατικού σε ένα δείγμα, συγκρίνοντας το βάθος της χαρακτηριστικής ταινίας απορρόφησης, με το αντίστοιχο δείγματος γνώστης συγκέντρωσης του εν λόγω συστατικού. Αυτό συμβαίνει γιατί το ποσό της ενέργειας που απορροφάται είναι συνάρτηση του αριθμού των υπαρχόντων μορίων.

Οι απορροφήσεις στο υπέρυθρο (IR) οφείλονται στις μοριακές διεγέρσεις. Αυτές είναι οι διεγέρσεις δόνησης, παραμόρφωσης και περιστροφής, οι οποίες γίνονται στη βασική ηλεκτρονική κατάσταση ( $S_0$ ). Τα φάσματα του υπέρυθρου χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην Οργανική Χημεία για την εύρεση της σύνταξης, με βάση τις χαρακτηριστικές απορροφήσεις των διαφόρων ομάδων και για την ταυτοποίηση των διαφόρων ενώσεων.(78)

Η υπέρυθρη περιοχή καλύπτει το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μεταξύ  $\sim 0,8-300 \mu$ , δηλαδή βρίσκεται ανάμεσα στην ορατή περιοχή και στην περιοχή των μικροκυμάτων. Η υπέρυθρη περιοχή του φάσματος διακρίνεται σε τρεις περιοχές(76)

- I. Από  $0,8 \mu$  έως  $2,5 \mu$  (εγγύς υπέρυθρο)
- II. Από  $2,5$  έως  $50 \mu$  (κύριο υπέρυθρο)
- III. Από  $50 \mu$  έως  $300 \mu$  (άπω υπέρυθρο)

Οι διεγέρσεις δόνησης και παραμόρφωσης βρίσκονται στην περιοχή  $2,5-40 \mu$ , ενώ στην πράξη χρησιμοποιείται κυρίως η περιοχή  $2,5-16 \mu$  ή  $400-625 \text{ cm}^{-1}$ . Οι αμιγείς διεργασίες περιστροφής βρίσκονται στην περιοχή του άπω υπέρυθρου και κυρίως στην περιοχή των μικροκυμάτων ( $\sim 25-500 \mu$ ).

Ενώ η διαφορά ενέργειας που αντιστοιχεί στις ηλεκτρονικές διεγέρσεις στα φάσματα UV-Vis κυμαίνεται μεταξύ  $\sim 35-150 \text{ kcal/mol}$ , η διαφορά που αντιστοιχεί στις διεγέρσεις δόνησης –παραμόρφωσης κυμαίνεται μεταξύ  $\sim 10^{-1}-10^{-4} \text{ kcal/mol}$ . Έτσι,

επειδή οι διαφορές ενέργειας περιστροφής είναι μικρές, η ταινία απορρόφησης που προκύπτει για τις διεγέρσεις δόνησης- περιστροφής είναι μικρού πλάτους και για αυτό το φάσμα IR έχουν κορυφές απορροφήσεων (Absorption peaks) αντί των καμπυλών απορροφήσεων που έχουν τα φάσματα UV.(78)

Η φασματοφωτομετρία υπέρυθρου βασίζεται στην απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας από τα μόρια μιας ένωσης, τα οποία διεγείρονται σε υψηλότερες στάθμες δόνησης και περιστροφής. Ως ενεργά υπέρυθρες ενώσεις χαρακτηρίζονται εκείνες οι ενώσεις που οι δονήσεις και οι περιστροφές των ατόμων τους έχουν μια μόνιμη διπολική ροπή ή τα μόρια εκείνα που αλλάζει η διπολική ροπή κατά τη διάρκεια και της περιστροφικής και της δονητικής διαδικασίας.(77)

Η περιοδική αλλαγή της διπολικής ροπής λόγω περιστροφής ή δόνησης επιτυγχάνεται μόνο σε συγκεκριμένες συχνότητες. Όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία έχει την ίδια συχνότητα με τη συχνότητα του διπόλου, τότε πραγματοποιείται απορρόφηση. Αν ένα διατομικό μόριο ( $H_2$ ,  $Cl_2$ ,  $N_2$ ), δεν εμφανίζει διπολική ροπή, τότε δε διεγείρεται η περιστροφή και η δόνηση του με απορρόφηση ακτινοβολίας και άρα είναι αδρανές στην υπέρυθη φασματοφωτομετρία. Το φάσμα απορρόφησης υπέρυθρου αποτελεί μια χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε μορίου και χρησιμεύει κυρίως στην ποιοτική ανάλυσή του. Αυτό το φάσμα απορρόφησης φανερώνει τη φύση των ατόμων που βρίσκονται στο μόριο καθώς και τη διάταξή τους στο χώρο, φανερώνει δηλαδή τη δομή μιας ένωσης (αποτελεί το δακτυλικό αποτύπωμα αυτής).

Γενικά το ποσό της ενέργειας που απορροφάται από μία ένωση είναι συνάρτηση του αριθμού των μορίων που υπάρχουν σε αυτή. Άρα και το υπέρυθρο φάσμα μας δίνει πληροφορίες για τη συγκέντρωση ενός συστατικού σε ένα δείγμα. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας το βάθος μιας χαρακτηριστικής ταινίας απορρόφησης προς το βάθος της ίδιας ταινίας ενός φάσματος που περιέχει γνωστή συγκέντρωση του συγκεκριμένου συστατικού.

Στην υπέρυθη φασματοσκοπία μετράται το ποσοστό απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας από την ουσία που μελετάται. Κατά την απορρόφηση της ακτινοβολίας αυξάνονται οι δονήσεις των μορίων τα άτομα των οποίων συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς όμοιους με ελατήρια.(77)

Η θεωρία των μοριακών διεγέρσεων στηρίζεται στην αρχή του αρμονικού ταλαντωτή και, κατά την κλασική άποψη, για τη συχνότητα δόνησης  $\nu$  ενός σωματιδίου μάζας  $m$  και για τη δυναμική ενέργεια  $V$  του συστήματος ισχύουν οι σχέσεις ( -1) και ( -2), όπου  $k$  η σταθερά δύναμης ( $F=kx$ ):

$$v = (1/2\pi)(k/m)^{0.5} \quad (1)$$

$$v = (1/2\pi)(k/m)^{0.5} V = kx^2/2 \quad (2)$$

Το σύστημα θεωρείται ότι περιλαμβάνει το σωματίο μάζας  $m$  συνδεδεμένο με δυο ελατήρια και ότι τα άλλα δύο άκρα τους είναι ακλόνητα συνδεδεμένα, όποτε όταν το  $m$  απομακρυνθεί κατά την απόσταση  $x$  από τη θέση ισορροπίας του, τότε εκτελεί αρμονική ταλάντωση.

Επειδή το  $x$  παίρνει οποιαδήποτε τιμή, κάθε τιμή ενέργειας κατά την κλασική άποψη είναι επιτρεπτή, συμπέρασμα που κβαντομηχανικά δεν ευσταθεί.

Η ενέργεια του συστήματος προκύπτει κβαντομηχανικά αν στην εξίσωση Schrodinger με μία μονάχα διάσταση  $x$ , θέσουμε τη δυναμική ενέργεια  $V$  του συστήματος, οπότε παίρνουμε την.

$$(-\hbar^2/8\pi^2m)(d^2\psi/dx^2) + kx^2/2 - E\psi = 0$$

Η διαφορική εξίσωση έχει λύση για ορισμένες μόνο τιμές ενέργειας  $E$ , όταν δηλαδή ισχύει :

$$E = (n+1/2) (h/2\pi) (k/m)^{0.5} \quad \text{όπου } n=0,1,2,\dots$$

Αν ληφθεί υπόψη η (1) τότε προκύπτει η γνωστή σχέση :

$$E = (n + 1/2) h v$$

Συνεπώς, η ενέργεια ενός κβαντομηχανικού ταλαντωτή μπορεί να είναι μονάχα ακέραια πολλαπλάσια του  $\frac{1}{2} h\nu$ . Η ενέργεια με  $n=0$ ,  $E_0 = \frac{1}{2} h\nu$ , καλείται ενέργεια μηδενικού σημείου (Zero Point Energy) και υπάρχει ακόμα και στη θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός, γιατί είναι ανεξάρτητη από τις θερμικές κινήσεις των μορίων. (78)

Στα πολυατομικά μόρια υπάρχουν διάφοροι τρόποι δόνησης των ατόμων από τους οποίους οι βασικότεροι είναι :

- I. Δονήσεις τάσης (stretching vibrations) : είναι αυτές κατά τις οποίες δύο συνδεδεμένα άτομα πάλλονται συνέχεια, με αποτέλεσμα να μεταβάλλουν την μεταξύ τους απόσταση χωρίς όμως να αλλάζει ο άξονας ή οι γωνίες δεσμού.

- II. Δονήσεις κάμψης (bending vibrations) : είναι αυτές οι οποίες χαρακτηρίζονται από μια συνεχή μεταβολή της γωνίας μεταξύ δύο δεσμών.
- III. Δονήσεις σείσης (wagging vibrations) :είναι αυτές που παράγονται όταν μια γραμμική μονάδα τριών ατόμων πάλλεται εντός του επιπέδου ισορροπίας που σχηματίζεται από τα άτομα και τους δεσμούς.
- IV. Δονήσεις αιώρησης ( rocking vibrations) :είναι αυτές, που συμβαίνουν όταν η ίδια δομική μονάδα πάλλεται εκτός του πεδίου ισορροπίας.
- V. Δονήσεις συστροφής (twisting vibrations) : είναι αυτές, που συμβαίνουν όταν η ίδια δομική μονάδα περιστρέφεται γύρω από το δεσμό που τη συνδέει με το υπόλοιπο τμήμα του μορίου.
- VI. Δονήσεις ψαλιδιού ή παραμόρφωσης (scissoring or deformation vibrations) : είναι αυτές που παράγονται όταν δύο μη συνδεδεμένα άτομα κινούνται μπρος-πίσω προς τη μεταξύ τους διεύθυνση.

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, αν από ένα δείγμα περάσουν διαφορετικές συχνότητες υπέρυθρης ακτινοβολίας, στο αντίστοιχο φάσμα θα εμφανιστούν μια σειρά από ζώνες απορρόφησης σε διαφορετικούς κυματαριθμούς, που αντιστοιχούν στους τρόπους δόνησης που προαναφέρθηκαν. Με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε πληροφορίες για τη φύση των ατόμων που αποτελούν το μόριο, τη διάταξή τους στο χώρο και τις χημικές δυνάμεις που τα συνδέουν (δακτυλικό αποτύπωμα του μορίου).(77)

Το φάσμα απορρόφησης που λαμβάνεται είναι ένα διάγραμμα με τεταγμένη την επί τοις εκατό διαπερατότητα του δείγματος και τετμημένη τον κυματαριθμό σε  $\text{cm}^{-1}$ . Τα κυριότερα χαρακτηριστικά μιας ζώνης απορρόφησης υπέρυθρου φάσματος είναι τα ακόλουθα:

- I. Θέση της ζώνης :αποτελεί το κυματαριθμό της μέγιστης απορρόφησης.
- II. Πλάτος ημιζώνης : είναι το φαινόμενο πλάτος της ημιζώνης και αποτελεί το πλάτος ( $\text{cm}^{-1}$ ) στο ήμισυ του ύψους.
- III. Ένταση : είναι η φαινόμενη μοριακή απορροφητικότητα, μετράται στο μέγιστο του peak και δίνεται από το νόμο του BEER που δίνεται από την σχέση :

$$I = I_0$$

Οι παράμετροι που προαναφέρθηκαν, εκτός από τη θέση ζώνης, εξαρτώνται από την ταχύτητα σάρωσης του φάσματος και το πλάτος της σχισμής του μονοχρωμάτορα.(77)

Στα υπέρυθρα φάσματα, γενικά, διακρίνονται δύο φασματικές περιοχές: η περιοχή με τις συχνότητες των χαρακτηριστικών ομάδων ( $4000 - 1400 \text{ cm}^{-1}$ ). Στην πρώτη περιοχή οφείλονται οι κύριες ζώνες απορρόφησης που προκύπτουν από τη δόνηση ομάδων με δύο μόνο άτομα και με συχνότητα χαρακτηριστική των μαζών τους και της σταθερής δύναμης που τα συνδέει. Οι δονήσεις αυτές αντιπροσωπεύουν δονήσεις θεμελιώδους τάσης και είναι με προσέγγιση του μορίου και στην περιοχή αυτή γίνεται η ταυτοποίηση ολόκληρου του μορίου.(77)

Κατά την μελέτη των φασμάτων πραγματοποιείται, αρχικά, αναγνώριση των δραστικών ομάδων που υπάρχουν στο μόριο με τη βοήθεια ειδικών πινάκων. Οι πίνακες αυτοί δίνουν τις αναμενόμενες περιοχές συχνοτήτων και έντασης για κάθε δραστική ομάδα.(77)

Η ακρίβεια των ποσοτικών μετρήσεων με φασματοφωτομετρία FTIR είναι μικρή (5-10 %) και περιορίζεται από τη χαμηλή ενέργεια της υπέρυθρης ακτινοβολίας, δηλαδή μικροί συντελεστές μοριακής απορροφητικότητας και από τη δυσκολία να ορίσουμε μια πραγματική γραμμή αναφοράς.

Οι κυριότερες εφαρμογές της είναι:

- ✓ Η αποσαφήνιση της δομής οργανικών ενώσεων και ορισμένων ανόργανων ενώσεων.
- ✓ Ο έλεγχος της καθαρότητας των ουσιών.
- ✓ Η οργανική ποσοτική ανάλυση στη χημική βιομηχανία.(77)

## 7.2 Λειτουργία της συσκευής

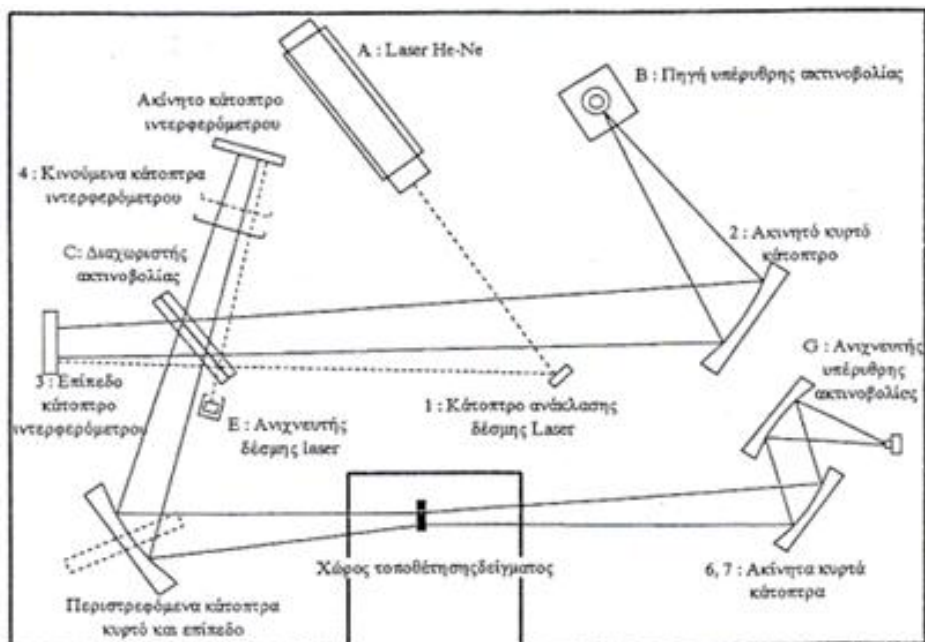
Ένα φασματοφωτόμετρο υπέρυθρου αποτελείται από μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας, ένα μονοχρωμάτορα για να διαχωρίζει τις διάφορες συχνότητες, το χώρο για την τοποθέτηση του δείγματος και τον ανιχνευτή. Με την εφαρμογή της



τεχνολογίας και του μαθηματικού μοντέλου των μετασχηματισμών Fourier, ο μονοχρωμάτορας αντικαθίσταται. Τότε, με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού, η υπέρυθρη ακτινοβολία, αφού περάσει μέσα από το δείγμα, αναλύεται μέσω ενός ιντερφερομέτρου σάρωσης. Αυτό αποτελείται από ένα ακίνητο και ένα κινητό κάτοπτρο, 3 και 4, αντίστοιχα και ένα διαχωριστή ακτινοβολίας C (εικόνα 1).

Ακτινοβολία από την πηγή B, ανακλάται από το κάτοπτρο 2 και μοιράζεται με την βοήθεια του διαχωριστή C, στα κάτοπτρα 3 και 4. Αφού η ακτινοβολία ανακλαστεί, επανέρχεται ή μηδενίζεται η ένταση της ανάλογα με το μήκος της διαδρομής που ακολούθησε στο ιντερφερόμετρο. Η ακτινοβολία αφού περάσει από το δείγμα, εστιάζεται στον ανιχνευτή E, προέρχεται από μια πηγή laser. Το σύνολο των σημάτων που προκύπτουν, λέγεται ιντερφερόγραμμα και είναι μια συνάρτηση της έντασης της ακτινοβολίας που φθάνει στον ανιχνευτή έναντι του μήκους της διαδρομής που ακολουθεί η ανακλώμενη δέσμη στο ιντερφερόμετρο. Στο ιντερφερόγραμμα περιέχονται όλες οι πληροφορίες που χρειάζονται για να προκύψει τελικά το φάσμα απορρόφησης, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης μαθηματικής επεξεργασίας ( μέθοδος μετασχηματισμού Fourier).

Το ιντερφερόγραμμα δεν έχει καμία σχέση με το φάσμα απορρόφησης το οποίο λαμβάνεται στο τέλος. Για να αυξηθεί ο λόγος θόρυβος προς σήμα, γίνονται αρκετές σαρώσεις της περιοχής ακτινοβολίας που μελετάται και έτσι αθροίζεται ένας μεγάλος αριθμός ιντερφερογραμμάτων. Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας, το φάσμα απορρόφησης που λαμβάνεται στον ανιχνευτή απουσία δείγματος (background), αφαιρείται από το φάσμα της ένωσης.



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση ενός φασματοφωτόμετρου υπέρυθρου με λειτουργία μετασχηματισμών Fourier.

### Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής λήψης του φάσματος με εφαρμογή της μεθόδου μετασχηματισμού Fourier είναι σημαντικά αφού η χρήση υπολογιστικού λογισμικού διευκολύνει το χειρισμό του φάσματος. Επιπλέον, στην οργανολογία περιλαμβάνεται ένα μόνο κινητό μέρος (το κάτοπτρο), η χρήση του laser σαν ακτινοβολία αναφοράς οδηγεί σε μεγάλη ακρίβεια, (καλύτερη από  $0.01\text{cm}^{-1}$ ), έχουμε βέλτιστο λόγο θορύβου προς σήμα κ.ά.

Επιπλέον, μειώνεται ο χρόνος λήψης του φάσματος και η ελάχιστη ποσότητα δείγματος που είναι απαραίτητη για τη λήψη ενός ικανοποιητικού φάσματος σε σχέση με τα απαιτούμενα με το κλασικό φασματοφωτόμετρο υπέρυθρου.

### **7.3 Πειραματική διαδικασία**

Αρχικά λαμβάνεται ποσότητα βρωμιούχου καλίου (KBr), η οποία κονιοποιείται και ξηραίνεται για λίγες ώρες στους  $110^{\circ}\text{C}$ . Η ξήρανση είναι πολύ σημαντική γιατί αλλιώς τυχούσα υγρασία που μπορεί να υπάρχει δημιουργεί πρόβλημα στη λήψη των φασμάτων.

Συγκεκριμένα, εμφανίζει στο φάσμα κορυφές μεγάλου εύρους για την ομάδα του υδροξυλίου, -OH, οι οποίες υπερκαλύπτουν ενδεχόμενες χαρακτηριστικές ζώνες που εμφανίζονται στην ίδια περιοχή του φάσματος. Στη συνέχεια κατάλληλη ποσότητα δείγματος κονιοποιείται πολύ καλά. Η κονιοποίηση που γίνεται σε γουδί από αχάτη είναι πολύ σημαντική, γιατί η ομοιογένεια του δείγματος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη σωστή λήψη των φασμάτων από τη συσκευή.

Ποσότητα ορισμένων mg της προς εξέτασης ουσίας, αναμιγνύεται και ομογενοποιείται με λειοτρίβιση με τη σκόνη του φορέα, δηλαδή του KBr, ώστε να ικανοποιείται η αναλογία 1/150 (δείγμα/KBr). Το ομογενές μίγμα, μετά μεταφέρεται σε κατάλληλο σύστημα πρέσας, όπου συμπιέζεται υπό πίεση 10 atm και επί χρονικό διάστημα 1 min. Το δείγμα λαμβάνει σχήμα κυκλικού δισκίου (ταμπλέτας) μικρού πάχους και τοποθετείται προς ανάλυση σε ειδική υποδοχή του φασματομέτρου. Το φασματόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της πρώτης μελέτης φαίνεται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13 : Φασματόμετρο FT-IR, της εταιρείας Shimadzu.

Συγκεκριμένα η διάταξη αποτελείται από:

- ένα μικροσκόπιο εφοδιασμένο με πηγή λευκού φωτός (LED illumination) και έναν υψηλής απόδοσης ανιχνευτή ψύξεως υγρού αζώτου γεγονός που επιτρέπει τη λήψη φασμάτων και από πολύ μικρά δείγματα (τάξης μεγέθους 10-20  $\mu\text{m}$ )
- ένα φασματομέτρο υψηλής απόδοσης το οποίο είναι συμβατό με περιφερειακά εξαρτήματα
- έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο έχει εγκατασταθεί το κατάλληλο λειτουργικό λογισμικό για το χειρισμό του οργάνου που επιτρέπει την αυτόματη επιλογή ή έλεγχο του τρόπου λειτουργίας (transmission or reflectance mode), των πηγών, των lasers, των ανιχνευτών, του συμβολόμετρου, καθώς επίσης και την αυτόματη λήψη και επεξεργασία φασμάτων, ανάλυση και αξιολόγηση αυτών.

#### 7.4 Αποτελέσματα –Σχολιασμός FTIR διαγραμμάτων

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για τη σκληρυμένη εποξειδική ρητίνη που παρασκευάστηκε. Παρατίθεται επίσης το φάσμα που λήφθηκε από το φασματοφωτόμετρο υπερύθρου.

Πίνακας 18: .Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για την παρασκευασθείσα σκληρυμένη εποξειδική ρητίνη. (79)

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )**
-OH	(3600-3200)	3510
>CH <sub>2</sub> , -CH <sub>3</sub> δονήσεις τάσης	(2980-2950)	2970
>C=O	(1736-1726)	1744
>CH <sub>2</sub> , -CH <sub>3</sub> δονήσεις κάμψης	(1450±20)	1436
-OH δονήσεις κάμψης	(1410-1260)	1271

$C_{sp^3}-O$ δονήσεις τάσης	(1330-1200)	1255
$C_{sp^3}-O-H$ δονήσεις τάσης (αλκοόλης)	(1150-1040)	1116
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3ή 4 μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο	(876)	840
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο	(750)	754
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο	(666)	667

\*κυματαριθμοί απορρόφησης από τη βιβλιογραφία

\*\* κυματαριθμοί απορρόφησης που προέκυψαν μέσω της πειραματικής διαδικασίας

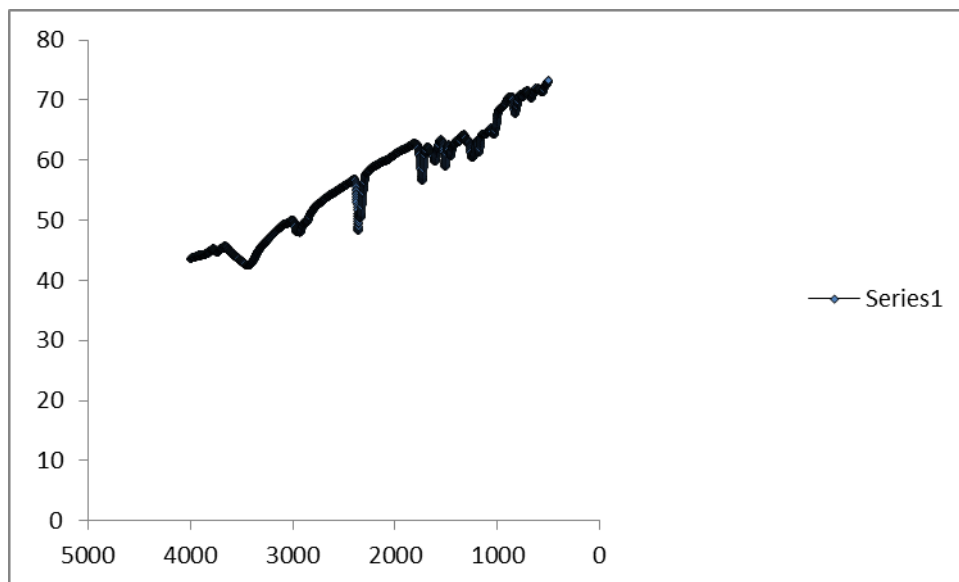
Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες της σκληρυμένης εποξειδικής ρητίνης και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Οι κορυφές στην περιοχή  $1330-1200\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη δεσμών  $C_{sp^3}-O$  που υπάρχουν στις γραμμικές διασταυρωμένες δομές της σκληρυμένης εποξειδικής ρητίνης.

Οι κορυφές στην περιοχή  $1150-1040\text{ cm}^{-1}$  υποδηλώνουν την ύπαρξη του δεσμού  $C_{sp^3}-O-H$  της αλκοόλης (αιθυλενογλυκόλης).

Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του  $1080\text{ cm}^{-1}$  και μεγαλύτερο του  $666\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές δεσμών βενζολικών δακτυλίων, και κατά συνέπεια υποδηλώνουν την ύπαρξη βενζυλικής αλκοόλης. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές είναι στα  $876\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο, στα  $750\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' 3ή

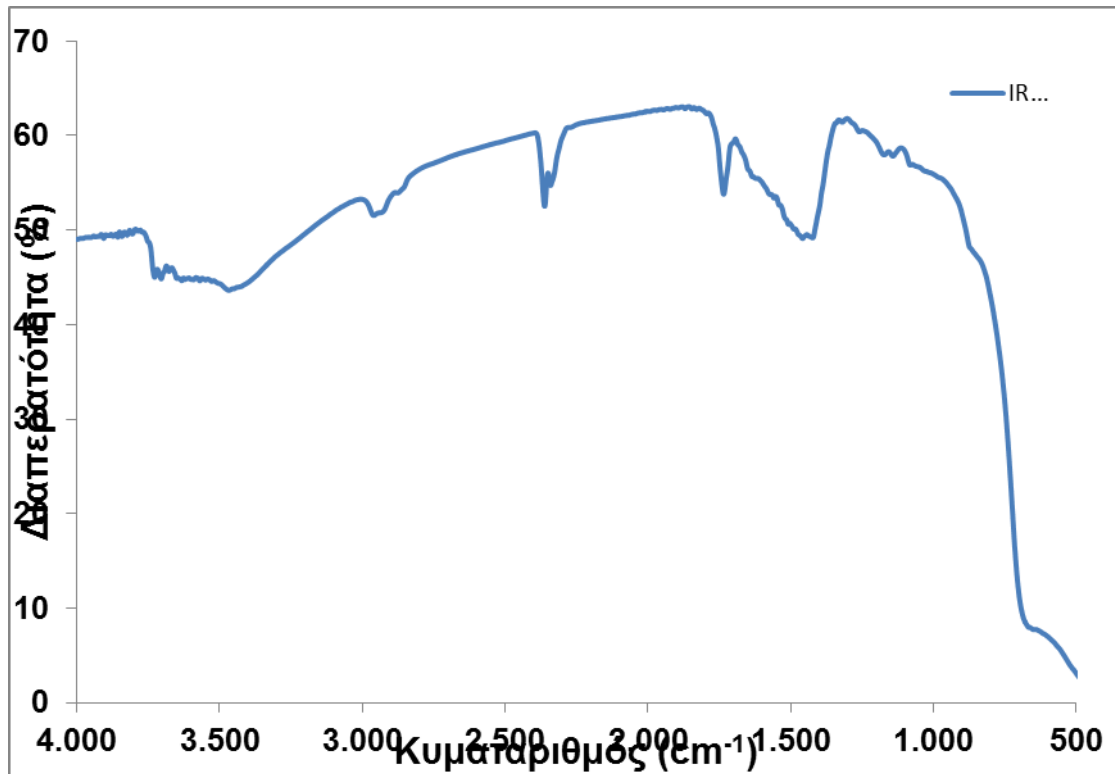
4γειτονικών Η στον αρωματικό δακτύλιο, και στα  $666\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών Η στον αρωματικό δακτύλιο.(79)



Διάγραμμα 11: Εποξειδική Ρητίνη

Πίνακας 19: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το MgO. (80)

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )**
δόνηση του υδροξυλίου (-OH)	(3500 -2000 )	2500-3000
Mg-O	(1700-1450)	1742
Κορυφή του οργάνου	2500-2300	2400

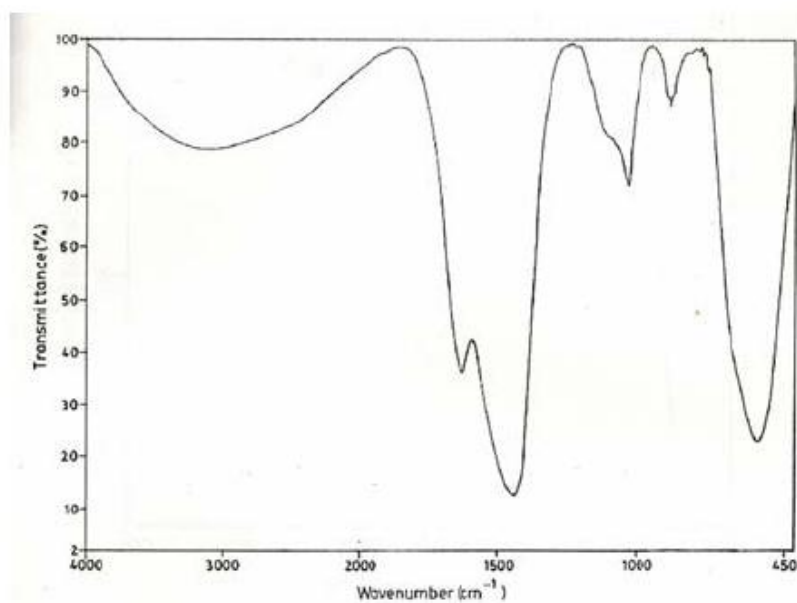


Διάγραμμα 12: FT-IR MgO

## MgO

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες της ανόργανης ουσίας MgO και στους αντίστοιχους κυματάριθμους απορρόφησης:

Το εύρος φάσματος 3500 μέχρι 2000  $\text{cm}^{-1}$  συσχετίζεται με την δόνηση του υδροξυλίου (-OH) του δείγματος. Αυτό υποδεικνύει την ικανότητα του δείγματος να απορροφά υγρασία. Οι συχνότητες των ετεροπολικών διατομικών μορίων του MgO επιβεβαιώνονται από την κορυφή στα 1742  $\text{cm}^{-1}$ . (80)

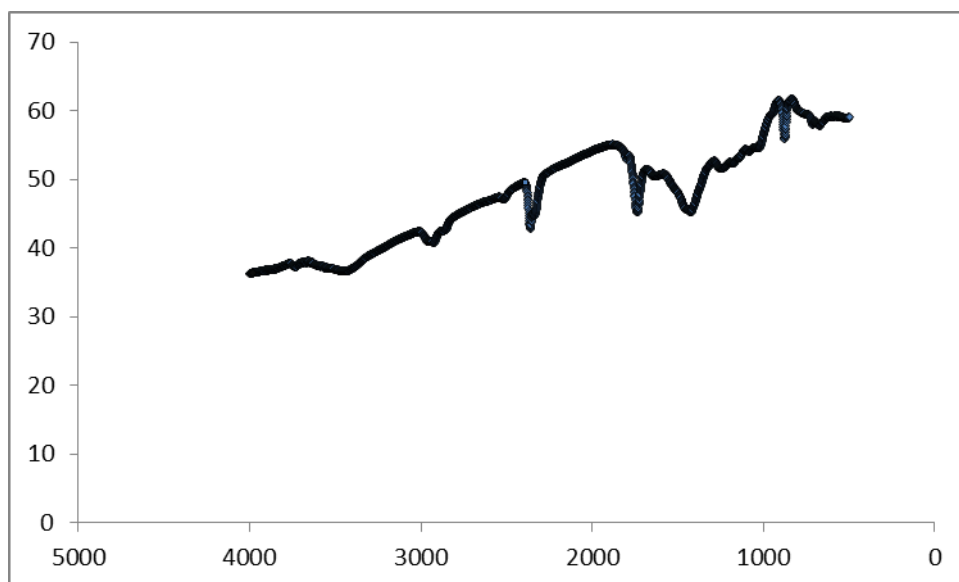


FTIR από σκέτο MgO.

Πίνακας 20: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το SiO<sub>2</sub>. (81,82)

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )**
Si-O-Si	1100-800	883
Ασύμμετρες δονήσεις τάσης		
Κορυφή του οργάνου	2500-2300	2366
	~1500-1700	1751
		1464
-OH Δονήσεις κάμψης		3489
	2800-2990	2986





Διάγραμμα 13 : FT-IR SiO<sub>2</sub>

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες της ανόργανης ουσίας SiO<sub>2</sub> και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του 1100 cm<sup>-1</sup> και μεγαλύτερο του 800 cm<sup>-1</sup>, αποδίδονται στην αντι-συμμετρική δόνηση τάσης των ομάδων Si–O–Si. (82) Η ακριβής θέση των ζωνών εξαρτάται τόσο από το μήκος όσο και τη γωνία των δεσμών. Αντίστοιχα Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό κοντά στους 3489 cm<sup>-1</sup>, αποδίδονται σε δονήσεις κάμψης του υδροξυλίου –OH. Ενώ οι κυματάρημοι μεταξύ των 2500-2300 cm<sup>-1</sup> είναι κορυφή του οργάνου. (87-89)

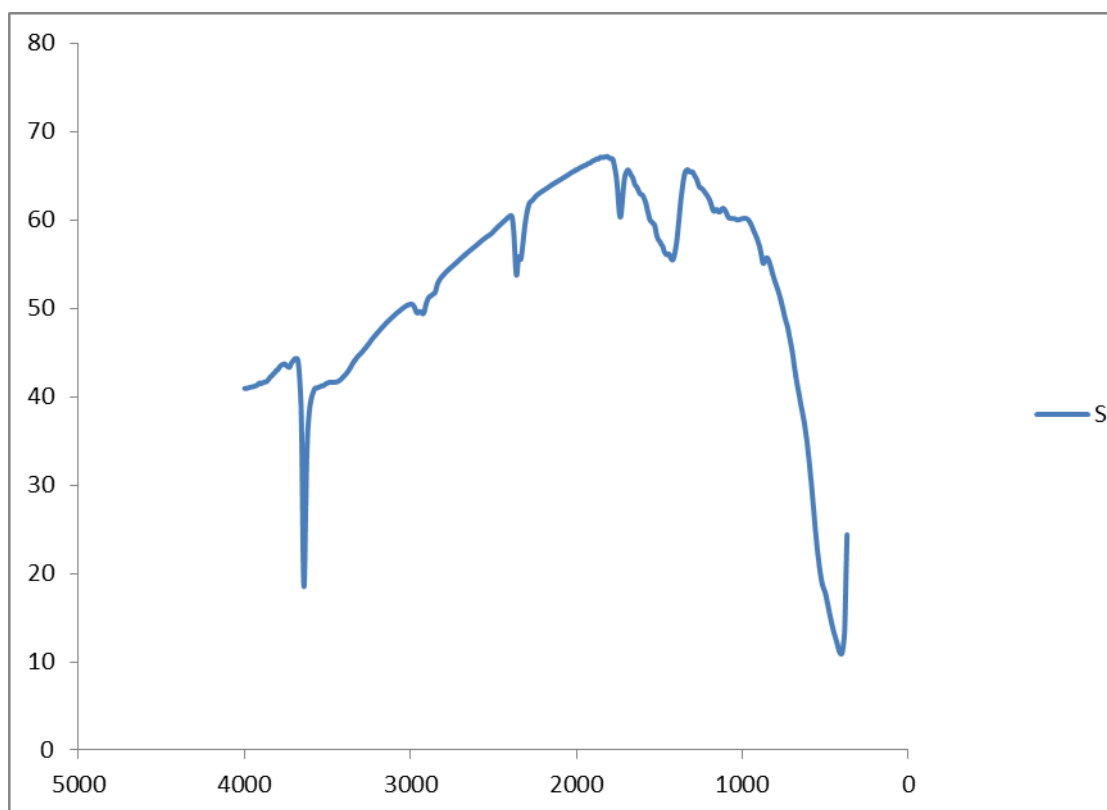
Πίνακας 21: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το CaO

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )**
Ca-O δονήσεις κάμψης	~400	<b>424</b>
	1593	1465
Κορυφή του οργάνου	2500-2300	2366
Δονήσεις τάσης του	3656	3645

υδροξυλίου (-OH)		
Δόνηση κάμψης του υδροξυλίου (-OH)	1644	1744

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες της ανόργανης ουσίας CaO και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Μια χαρακτηριστική, ευρεία, ισχυρή απορρόφηση επικεντρώνεται γύρω στους  $400\text{ cm}^{-1}$  ταλαντώσεις του πλέγματος για Ca-O. Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό κοντά στους  $1644\text{ cm}^{-1}$ , αποδίδονται σε δονήσεις κάμψης του υδροξυλίου -OH. Ενώ οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό κοντά στους  $3656\text{ cm}^{-1}$ , αποδίδονται σε δονήσεις τάσης του υδροξυλίου -OH.(86)



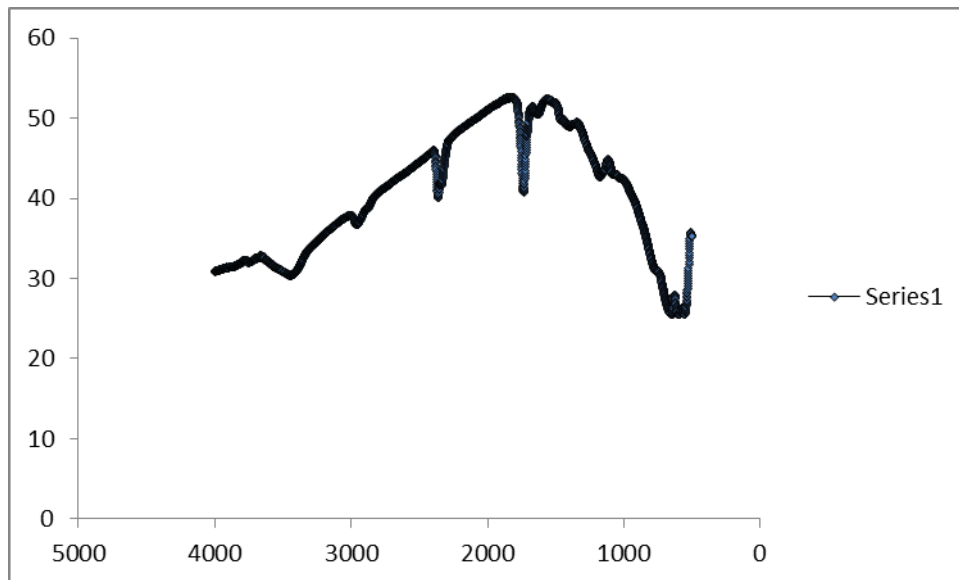
Διάγραμμα 14 : FT-IR CaO

Πίνακας 22: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το  $Al_2O_3$

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης ( $cm^{-1}$ )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης ( $cm^{-1}$ )**
Al-O	683	695
Κορυφή του οργάνου	2500-2300	2372
		1744
-OH Δονήσεις τάσης	~3400	3521
Al-O ασύμμετρες Δονήσεις τάσεις	1034-1075	1192

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες της ανόργανης ουσίας  $Al_2O_3$  και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Η παρουσία δεσμών Al-O υποδηλώνεται από την εμφάνιση ζωνών απορρόφησης στα  $683\text{ cm}^{-1}$ . Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του  $1075\text{ cm}^{-1}$  και μεγαλύτερο του  $1034\text{ cm}^{-1}$ , αποδίδονται στις ασύμμετρες δονήσεις τάσης των ομάδων Al-O. Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό κοντά στους  $3400\text{ cm}^{-1}$ , αποδίδονται σε δονήσεις τάσης του υδροξυλίου -OH.(90)



Διάγραμμα 15 : FT-IR Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Πίνακας 23 : Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για κομμάτι από κεραμίδι.

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )**
Al-O και Si-O ασύμμετρες δονήσεις τάσης	~1088	1099
Κορυφή του οργάνου	2500-2300	2368
		1747
Mg-O και C-O	(1700-1450) και (1410-1570)	1476
Si-O-Si και Si-O-Al συμμετρικές δονήσεις τάσης των δεσμών	~763 ή ~688	757
Si-O-T (T: Al ή Si) δονήσεις τάσης	~850	805

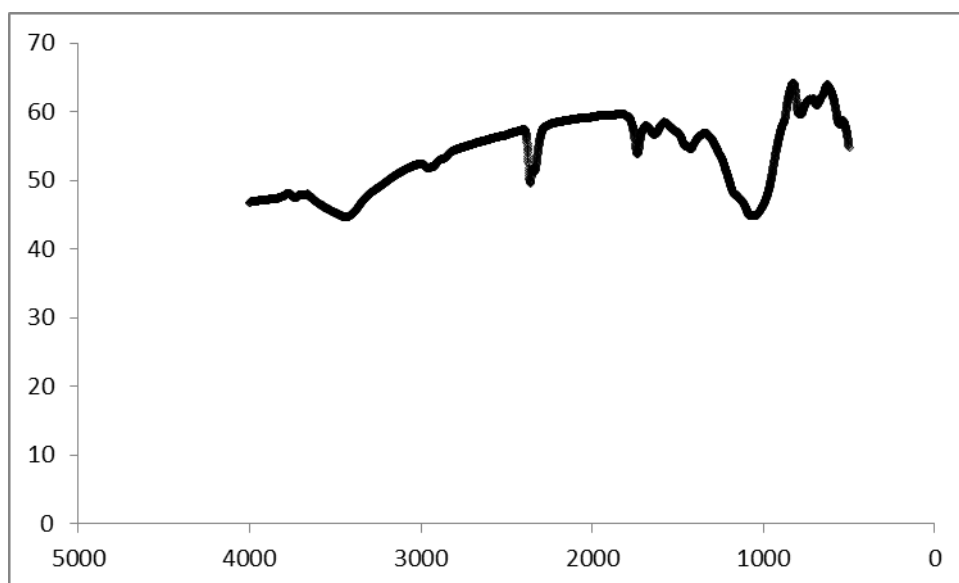
Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες από κομμάτι κεραμιδιού και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης

Η ακριβής θέση των ζωνών εξαρτάται τόσο από το μήκος όσο και τη γωνία των δεσμών. Οι ζώνες απορρόφησης κοντά στα 1088 cm<sup>-1</sup> αποδίδονται σε ασύμμετρες

δονήσεις τάσης των δεσμών Al–O και Si–O που προέρχονται από ξεχωριστά τετράεδρα (Madani, 1990). (82)

Η μικρή κορυφή που εμφανίζεται κοντά στα  $864\text{ cm}^{-1}$  αντιπροσωπεύει τις πυριτικές και /ή αργιλοπυριτικές ενώσεις, η παρουσία των οποίων υποδηλώνει τη μερική διαλυτοποίηση των πρώτων υλών (Bass and Turner, 1997; Rees et al., 2007) (85),(91). Γενικότερα, οι ζώνες απορρόφησης κοντά στα  $850\text{ cm}^{-1}$  οφείλονται σε δονήσεις τάσης T-OH (T:Si ή Al) (Bakharev, 2005b).(83)

Η ατμοσφαιρική ενανθράκωση εμφανίζεται στην περιοχή απορρόφησης  $1410\text{-}1570\text{ cm}^{-1}$  (Mollah et al., 1993; Barbosa et al., 1999; Barbosa et al., 2000). (92,93,94)Καθώς και την εμφάνιση Mg-O στην περιοχή απορρόφησης  $1450\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ .



Διάγραμμα 16 : FT-IR κεραμίδι

Πίνακας 24 :Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για κομμάτι από σοβά.

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )**
Si–O–Si και Si–O–Al συμμετρικές δονήσεις τάσης των δεσμών	~763 ή ~688	714

Si-O-T (T: Al ή Si) δονήσεις τάσης	~864	877
Mg-O	(1700-1450)	1482
Πιθανόν από ιόντα HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	~2504	2528
		2952
Κορυφή του οργάνου	2500-2300	2365
		3000

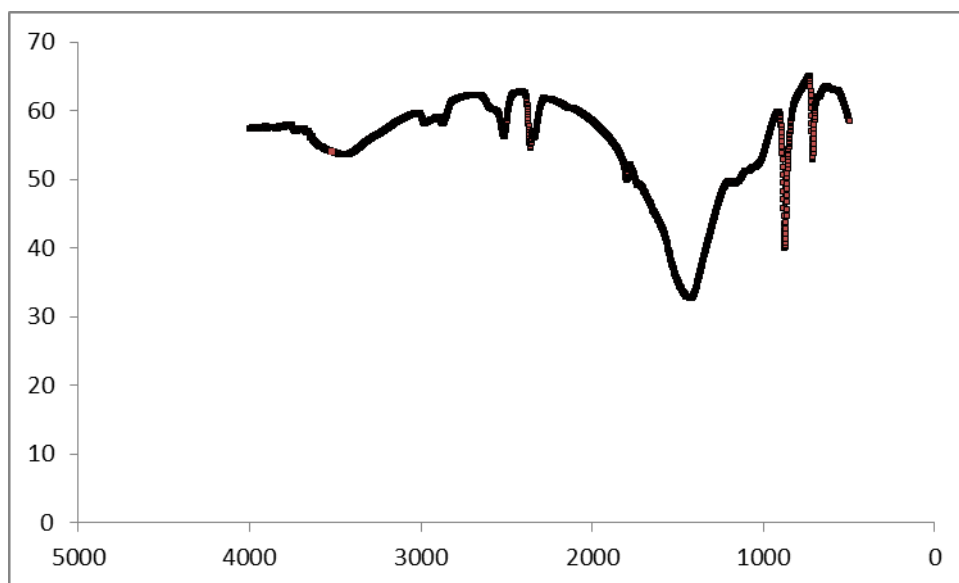
Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες από κομμάτι σοβά και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης

Η εμφάνιση ζωνών στα ~763 cm<sup>-1</sup> και στα ~688 cm<sup>-1</sup> οφείλεται σε συμμετρικές δονήσεις τάσης των δεσμών Si-O-Si και Si-O-Al (Bakharev, 2005b). Καθώς και την ύπαρξη των δεσμών Al-O.(83)

Η μικρή κορυφή που εμφανίζεται κοντά στα 864 cm<sup>-1</sup> αντιπροσωπεύει τις πυριτικές και /ή αργιλοπυριτικές ενώσεις, η παρουσία των οποίων υποδηλώνει τη μερική διαλυτοποίηση των πρώτων υλών (Bass and Turner, 1997; Rees et al.,2007). Γενικότερα, οι ζώνες απορρόφησης κοντά στα 850 cm<sup>-1</sup> οφείλονται σε δονήσεις τάσης T-OH (T:Si ή Al) (Bakharev, 2005b).(83)

Η ατμοσφαιρική ενανθράκωση εμφανίζεται στην περιοχή απορρόφησης 1410-1570 cm<sup>-1</sup> (Mollah et al., 1993; Barbosa et al.,1999; Barbosa et al., 2000).(92,93,94) Καθώς και την εμφάνιση Mg-O στην περιοχή απορρόφησης 1450-1700 cm<sup>-1</sup>.

Οι μικρές ζώνες απορρόφησης γύρω στα 2504 cm<sup>-1</sup> πιθανόν να οφείλονται σε ιόντα HCO<sup>-3</sup> (Socrates, 2001).(84)



Διάγραμμα 17 : FT-IR σοβά

Πίνακας 25: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για κομμάτι από βαφή .

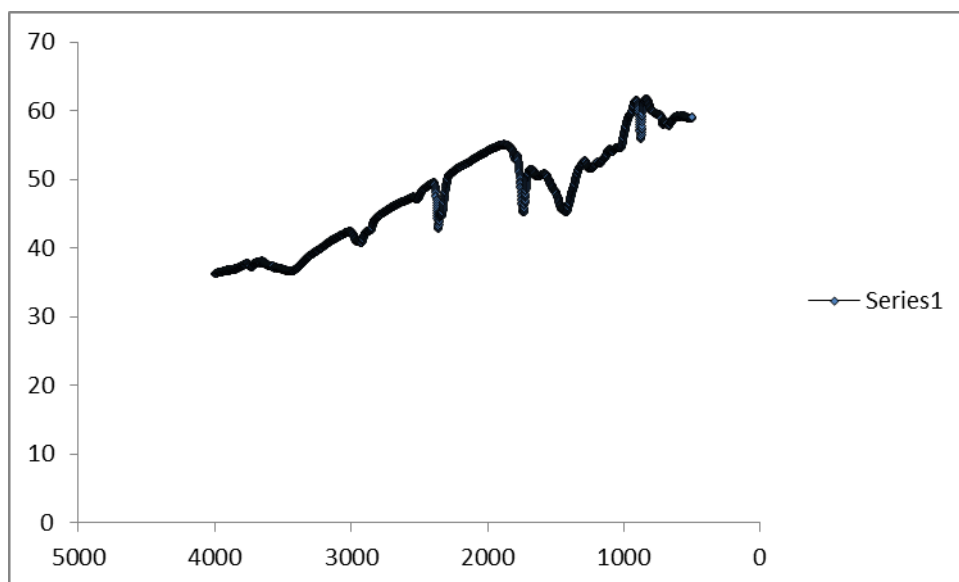
Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )**
Si–O–Si και Si–O–Al συμμετρικές δονήσεις τάσης των δεσμών	~688	715
Si–O–T (T: Al ή Si) δονήσεις τάσης	~864	882
C–O από ατμοσφαιρικό CO <sub>2</sub>	1410-1570	1467
H–OH	~1650	1745
Κορυφή του οργάνου	2500-2300	2367
		2984
H–O	~3450	3545

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες από κομμάτι βαφής και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης

Η εμφάνιση ζωνών στα ~763 cm<sup>-1</sup> και στα ~688 cm<sup>-1</sup> οφείλεται σε συμμετρικές δονήσεις τάσης των δεσμών Si–O–Si και Si–O–Al (Bakharev, 2005b). Καθώς και την ύπαρξη των δεσμών Al–O.(83)

Η μικρή κορυφή που εμφανίζεται κοντά στα 864 cm<sup>-1</sup> αντιπροσωπεύει τις πυριτικές και /ή αργιλοπυριτικές ενώσεις, η παρουσία των οποίων υποδηλώνει τη μερική διαλυτοποίηση των πρώτων υλών (Bass and Turner, 1997; Rees et al.,2007). (85,91)Γενικότερα, οι ζώνες απορρόφησης κοντά στα 850 cm<sup>-1</sup> οφείλονται σε δονήσεις τάσης T–OH (T:Si ή Al) (Bakharev, 2005b).(83)

Η ατμοσφαιρική ενανθράκωση εμφανίζεται στην περιοχή απορρόφησης 1410-1570 cm<sup>-1</sup> (Mollah et al., 1993; Barbosa et al.,1999; Barbosa et al., 2000). (92,93,94) Καθώς και την εμφάνιση Mg–O στην περιοχή απορρόφησης 1450-1700 cm<sup>-1</sup>.



Διάγραμμα 18 : FT-IR βαφή

Πίνακας 26 :Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το σύνθετο με ποσοστό σωματιδίων 23% w/w Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και με μήτρα εποξειδικής ρητίνης.

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )**
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών στον αρωματικό δακτύλιο και Al-O	(666) ή (688)	620
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3ή 4 μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο	(876)	837
C <sub>sp</sub> <sup>3</sup> -O-H δονήσεις τάσης (αλκοόλης)	(1150-1040)	1047

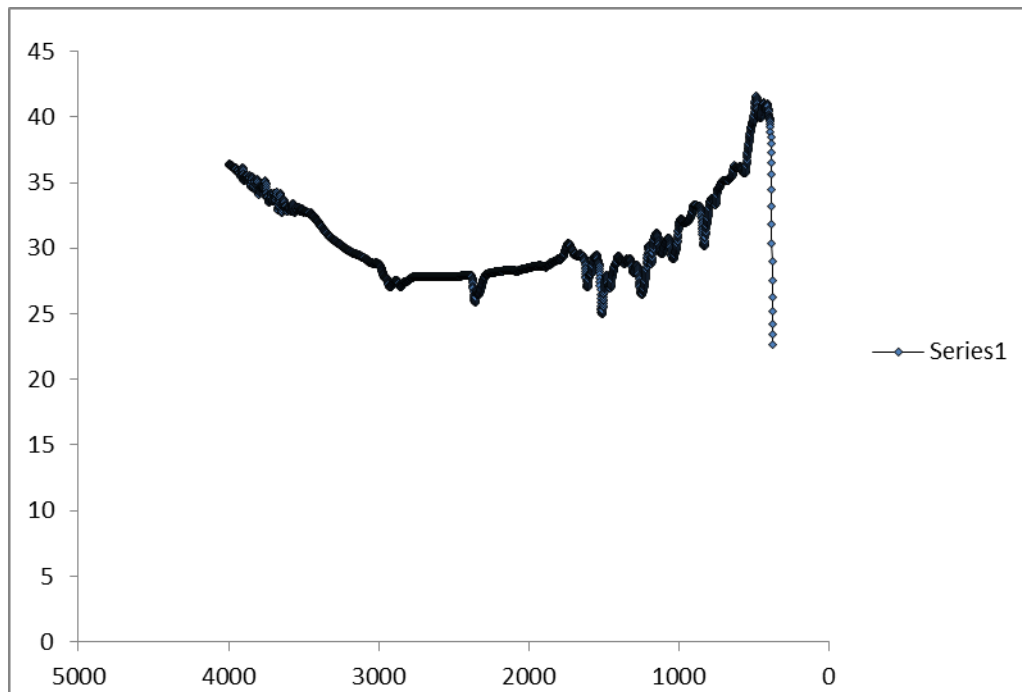


$C_{sp^3}-O$	(1330-1200)	1261
δονήσεις τάσης		
C-O	(1410-1570)	1517
H-OH σχηματίζονται ως προϊόντα ενυδάτωσης από αργυλικά άλατα	~1650	1618
Κορυφή του οργάνου	(2500-2300)	2362
>CH <sub>2</sub> , -CH <sub>3</sub>	(2980-2950)	2946
ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ		

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες του σύνθετου ανόργανης ουσίας  $Al_2O_3$  με μήτρα εποξειδικής ρητίνης και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Οι κορυφές στην περιοχή  $1330-1200\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη δεσμών  $C_{sp^3}-O$  που υπάρχουν στις γραμμικές διασταυρωμένες δομές της σκληρυμένης εποξειδικής ρητίνης. Οι κορυφές στην περιοχή  $1150-1040\text{ cm}^{-1}$  υποδηλώνουν την ύπαρξη του δεσμού  $C_{sp^3}-O-H$  της αλκοόλης (αιθυλενογλυκόλης).

Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του  $1080\text{ cm}^{-1}$  και μεγαλύτερο του  $666\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές δεσμών βενζολικών δακτυλίων, και κατά συνέπεια υποδηλώνουν την ύπαρξη βενζυλικής αλκοόλης. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές είναι στα  $876\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο, στα  $750\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' 3ή 4γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο, και στα  $666\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο. Ωστόσο η παρουσία δεσμών Al-O υποδηλώνεται από την εμφάνιση ζωνών απορρόφησης στα  $683\text{ cm}^{-1}$ .



Διάγραμμα 19 : FT-IR εποξειδική ρητίνη με 23% w/w  $Al_2O_3$

Πίνακας 27: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το σύνθετο με ποσοστό σωματιδίων 23% w/w  $SiO_2$  και με μήτρα εποξειδικής ρητίνης.

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης ( $cm^{-1}$ )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης ( $cm^{-1}$ )**
Si-O-Si συμμετρικές δονήσεις τάσης των δεσμών	680 $cm^{-1}$	652
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3 ή 4 μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο και Si-O-Si δονήσεις τάσης	(876) 'H (1100-800)	836
$C_{sp^3}$ -O-H δονήσεις τάσης (αλκοόλης)	(1150-1040)	1119

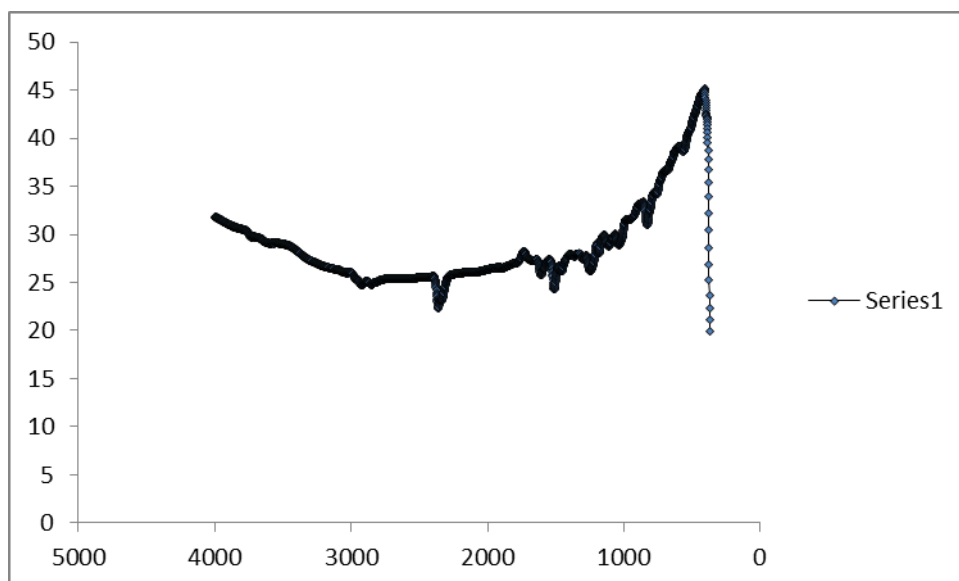
$C_{sp^3}-O$	(1330-1200)	1302
δονήσεις τάσης		
C-O Δονήσεις	(1410-1570)	1517
Κορυφή του οργάνου	(2500-2300)	2368
H-OH σχηματίζονται ως προϊόντα ενυδάτωσης από πυριτικά άλατα.	~1650	1617

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες του σύνθετου ανόργανης ουσίας  $SiO_2$  με μήτρα εποξειδικής ρητίνης και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του  $1100\text{ cm}^{-1}$  και μεγαλύτερο του  $800\text{ cm}^{-1}$ , αποδίδονται στην αντι-συμμετρική δόνηση τάσης των ομάδων Si-O-Si.

Οι κορυφές στην περιοχή  $1330-1200\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη δεσμών  $C_{sp^3}-O$  που υπάρχουν στις γραμμικές διασταυρωμένες δομές της σκληρυμένης εποξειδικής ρητίνης. Οι κορυφές στην περιοχή  $1150-1040\text{ cm}^{-1}$  υποδηλώνουν την ύπαρξη του δεσμού  $C_{sp^3}-O-H$  της αλκοόλης (αιθυλενογλυκόλης). Η απορρόφηση στους  $680\text{ cm}^{-1}$  αφορά τις συμμετρικές δονήσεις τάσης Si-O-Si και η παρουσία των ζωνών αυτών οφείλεται επίσης σε συμμετρικές δονήσεις τάσης των δεσμών Si-O-Si.

Ενώ απορρόφηση κοντά στους  $1650\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές H-OH που σχηματίζονται ως προϊόντα ενυδάτωσης από πυριτικά άλατα. Επίσης οι κορυφές στην περιοχή  $1410-1570\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη C-O από αντίδραση του οξειδίου με  $CO_2$  του ατμοσφαιρικού αέρα.



Διάγραμμα 20 : FT-IR εποξειδική ρητίνη με 23% w/w  $SiO_2$

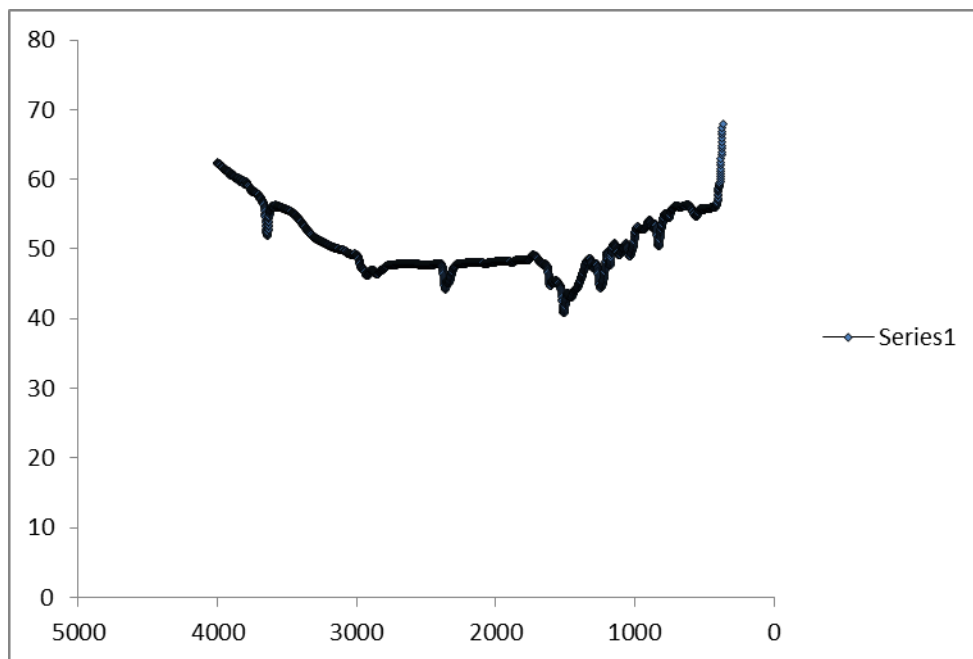
Πίνακας 28: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το σύνθετο με ποσοστό σωματιδίων 23% w/w CaO και με μήτρα εποξειδικής ρητίνης.

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης (cm <sup>-1</sup> )**
C-H  δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3ή 4 μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο	(876)	842
C <sub>sp</sub> <sup>3</sup> -O-H  δονήσεις τάσης (αλκοόλης)	(1150-1040)	1113
C <sub>sp</sub> <sup>3</sup> -O  δονήσεις τάσης	(1330-1200)	1261
C-O	(1410-1570)	1519
Κορυφή του οργάνου	(2500-2300)	2368
>CH <sub>2</sub> , -CH <sub>3</sub>	(2980-2950)	2948
<b>ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ</b>		
δόνηση του υδροξυλίου  (-OH)	(3656)	3654
Ca-O δονήσεις κάμψης	~400	480
C-H  δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο	(666)	638

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες του σύνθετου ανόργανης ουσίας CaO με μήτρα εποξειδικής ρητίνης και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Μια χαρακτηριστική, ευρεία, ισχυρή απορρόφηση επικεντρώνεται γύρω στους  $400\text{ cm}^{-1}$  ταλαντώσεις του πλέγματος για Ca-O. Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του  $1080\text{ cm}^{-1}$  και μεγαλύτερο του  $666\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές δεσμών βενζολικών δακτυλίων, και κατά συνέπεια υποδηλώνουν την ύπαρξη βενζυλικής αλκόολης. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές είναι στα  $876\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο, και στα  $666\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών.

Η ατμοσφαιρική ενανθράκωση εμφανίζεται στην περιοχή απορρόφησης  $1410\text{-}1570\text{ cm}^{-1}$



Διάγραμμα 21 : FT-IR εποξειδική ρητίνη με 23% w/w CaO

Πίνακας 29 :Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το σύνθετο με ποσοστό σωματιδίων 23% w/w MgO και με μήτρα εποξειδικής ρητίνης.

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )**
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο	(666)	672

C-H  δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3ή 4 μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο και Mg-O	(876)	836
C <sub>sp</sub> <sup>3</sup> -O-H  δονήσεις τάσης (αλκοόλης)	(1150-1040)	1045
C <sub>sp</sub> <sup>3</sup> -O  δονήσεις τάσης	(1330-1200)	1254
C-O δονήσεις τάσης	(1410-1570)	1517
Mg-O και H-O-H δονήσεις κάμψεις	(1700-1450) και ~1630	1608
		2934
Κορυφή του οργάνου	(2500-2300)	2468
>CH <sub>2</sub> , -CH <sub>3</sub>	(2980-2950)	2949
ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ		

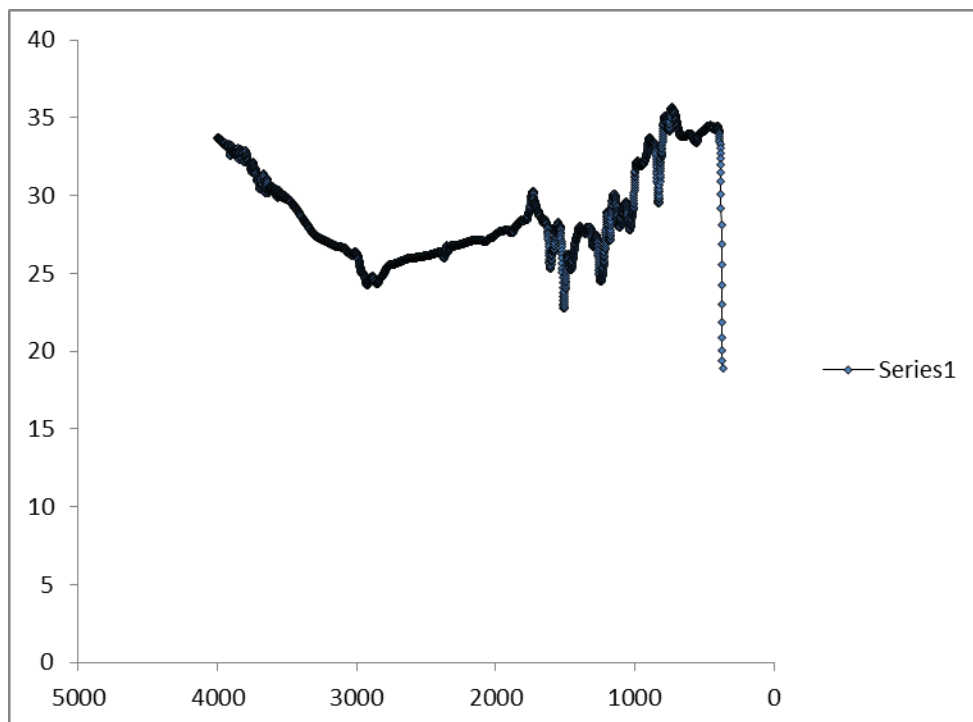
Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες του σύνθετου ανόργανης ουσίας MgO με μήτρα εποξειδικής ρητίνης και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

Οι κορυφές στην περιοχή 1330-1200 cm<sup>-1</sup> είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη δεσμών C<sub>sp</sub><sup>3</sup>-O που υπάρχουν στις γραμμικές διασταυρωμένες δομές της σκληρυμένης εποξειδικής ρητίνης.

Οι κορυφές στην περιοχή 1150-1040 cm<sup>-1</sup> υποδηλώνουν την ύπαρξη του δεσμού C<sub>sp</sub><sup>3</sup>-O-H της αλκοόλης (αιθυλενογλυκόλης).

Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του 1080 cm<sup>-1</sup> και μεγαλύτερο του 666 cm<sup>-1</sup> είναι χαρακτηριστικές δεσμών βενζολικών δακτυλίων, και κατά συνέπεια υποδηλώνουν την ύπαρξη βενζυλικής αλκοόλης. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές είναι στα 876 cm<sup>-1</sup>, που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο, στα 750 cm<sup>-1</sup>, που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' 3ή 4γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο, και στα 666 cm<sup>-1</sup>, που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο. Ωστόσο η παρουσία δεσμών Mg-O υποδηλώνεται από την εμφάνιση ζωνών απορρόφησης στα 1608cm<sup>-1</sup>. Οι συχνότητες των ετεροπολικών διατομικών μορίων του MgO επιβεβαιώνονται από την κορυφή στα 863 cm<sup>-1</sup>.

Η ευδιάκριτη ζώνη στα  $1630\text{ cm}^{-1}$  οφείλεται στην παρουσία νερού και συγκεκριμένα σε δονήσεις κάμψης του δεσμού H-O-H (Bakharev, 2005b; Mozgawa and Deja, 2009)



Διάγραμμα 22: FT-IR εποξειδική ρητίνη με 23% w/w MgO

Πίνακας 30: Χαρακτηριστικές ομάδες και οι αντίστοιχοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το σύνθετο με ποσοστό σωματιδίων 23% w/w από μίγμα δομικών υλικών και με μήτρα εποξειδικής ρητίνης.

Χαρακτηριστική ομάδα	Κυματαριθμός απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )*	Πειραματικές τιμές κυματαριθμού απορρόφησης ( $\text{cm}^{-1}$ )**
C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο	(666)	634
Si-O-T (T: Al ή Si) δονήσεις τάσης	~864	882

$C_{sp^3}-O-H$ δονήσεις τάσης (αλκοόλης)	(1150-1040)	1114
$C_{sp^3}-O$ δονήσεις τάσης	(1330-1200)	1257
C-O δονήσεις τάσης	(1410-1570)	1518
Mg-O και H-O-H δονήσεις κάμψεις	(1700-1450) ~1650	1617
		2934
>CH <sub>2</sub> , -CH <sub>3</sub>	(2980-2950)	2965
ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΤΑΣΗΣ		

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνουμε τα παρακάτω, όσον αφορά στις χαρακτηριστικές ομάδες του σύνθετου με μήτρα εποξειδικής ρητίνης και στους αντίστοιχους κυματαριθμούς απορρόφησης:

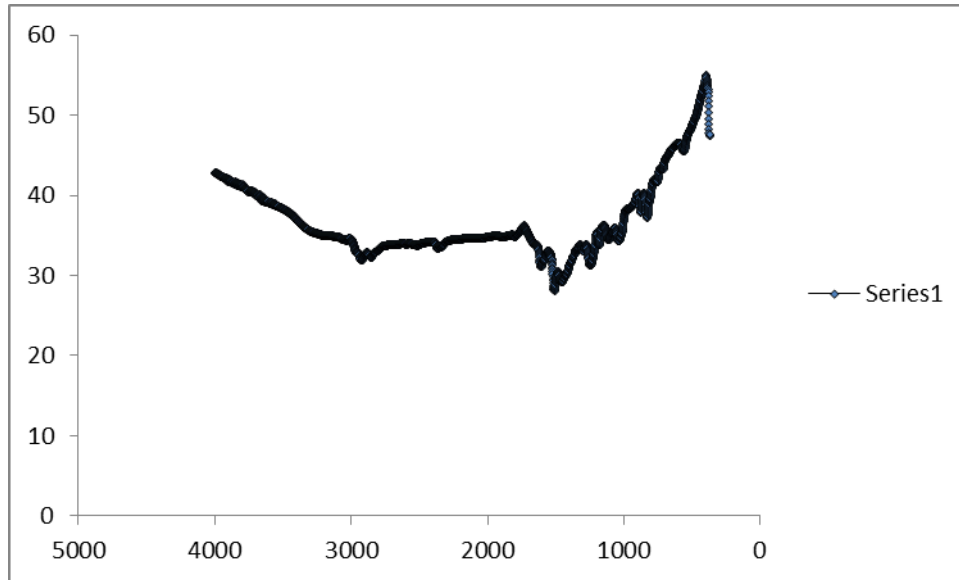
Οι κορυφές στην περιοχή  $1330-1200\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη δεσμών  $C_{sp^3}-O$  που υπάρχουν στις γραμμικές διασταυρωμένες δομές της σκληρυμένης εποξειδικής ρητίνης.

Οι κορυφές στην περιοχή  $1150-1040\text{ cm}^{-1}$  υποδηλώνουν την ύπαρξη του δεσμού  $C_{sp^3}-O-H$  της αλκοόλης (αιθυλενογλυκόλης).

Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματαριθμό μικρότερο του  $1080\text{ cm}^{-1}$  και μεγαλύτερο του  $666\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές δεσμών βενζολικών δακτυλίων, και κατά συνέπεια υποδηλώνουν την ύπαρξη βενζυλικής αλκοόλης. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές είναι στα  $666\text{ cm}^{-1}$ , που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο.

Ενώ απορρόφηση κοντά στους  $1650\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές H-OH που σχηματίζονται ως προϊόντα ενυδάτωσης από άργιλοπυριτικά άλατα. Επίσης οι κορυφές στην περιοχή  $1410-1570\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη C-O από αντίδραση του οξειδίου με CO<sub>2</sub> του ατμοσφαιρικού αέρα.





Διάγραμμα 23 : FT-IR εποξειδική ρητίνη με 23% w/w μίγμα δομικών υλικών

## 8 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

### 8.1 Παρασκευή και Προετοιμασία δοκιμίων

Η παρασκευή των δοκιμίων κάθε φορά αποτελούμενων από εποξειδική ρητίνη σκληρυντή και διαφορά ποσοστά % ανόργανων ουσιών όπως  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  αναλύεται βηματικά:

1) Παρασκευάζεται το μίγμα της εποξειδικής ρητίνης –σκληρυντή με αναλογία 16/100 για σύνολο 30 gr. Στις περιπτώσεις κατασκευής συνθέτων με ποσοστό 10%  $\text{SiO}_2$ , , από το σύνολο των 30 gr που απαιτούνται για να παραχθεί το σύνθετο υλικό, αφαιρείται το αντίστοιχο επί τοις εκατό ποσοστό του ανόργανου συστατικού κάθε φορά και μετέπειτα υπολογίζεται βάσει τις δοθείσας αναλογίας η αναγκαία ποσότητα των υπολοίπων συστατικών.

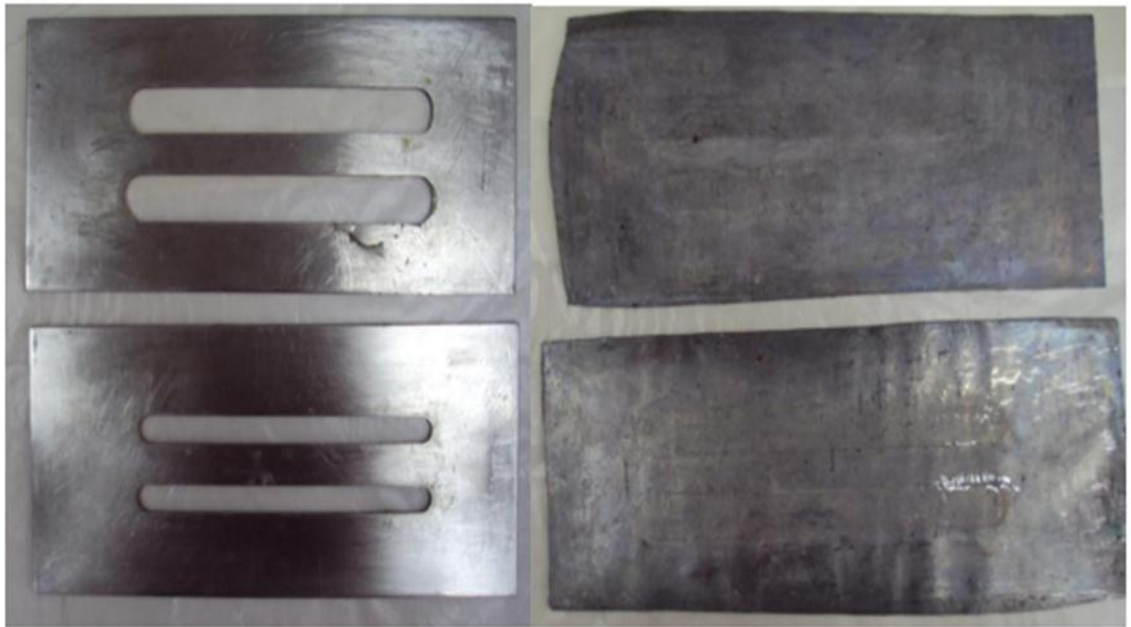
2) Οι πρώτες ύλες αναμιγνύονται και το μίγμα αφήνεται σε ηρεμία για χρόνο που αγγίζει τα όρια ζελαρίσματος, δηλαδή περί τα 20 λεπτά

3) Όσο το μίγμα ηρεμεί και η διαδικασία της σκλήρυνσης λαμβάνει χώρα, η θερμοπρέσα τίθεται σε λειτουργία στους  $60^\circ\text{C}$ . Το καλούπι είναι κατασκευασμένο, έτσι ώστε να προκύπτουν δύο διπλά δοκίμια μήκους 13,5 cm, πλάτους 17 mm και άλλα δύο μήκους 13 cm και 10 mm. Το πάχος των δοκιμίων καθορίζεται από την ομοιόμορφη πίεση, που ασκείται στο καλούπι, εντός της θερμοπρέσας. Μετά το πέρας του απαραίτητου χρόνου ακολουθεί η διαδικασία μορφοποίησης του συνθέτου. Δηλαδή στην παραγωγή σύνθετων υλικών ρητίνης/σκληρυντή. Για την ευκολότερη αποκόλληση του σύνθετου από το καλούπι, πριν τοποθετηθεί οτιδήποτε σε αυτό, όλα τα μεταλλικά του τμήματα ψεκάζονται με αντικολλητικό spray (Teflon) .

4) Στη συνέχεια, το καλούπι τοποθετείται στην πρέσσα, η οποία βρίσκεται ήδη στην επιθυμητή θερμοκρασία των  $60^\circ\text{C}$ . Σημειώνεται ότι, δεν ασκείται πίεση στο καλούπι από την αρχή, αφού απαιτείται κάποιος χρόνος προκειμένου να φτάσει η θερμοκρασία του καλουπιού στην αντίστοιχη θερμοκρασία, καθώς και να ζελάρει το μίγμα μέσα σε αυτό. Η παραπάνω δύο παράμετροι είναι πολύ σημαντικοί ώστε να αποφευχθεί τυχόν διαφυγή του μίγματος από τα ελεύθερα άκρα του καλουπιού, λόγω της απότομης αύξησης της πίεσης. Μετά το πέρας του χρονικού αυτού ορίου, περί τα 15 λεπτά, ασκείται σταδιακά πίεση ίση με 8 τόνους.

5) Μετά την πάροδο των 30 λεπτών το καλούπι αποσυμπιέζεται, απομακρύνεται από την θερμοπρέσα, αποσυναρμολογείται και αφαιρούνται τα δοκίμια του σύνθετου υλικού. Εκτιμάται η ποιότητα των δοκιμίων και μετρώνται ως προς τις μηχανικές αντοχές.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για 17% και 23% w/w της ουσίας σε σχέση με το βάρος της εποξειδικής ρητίνης καθώς και επίσης 10, 17,23% w/w των ουσιών  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ .



Εικόνα 14 : Καλούπι μορφοποίησης συνθέτου.



Εικόνα 15 : Θερμοπρέσσα

## 8.2 Περιπτώσεις σύνθετων υλικών που κατασκευάστηκαν

Με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης , με προσθήκη ανόργανων ουσιών μέσα στη μήτρα του σύνθετου υλικού, στις μηχανικές ιδιότητες του κατασκευάστηκαν τα εξής δοκίμια :

- Μήτρα αποτελούμενη αποκλειστικά από εποξειδική ρητίνη.
- Μήτρα αποτελούμενη από μίγμα εποξειδικής ρητίνης και σωματίδια  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  σε ποσοστό 10% w/w .
- Μήτρα αποτελούμενη από μίγμα εποξειδικής ρητίνης και σωματίδια  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  σε ποσοστό 17% w/w.
- Μήτρα αποτελούμενη από μίγμα εποξειδικής ρητίνης και σωματίδια  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  σε ποσοστό 23% w/w.

Πίνακας 31 :δοκμίων με διαφορετικά ποσοστά σωματιδίων  $\text{CaO}$  %(w/w) σε σχέση με την εποξειδική ρητίνη.

ΔΟΚΙΜΙΑ	Ποσοστό $\text{CaO}$ %(w/w)	Βάρος εποξειδικής ρητίνης σε (gr)	Βάρος $\text{CaO}$ σε (gr)	Βάρος σκληρυντή σε (gr)
1	0	30	0	5,4
2	10	30	3	5,4
3	17	30	6	5,4
4	23	30	9	5,4

Πίνακας 32 :δοκιμίων με διαφορετικά ποσοστά σωματιδίων SiO<sub>2</sub>%(w/w) σε σχέση με την εποξειδική ρητίνη.

<b>ΔΟΚΙΜΙΑ</b>	<b>Ποσοστό SiO<sub>2</sub>%(w/w)</b>	<b>Βάρος εποξειδικής ρητίνης σε (gr)</b>	<b>Βάρος SiO<sub>2</sub> σε (gr)</b>	<b>Βάρος σκληρυντή σε (gr)</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>5,4</b>
<b>2</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>5,4</b>
<b>3</b>	<b>17</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>5,4</b>
<b>4</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>9</b>	<b>5,4</b>

Πίνακας 33: δοκιμίων με διαφορετικά ποσοστά σωματιδίων , MgO %(w/w) σε σχέση με την εποξειδική ρητίνη.

<b>ΔΟΚΙΜΙΑ</b>	<b>Ποσοστό MgO %(w/w)</b>	<b>Βάρος εποξειδικής ρητίνης σε (gr)</b>	<b>Βάρος MgO σε (gr)</b>	<b>Βάρος σκληρυντή σε (gr)</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>5,4</b>
<b>2</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>5,4</b>
<b>3</b>	<b>17</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>5,4</b>
<b>4</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>9</b>	<b>5,4</b>

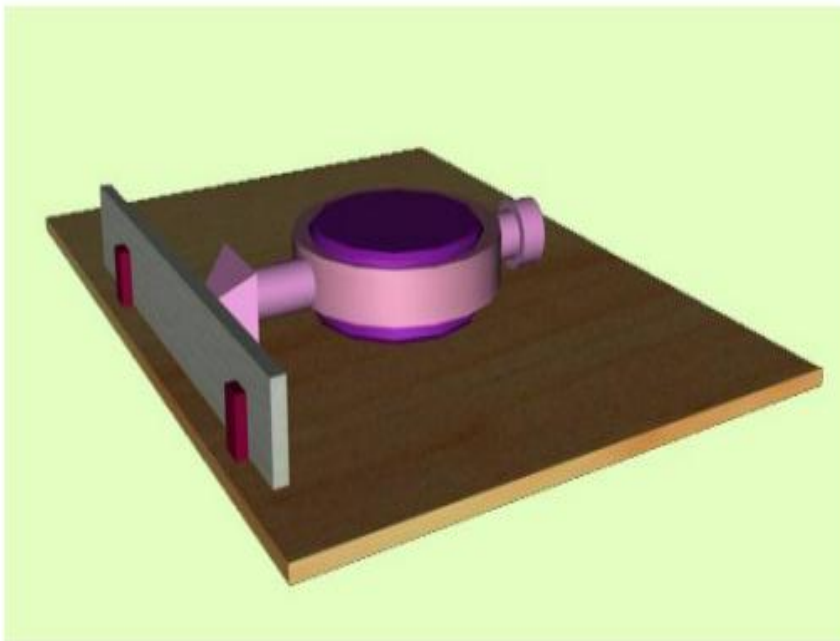
Πίνακας 34: δοκιμίων με διαφορετικά ποσοστά σωματιδίων , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %(w/w) σε σχέση με την εποξειδική ρητίνη.

<b>ΔΟΚΙΜΙΑ</b>	<b>Ποσοστό Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%(w/w)</b>	<b>Βάρος εποξειδικής ρητίνης σε (gr)</b>	<b>Βάρος Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> σε (gr)</b>	<b>Βάρος σκληρυντή σε (gr)</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>5,4</b>
<b>2</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>5,4</b>
<b>3</b>	<b>17</b>	<b>30</b>	<b>6</b>	<b>5,4</b>
<b>4</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>9</b>	<b>5,4</b>

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### 8.3 Πειραματική Διάταξη

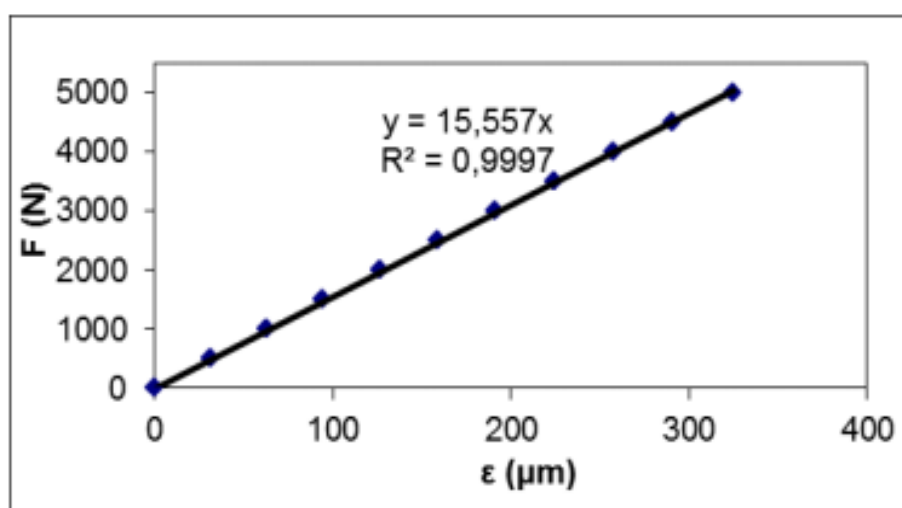
Στις δοκιμές σε κάμψη και διάτμηση χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικό δυναμόμετρο, το οποίο με την άσκηση πίεσης μετρά σε αναλογική ένδειξη την προκύπτουσα παραμόρφωση, δηλαδή το βέλος κάμψης. Το αποτέλεσμα είναι υποπολλαπλασιασμένο με τον αριθμό πέντε και αντιστοιχεί σε δύναμη που δίνεται σε πίνακα από τον κατασκευαστή του οργάνου. Στο Σχήμα 15 που ακολουθεί αναπαρίσταται η αρχή μέτρησης γραφικά.



Με γκρι χρώμα απεικονίζεται το δοκίμιο, και με βυσσινί οι στήλες έδρασης. Για κάμψη, η απόσταση μεταξύ τους είναι 100 χιλιοστά και για διάτμηση 10 χιλιοστά. Οι τιμές που δίνονται από τον κατασκευαστή για την αναγωγή των μετρήσεων είναι οι ακόλουθες :

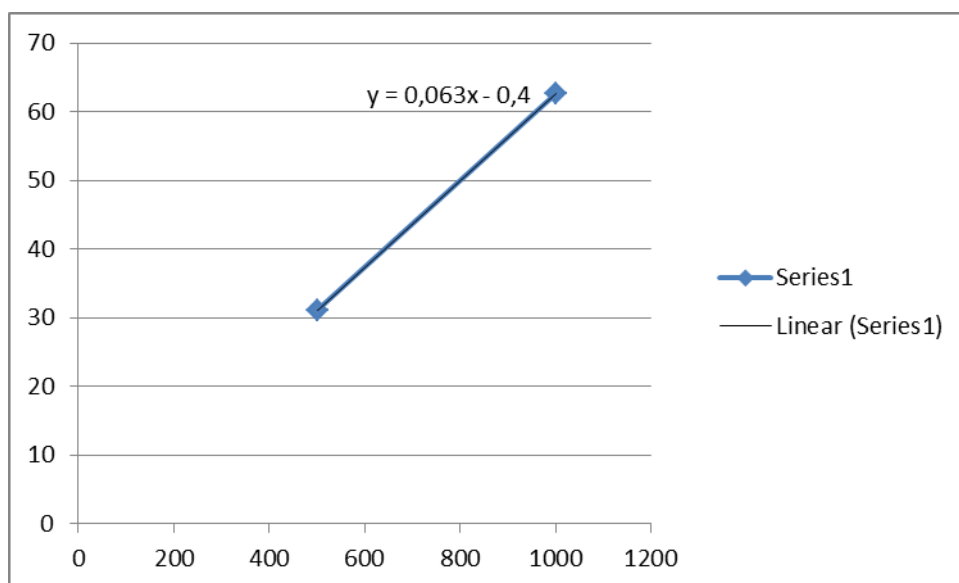
Πίνακας 35 :Αντιστοίχιση δύναμης (N) σε τιμή παραμόρφωσης του οργάνου

A/A	Δύναμη σε Nt	Τιμή Παραμόρφωσης
1	0	0.0
2	500	31.1
3	1000	62.6
4	1500	94.2
5	2000	126.2
6	2500	158.5
7	3000	191.1
8	3500	224.0
9	4000	257.0
10	4500	290.8
11	5000	324.6



Για να υπολογιστεί η δύναμη (φορτίο), πολλαπλασιάζεται η ένδειξη του οργάνου επί πέντε και λαμβάνεται από τον πίνακα η τιμή της δύναμης με παρεμβολή. Αν παίρνουμε από μέτρηση ένδειξη εκτός πίνακα, τότε υπολογίζουμε τη δύναμη πάλι με γραμμική παρεμβολή. Με βάση τα γεωμετρικά δεδομένα των δοκιμίων και την τιμή

του φορτίου την στιγμή της θραύσης ( $P_{μεγ}$ ), υπολογίζονται κατά τα γνωστά οι μέγιστες τάσεις (όρια αντοχής) σε κάμψη και διάτμηση.



## 8.4 Αντοχή σε Κάμψη

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ακολουθεί τα πρότυπα κατά ASTM D 790-71 ή DIN EN ISO 178 ή DIN 53 452. Τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν είχαν μήκος 21 cm, πλάτος 1,7 cm και 1 cm για τα μεγάλα και τα μικρά δοκίμια, αντίστοιχα, ενώ το πάχος δεν ήταν σταθερό. Για τον υπολογισμό της αντοχής σε κάμψη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος τριών σημείων, όπου το φορτίο  $F$  ασκείται στο μέσο της απόστασης των σημείων στήριξης  $l$ . Η απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης ήταν 10 cm. Η δύναμη μετριόταν με δυναμόμετρο ακριβείας 9.81 N και το βέλος της κάμψης με βελόμετρο ακριβείας εκατοστού του mm.

Η αντοχή σε κάμψη, σύμφωνα με το πρότυπο, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\sigma_B = \frac{3F_{\max}}{2bd^2}l$$

(Σχέση 3)

όπου:



$\sigma_B$ : η μέγιστη αντοχή σε κάμψη ( $N/mm^2$ )

$F_{max}$ : το μέγιστο εφαρμοζόμενο φορτίο που αντέχει το δοκίμιο (N)

$l$ : η απόσταση των σημείων στήριξης (mm)

$b$ : το πάχος του δοκιμίου (mm)

$d$ : το πάχος του δοκιμίου (mm)

## 8.5 Αντοχή σε Διάτμηση

Η δοκιμή της αντοχής σε διάτμηση έγινε βάση της μέτρησης της αντοχής σε κάμψη, με ελαττωμένη απόσταση των σημείων στήριξης ως προς το πάχος του δοκιμίου σύμφωνα με το πρότυπο ASTM-NORM.D 2344-65 T. Η μέθοδος αυτή αφορά τον υπολογισμό της διαστρωματικής διάτμησης. Τα δοκίμια που μετρήθηκαν είχαν μήκος 21 cm, πλάτος 1.7 cm αφού εδώ χρησιμοποιούνται μόνο τα μεγάλα δοκίμια και μεταβλητό πάχος. Έτσι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η μέθοδος αυτή αντιστοιχεί σε αυτή της κάμψης τριών σημείων, με τη μόνη διαφορά ότι τα σημεία στήριξης απέχουν πολύ μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, περίπου 10 mm. Η διαστρωματική διατμητική αντοχή σύμφωνα με το πρότυπο, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\tau_B = \frac{0,75F_{max}}{bd}$$

όπου:

$\tau_B$ : η μέγιστη διαστρωματική διάτμηση τάση ( $N/mm^2$ )

$F_{max}$ : το μέγιστο εφαρμοζόμενο φορτίο που αντέχει το δοκίμιο (N)

$b$ : το πάχος του δοκιμίου (mm)

$d$ : το πάχος του δοκιμίου (mm)

Σημειώνεται ότι υπέστησαν δοκιμή αντοχής σε κάμψη και διάτμηση τουλάχιστον 3 δοκίμια από κάθε περίπτωση για αποφυγή σφάλματος

## 8.6 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Πριν παρατεθούν τα αποτελέσματα των μηχανικών μετρήσεων των συνθέτων υλικών είναι χρήσιμο να αναφερθούν οι μονάδες σύμφωνα με τις οποίες μετράται η μηχανική αντοχή σε κάμψη και διάτμηση.

Η συνήθης μονάδα μέτρησης είναι το  $N/mm^2$ , το οποίο ταυτίζεται με το MPa που είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μονάδα μέτρησης σε αυτές τις περιπτώσεις.

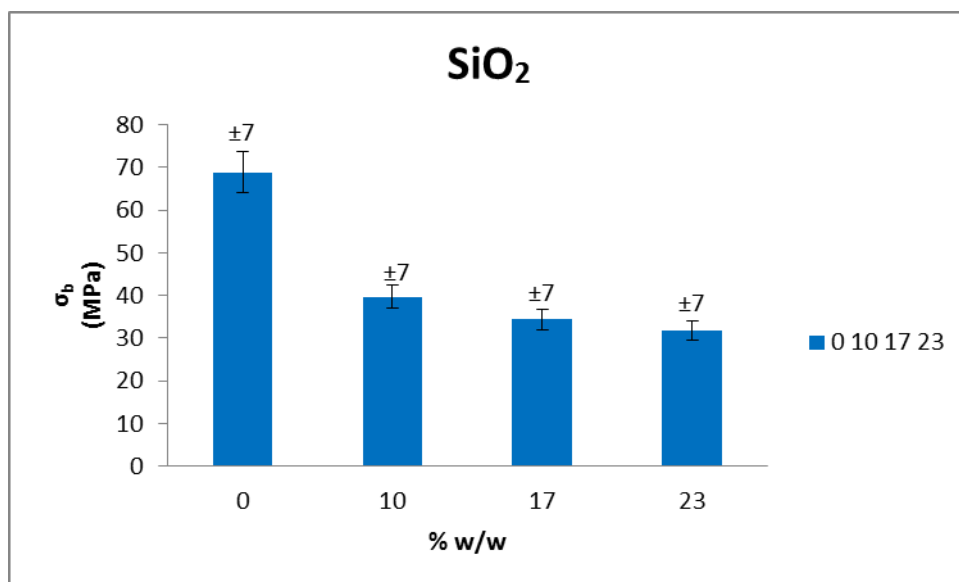
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μηχανικών μετρήσεων (αντοχή σε κάμψη) των συνθέτων υλικών.

Πίνακα 36: Μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε κάμψη) συνθέτων υλικών με διαφορετικά ποσοστά w/w%  $SiO_2$ .

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο $SiO_2$	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ (MPa)
1	100	-	68,78
2	90	10	39,68
3	83	17	34,38
4	77	23	31,75

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w  $SiO_2$  εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε κάμψη κατά 42,3 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η μείωση της αντοχής σε κάμψη συνεχίζεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσθετης ουσίας με μικρότερη διαφορά μέχρι το 30 % w/w  $SiO_2$  αντιστοιχεί στην τιμή του 20 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w  $SiO_2$ .

Στην συνέχεια, αποδίδεται σχηματικά η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων σε διάγραμμα πίεσης-ποσοστού% σε  $SiO_2$



Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 24 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας SiO<sub>2</sub> στην εποξειδική ρητίνη

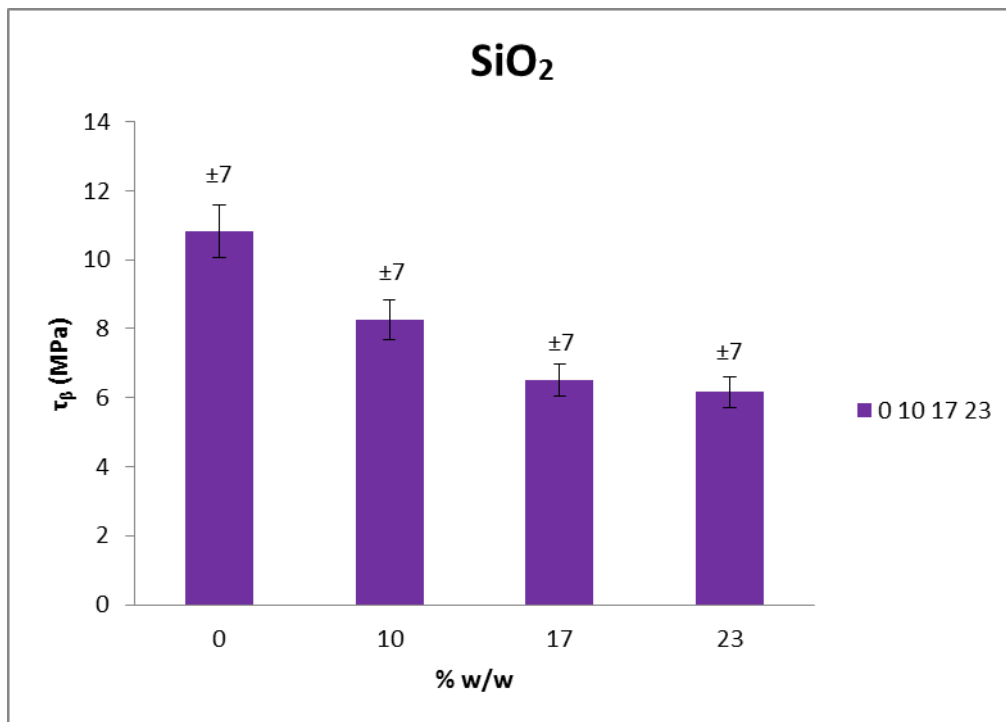
Από το διάγραμμα βγάζουμε συμπέρασμα ότι όσο μεγαλώνει το ποσοστό της ουσίας κατά βάρος στην εποξειδική ρητίνη τόσο μειώνεται η αντοχή σε κάμψη του σύνθετου υλικού κάτι που είναι και συμβατό με την θεωρία εφόσον η εποξειδική ρητίνη είναι αυτή που έχει τις καλύτερες μηχανικές αντοχές. Άρα όσο αντικαθίσταται το ποσοστό της από άλλο υλικό τόσο μειώνεται η αντοχή του σύνθετου που έχουμε δημιουργήσει. Επίσης παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη μείωση της αντοχής την έχουμε από το μηδέν στο 10%.

Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 37) των μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή σε διάτμηση) των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν , και σε αυτή την περίπτωση.

A/A	Πολυμερές- Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο SiO <sub>2</sub>	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ Διάτμηση (MPa)
1	100	-	10,38
2	90	10	8,26
3	83	17	6,51
4	77	23	6,16

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w SiO<sub>2</sub> εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε διάτμηση κατά 20,4 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η περαιτέρω μείωση της τιμής της αντοχής σε διάτμηση είναι εμφανής σε μεγαλύτερα ποσοστά και συγκεκριμένα για το σύνθετο με 30 % w/w SiO<sub>2</sub> αντιστοιχεί στην τιμή του 25,4 % από την

αντίστοιχη για 10 % w/w SiO<sub>2</sub>.

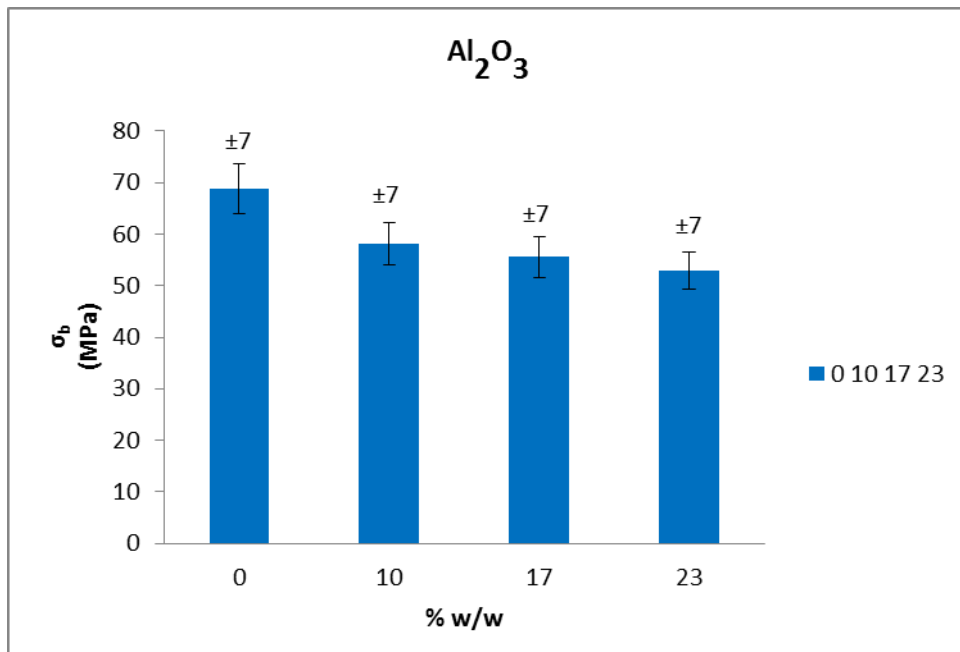


Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 25 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας SiO<sub>2</sub> στην εποξειδική ρητίνη

Πίνακας 38: Μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε κάμψη) συνθέτων υλικών με διαφορετικά ποσοστά w/w% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ (MPa)
1	100	-	68,78
2	90	10	58,20
3	83	17	55,55
4	77	23	52,92

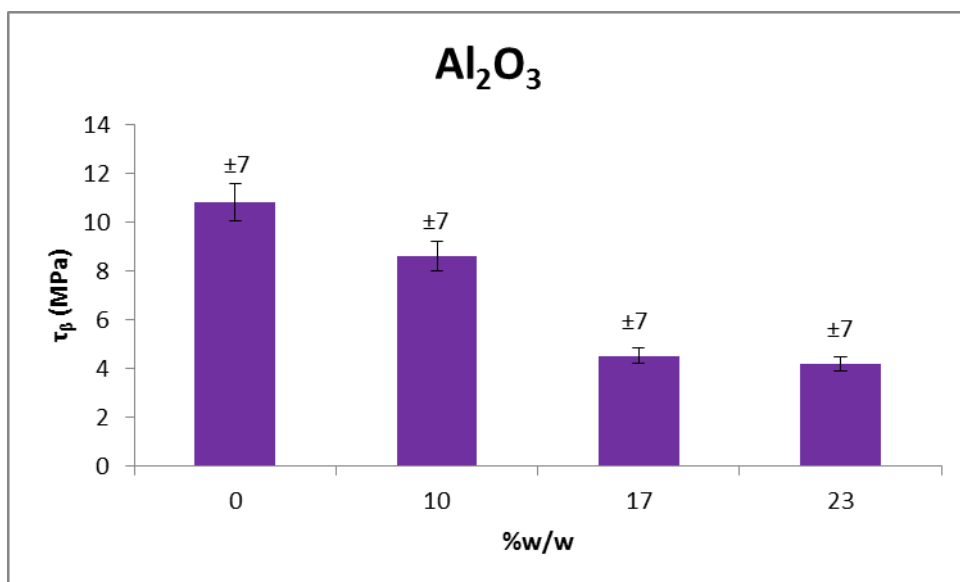
Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε κάμψη κατά 15,38 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η μείωση της αντοχής σε κάμψη συνεχίζεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσθετης ουσίας με μικρή διαφορά μέχρι το 30 % w/w Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> αντιστοιχεί στην τιμή του 9,07 % από την αντίστοιχη για 10 %



Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 26 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> στην εποξειδική ρητίνη

Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 39 ) των μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή σε διάτμηση) των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν , και σε αυτή την περίπτωση.

A/A	Πολυμέρες-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ Διάτμηση(MPa)
1	100	-	10,83
2	90	10	8,61
3	83	17	4,53
4	77	23	4,18



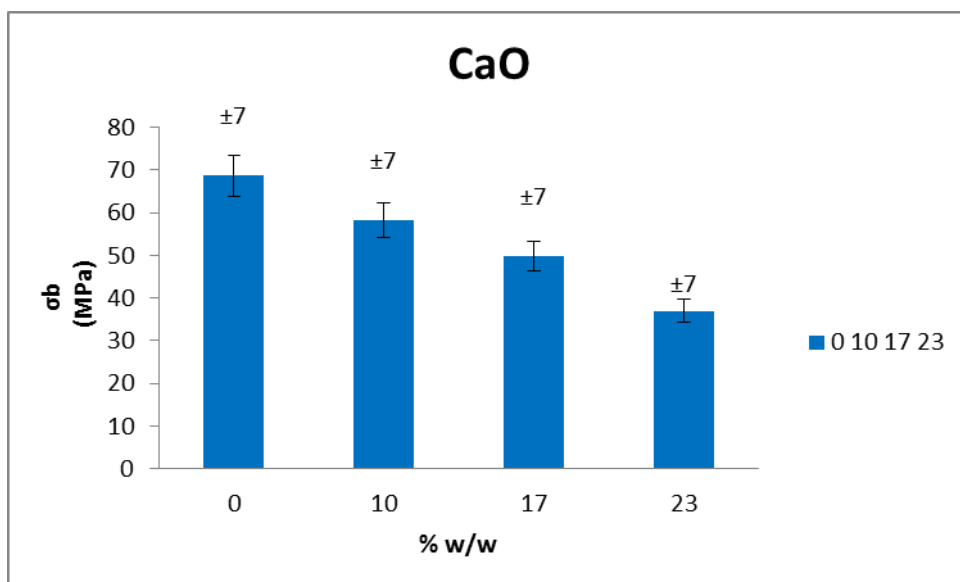
Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 27 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> στην εποξειδική ρητίνη

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε διάτμηση κατά 20,5 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η περαιτέρω μείωση της τιμής της αντοχής σε διάτμηση είναι εμφανής σε μεγαλύτερα ποσοστά και συγκεκριμένα για το σύνθετο με 23 % w/w Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> αντιστοιχεί στην τιμή του 51,45 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Πίνακας 40 :Μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε κάμψη) συνθέτων υλικών με διαφορετικά ποσοστά w/w% CaO.

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο-CaO	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ (MPa)
1	100	-	68,78
2	90	10	58,20
3	83	17	49,79
4	77	23	37,03

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w CaO εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε κάμψη κατά 15,38 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η περαιτέρω μείωση της τιμής της αντοχής σε κάμψη είναι εμφανής σε μεγαλύτερα ποσοστά και συγκεκριμένα για το σύνθετο με 23 % w/w CaO αντιστοιχεί στην τιμή του 36,37 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w CaO.

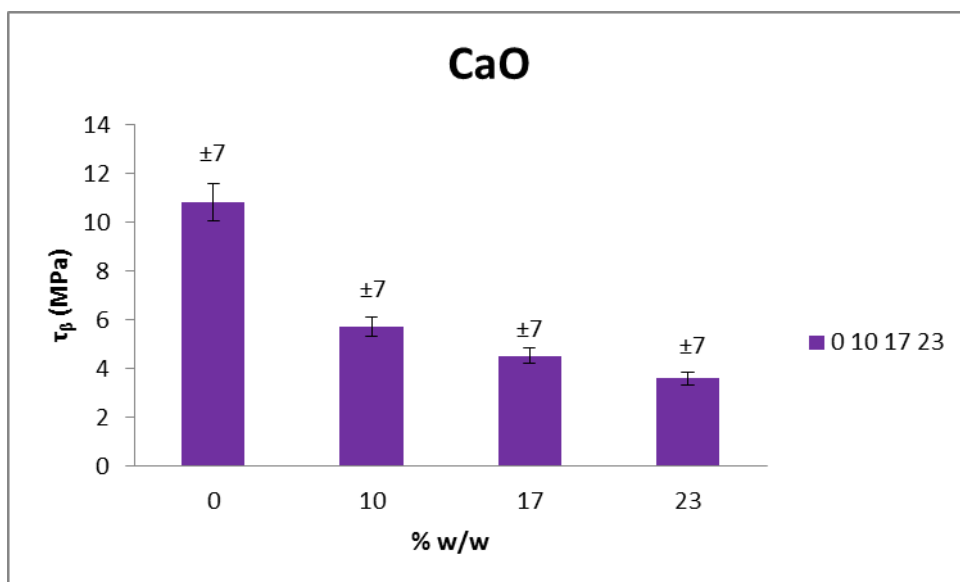


Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 28 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας CaO στην εποξειδική ρητίνη

Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 41 ) των μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή σε διάτμηση) των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν , και σε αυτή την περίπτωση.

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο-CaO	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ Διάτμηση (MPa)
1	100	-	10,83
2	90	10	5,70
3	83	17	4,53
4	77	23	3,60

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w CaO εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε διάτμηση κατά 47,37 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η μείωση της αντοχής σε διάτμηση συνεχίζεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσθετης ουσίας με μικρή διαφορά μέχρι το 23 % w/w CaO που αντιστοιχεί στην τιμή του 36,84 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w CaO.



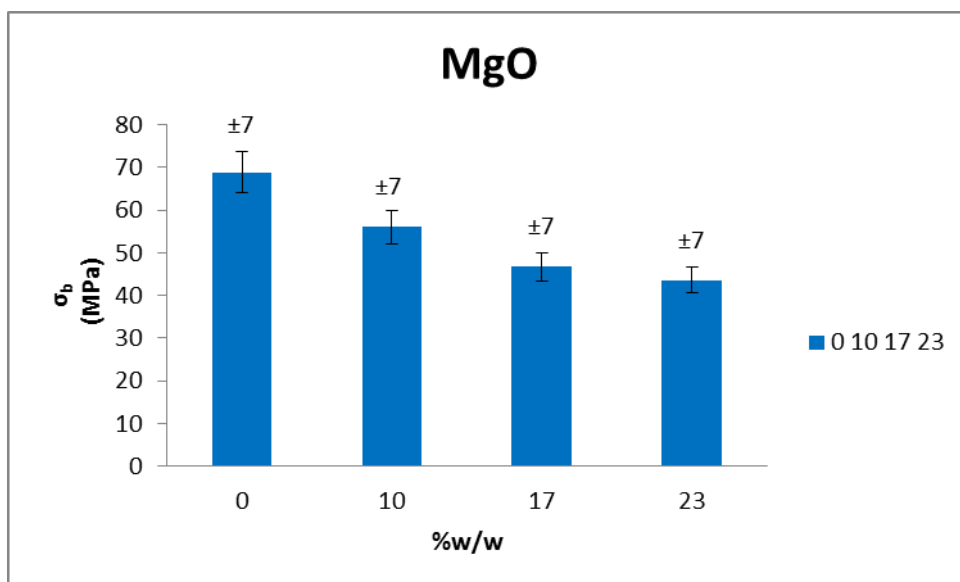
Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 29 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας CaO στην εποξειδική ρητίνη

Πίνακας 42 :Μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε κάμψη) συνθέτων υλικών με διαφορετικά ποσοστά w/w% MgO.

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο MgO	Αντοχή σε Κάμψη (MPa)
1	100	-	68,78
2	90	10	56,02
3	83	17	46,69
4	77	23	43,57

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w MgO εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε κάμψη κατά 18,55 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η περαιτέρω μείωση της τιμής της αντοχής σε κάμψη είναι εμφανής σε μεγαλύτερα ποσοστά και συγκεκριμένα για το σύνθετο με 23 % w/w MgO αντιστοιχεί στην τιμή του 22,24 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w MgO.



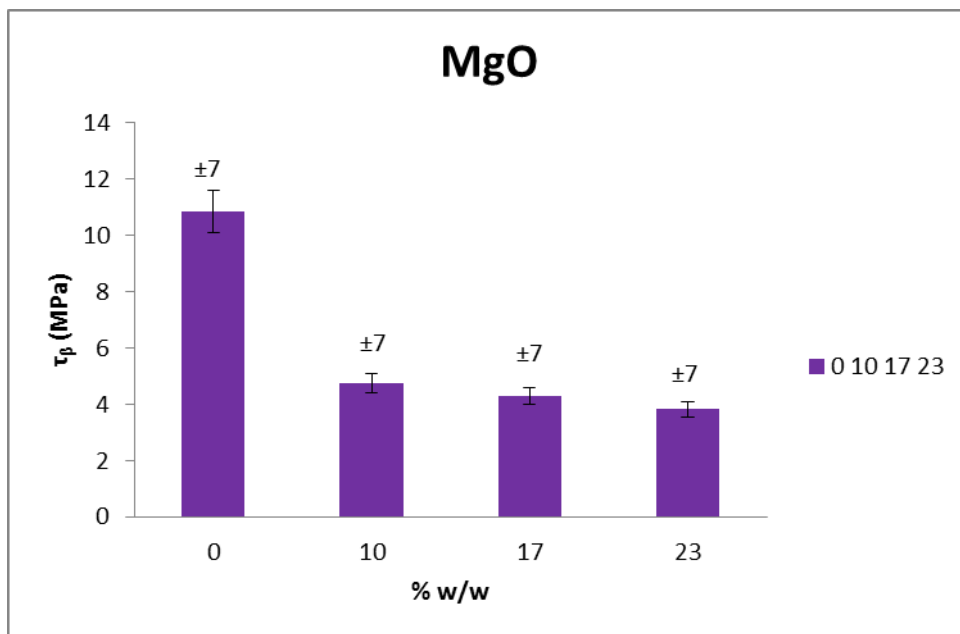


Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 30 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας MgO στην εποξειδική ρητίνη

Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 43) των μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή σε διάτμηση) των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν , και σε αυτή την περίπτωση.

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Πρόσθετο MgO	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ Διάτμηση (MPa)
1	100	-	10,83
2	90	10	4,76
3	83	17	4,30
4	77	23	3,83

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w MgO εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε διάτμηση κατά 56,05 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η μείωση της αντοχής σε διάτμηση συνεχίζεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσθετης ουσίας με μικρή διαφορά μέχρι το 23% w/w MgO που αντιστοιχεί στην τιμή του 19,54 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w MgO.

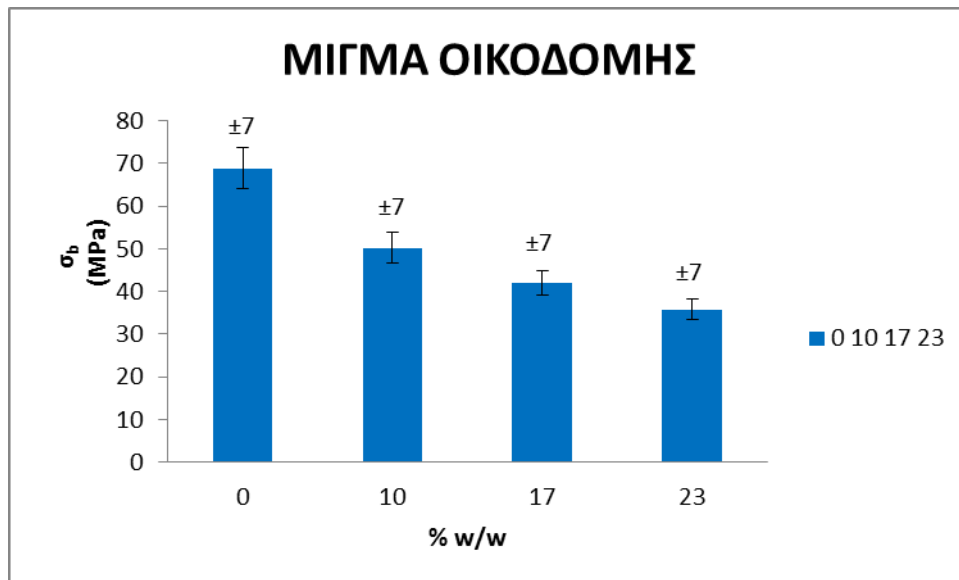


Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 31 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας MgO στην εποξειδική ρητίνη

Πίνακας 44 :Μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε κάμψη) συνθέτων υλικών με διαφορετικά ποσοστά w/w% Μίγμα οικοδομής

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Μίγμα οικοδομής	Αντοχή σε κάμψη(MPa)
1	100	-	68,78
2	90	10	50,27
3	83	17	42,02
4	77	23	35,79

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w Μίγμα οικοδομής εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε κάμψη κατά 38,9% από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. . Η μείωση της αντοχής σε κάμψη συνεχίζεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσθετης ουσίας με μικρή διαφορά μέχρι το 23% w/w Μίγμα οικοδομής που αντιστοιχεί στην τιμή του 29,30 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w Μίγμα οικοδομής..

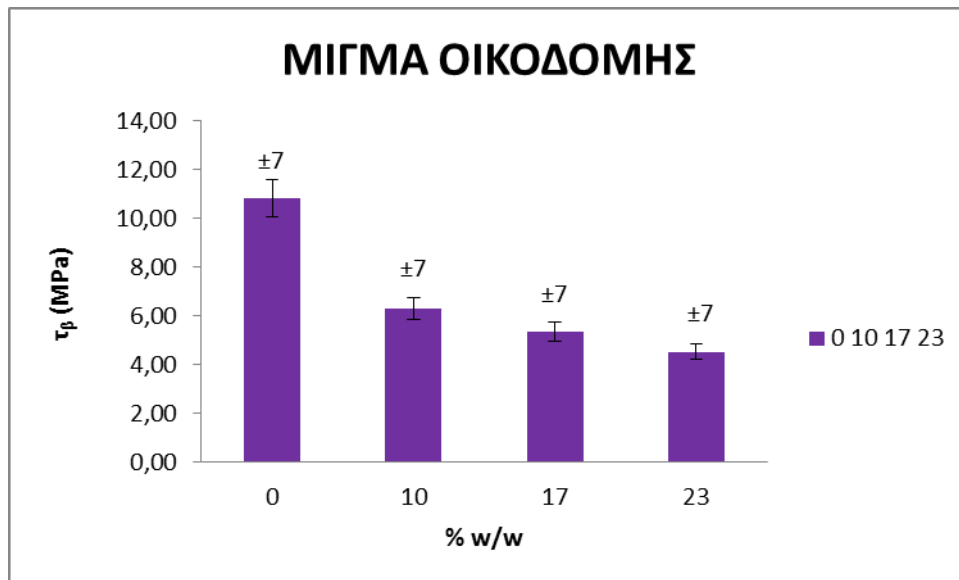


Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 32 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας Μίγμα οικοδομής στην εποξειδική ρητίνη

Παρακάτω παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 45) των μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή σε διάτμηση) των συνθέτων υλικών που κατασκευάστηκαν , και σε αυτή την περίπτωση.

A/A	Πολυμερές-Εποξειδική ρητίνη(w/w)	Μίγμα οικοδομής	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ Διάτμηση(MPa)
1	100	-	10,83
2	90	10	6,28
3	83	17	5,35
4	77	23	4,53

Τα σύνθετα υλικά για το ποσοστό του 10 % w/w Μίγμα οικοδομής εμφανίζουν μείωση της αντοχής τους σε διάτμηση κατά 42 % από το σύνθετο υλικό αποτελούμενο από σκέτη εποξεική μήτρα. Η μείωση της αντοχής σε διάτμηση συνεχίζεται όσο αυξάνεται το ποσοστό της πρόσθετης ουσίας με μικρή διαφορά μέχρι το 23% w/w Μίγμα οικοδομής που αντιστοιχεί στην τιμή του 27,87 % από την αντίστοιχη για 10 % w/w Μίγμα οικοδομής.



Παραπάνω φαίνεται και στο διάγραμμα 33 ανάλογα με το ποσοστό % w/w της ουσίας Μίγμα οικοδομής στην εποξειδική ρητίνη

## 8.7 Συμπεράσματα

Οι τιμές αναφέρονται στο μέσο όρο των μετρήσεων των δοκιμίων που μετρήθηκαν.

Κατά την μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων που κατασκευάσαμε αναμέναμε οι τιμές τους να επηρεάζονται από το ποσοστό ενίσχυσης των δοκιμίων με σωματίδια, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και στην πράξη. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι όσο αυξάνει το ποσοστό ενίσχυσης, τόσο μειώνουν και οι αντοχές των δοκιμίων.

Μεγαλύτερη μείωση της αντοχής σε κάμψη παρουσιάζουν τα δοκίμια που έχουν ως πρόσθετο  $\text{SiO}_2$ , μετά ακολουθούν με μικρή διαφορά τα δοκίμια με μίγμα οικοδομής, τα δοκίμια με  $\text{CaO}$ , τα δοκίμια με  $\text{MgO}$  και την λιγότερη μείωση παρουσιάζουν τα δοκίμια που έχουν ως πρόσθετο  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Ωστόσο παρά την μείωση της κάμψης που παρατηρούμε με την αύξηση του ποσοστού σωματιδίου έχουμε ακόμα καλές αντοχές σε κάμψη κάτι όμως που δεν θα ίσχυε με μεγαλύτερα ποσοστά, όπως 50 % w/w σωματιδίων.

Μεγαλύτερη μείωση της αντοχής σε διάτμηση παρουσιάζουν τα δοκίμια που έχουν ως πρόσθετο  $\text{MgO}$ , μετά ακολουθούν με μικρή διαφορά τα δοκίμια με  $\text{CaO}$ , τα δοκίμια με  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , τα δοκίμια με μίγμα οικοδομής και την λιγότερη μείωση παρουσιάζουν τα δοκίμια που έχουν ως πρόσθετο  $\text{SiO}_2$ .

Ωστόσο παρά την μείωση της διάτμησης που παρατηρούμε με την αύξηση του ποσοστού σωματιδίου έχουμε ακόμα καλές αντοχές σε κάμψη κάτι όμως που δεν θα ίσχυε με μεγαλύτερα ποσοστά, όπως 50 % w/w σωματιδίων.

Επιπλέον, δεν θα πρέπει να παραλείψουμε να αναφέρουμε κάποιους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών. Γενικά, οι αντοχές ενός σύνθετου υλικού καθορίζονται από ένα πλήθος παραγόντων, οι οποίοι σχετίζονται τόσο με τις πρώτες ύλες, όσο και με τη διαδικασία παραγωγής.

Όσον αφορά στις πρώτες ύλες, θα πρέπει να εξετάζεται η σταθερότητα των ιδιοτήτων τους στο σύνολο της ποσότητας μίας παρτίδας προϊόντος, καθώς επίσης και μεταξύ διαφορετικών παρτίδων του ίδιου προϊόντος. Στη συγκεκριμένη εργασία, η εποξειδική ρητίνη και ο αντίστοιχος σκληρυντής της αποτελούν βιομηχανικά προϊόντα και δεν αναμένεται ανομοιογένεια τους, καθώς και λόγω της λεπτόρρευστης κατάστασής τους η ανάδευση του μίγματος τους είναι πολύ ικανοποιητική.

## 9 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 9.1 Γενικά Συμπεράσματα

Βασικός σκοπός αυτή της εργασίας είναι η κατασκευή και η μελέτη σύνθετων υλικών με ανόργανα σωματίδια ως πρόσθετα και εποξειδική ρητίνη ως μήτρα. Επίσης κατασκευάστηκαν δοκίμια με δομικά υλικά ως πρόσθετα . Ακολούθησαν οι δοκιμές κάμψης και διάτμησης. Ύστερα έγινε χαρακτηρισμός των ανόργανων ουσιών, της εποξειδικής ρητίνης καθώς και των σύνθετων με το μεγαλύτερο ποσοστό των ανόργανων ουσιών και δομικών υλικών με Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (FTIR). Μέσω του χαρακτηρισμού με FTIR επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη στα σύνθετα υλικά με δομικά υλικά ως πρόσθετα ,των ανόργανων ουσιών (CaO , SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Κατασκευάστηκαν δοκίμια εποξειδικής μήτρας με CaO , SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, δομικών υλικών με ποσοστά 10,17 και 23 % κατά βάρος. Η ενσωμάτωση των παραπάνω ποσοστών στα δοκίμια των συνθέτων υλικών ήταν πολύ ικανοποιητική. Από τις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων που κατασκευάστηκαν , προέκυψε ότι αυξανόμενου του ποσοστού ανόργανων σωματιδίων μειώνονται και οι αντοχές των δοκιμίων σε κάμψη και σε διάτμηση, όπως και σε αύξηση του ποσοστού του δομικού υλικού. Κάτι που παρατηρήθηκε επίσης είναι ότι οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων σε κάμψη του συνθέτου υλικού με πρόσθετο δομικά υλικά είναι πολύ κοντά στις αντίστοιχες τιμές των δοκιμίων με σωματίδια από MgO ως πρόσθετο. Παρόλα αυτά ακόμη και τα δοκίμια με τα μεγαλύτερα ποσοστά προσθέτων έχουν ικανοποιητικές τιμές μηχανικών ιδιοτήτων έτσι ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά.

### 9.2 Προτάσεις για μελλοντικές έρευνες

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε ως μήτρα η εποξειδική ρητίνη. Για πιο ολοκληρωμένα αποτελέσματα χρήσιμη θα ήταν η σύγκριση όλων των παραπάνω διαδικασιών χαρακτηρισμού και μέτρησης μηχανικών ιδιοτήτων των συνθέτων υλικών με χρήση άλλου τύπου ρητίνης ως μήτρας όπως φαινολικές και πολυεστερικές ρητίνες.

Θα ήταν δυνατή η κοκκοποίηση άλλων χρησιμοποιημένων ανόργανων δομικών υλικών όπως στόκος ή άλλων δομικών επιχρισμάτων.

Θα ήταν ενδιαφέρουσα η επανάληψη των πειραμάτων με την χρησιμοποίηση άλλων επίσης συνηθισμένων ανόργανων υλικών.

Επίσης, για την επίτευξη μεγαλύτερων τιμών μηχανικής αντοχής σε κάμψη και διάτμηση μπορεί να γίνει χρήση μικρού ποσοστού ινών υάλου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. " ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ/ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ" , Σ.Η.Δρίτσος ΠΑΤΡΑ 2005
2. " ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΑΘΕΙ ΖΗΜΙΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ " , " Κτίριο " , Τεύχος 61
3. May C.A. ,Tanaka Y., Ed., Epoxy Resins, Chemistry and Technology, Marcel Dekker, 1973.
4. Lee H., Neville K., Handbook of Epoxy Resins, Mc Graw - Hill, 1967.
5. Schrade J., The Epoxy Resins, Mc Graw – Hill, 1967.
6. Skeist L. , Epoxy Resins, Reinhold, 1958 .
7. Potter W.G. , Epoxy Resins, A Plastics Institute Edition, London ,1970.
8. Engineered Materials Handbook ,vol.1 ,Composites ,ASM International , Ohio ,1987, p.p. 66 -77.
9. Tanaka J., Wolter K., Engineering Dielectrics, vol. IIA, Electrical Properties of Solids Insulating Materials, Composition and Structure of Dielectrics Solids, 1983 ,ASTM p.609.
10. May, Clayton A. (1987-12-23). *Epoxy Resins: Chemistry and Technology* (Second ed.). New York: Marcel Dekker Inc. p. 794.
11. Ν.Γ. Τσούβαλης, «Μηχανική Συνθέτων Υλικών », Σημειώσεις Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών», Αθήνα 1998, σελ 1-28, 45-50, 68-69.
12. 5 ^ Norman L. Lambert. "Quartz Flooring". Epoxy.com. Retrieved 2010-07-24.
13. " ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΒΛΑΒΕΣ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ " , Υπουργείο Δημοσίων Έργων.
14. ^ Stäubli, W. (1963). "A new embedding technique for electron microscopy, combining a water-soluble epoxy resin (Durcupan) with water-insoluble Araldite". *The Journal of Cell Biology* (Rockefeller Univ Press) 16 (1): 197.
15. ^ Kushida, H. (1963). "A Modification of the Water-miscible Epoxy Resin "Durcupan" Embedding Method for Ultrathin Sectioning". *Journal of Electron Microscopy* (Japan Society Microscopy) 12 (1): 72.
16. 2) " ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΑΘΕΙ ΖΗΜΙΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ " , " Κτίριο " , Τεύχος 61
17. P.F. Bruins, Epoxy Resin Technology, 1<sup>st</sup> ed.,Wiley Interscience, N.Y.1968
18. B.J. Barham,A. Keller, Review High- Strength polyethylene fibres from solution and gel spinning, *Journal of material Science*, 10 (1985), p.2281- 2302

19. May C.A. ,Tanaka Y., Ed., Epoxy Resins, Chemistry and Technology,2<sup>nd</sup> Ed Marcel Dekker, 1973.
20. H.Lee and K. Neville, Handbook of epoxy resins, 1<sup>st</sup> ed.,McGraw- Hill 1967
21. Ι.Χ. Σιμιτζής,"Πολυμερή" ,Αθήνα 1994.
22. Ιωάννης Χρ. Σιμιτζής, «Πολυμερή και Σύνθετα Υλικά» , Σημειώσεις Κατεύθυνσης 8ου Εξαμήνου Χημικών Μηχανικών – ΜΕΡΟΣ Α , Αθήνα 2010, σελ. 21, 38-39.
23. 15. E. B. Scrossati, 'Application of Electroactive Polymers', Chapman and Hall, London, 1993
24. 9 Ι. Χρ. Σιμιτζής, Τεχνικά Χρονικά, Ιαν.-Φεβρ.-Μαρτ.,1978, σελ.398-407.
25. 16 E. B. Scrossati 'Application of Electroactive Polymers', Chapman and Hall, London, 1993.
26. Παπανικολάου Γ.,"Σύνθετα Πολυμερικά Υλικά" , Πανεπιστημιακές Σημειώσεις.
27. F. Bueche, J.App. Pol.Sci σελ.4,107 (1960)
28. Dakin T.W., Composite Insulating Materials and Systems, ASTM, Engineering Dielectrics, vol IIA, 1983, P.667.
29. 2. Παπαϊωάννου Κυριάκος (1998), "Η τεχνολογία της τοιχοποιίας"
30. [http://www.femme.gr/house\\_paintings.htm](http://www.femme.gr/house_paintings.htm)
31. <http://www.painterss.gr/emulsion.html>
32. "Δομικά Υλικά και Οικολογία", Αιμ.Γ. Κορωναίος ,Γ- Φοίβος Σαργέντης Αθήνα 2005
33. Ελληνική Εταιρεία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, «Απόβλητα από Εκσκαφές Κατασκευές και Κατεδαφίσεις», : <http://www.edsa.gr> (τελ. Επίσκεψη: 12.12.07), (2007)
34. European Environmental Agency (EEA) (ed.)(2002) Review of Selected Waste Streams. Technical Report N.69, European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark.
35. EC, European Community.Sixth Environment Action Programme of the 2001-2010 (Sixth EAP ): Environment 2010 :Our choice, Brussels, Belgium,2001
36. Παπαδόπουλος Άγις (Επιστημονικός Υπεύθυνος),« Προδιαγραφές ιδιοτήτων θερμομονωτικών υλικών», Παραδοτέο έργου «Σχεδιασμός & Ανάπτυξη Καινοτόμων Προϊόντων Πετροβάμβακα για την Ενεργειακή Αναβάθμιση Υφισταμένων & Νεόδμητων Κτιρίων»,(2004)
37. California Environmental Protection Agency, Integrated Waste Management Board «Deconstruction Training Manual- Waste Management (2001)
38. Dolan P.,Lampo R., Dearborn J.,« Concepts for Reuse and Recycling of Construction and Demolition Waste», USACERL Technical Report 97/58,(1999)
39. Environmental Protection Agency, «Construction and Demolition (C& D) Debris»,URL:<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/debris-new/index.htm> (2006)
40. Fatta, D.,Papadopoulos, A.,Avramikos, E.,Sgourou , E., Moustakas, K., Kourmoussis, F., Mentzis ,A. and Loizidou, M., «Generation and management of construction and demolition waste in Greece- An existin challenge», Resources, Conservation and Recycling.40,pp.81-91,(2003)
41. Hendriks CF, Pietersen HS.,«Sustainable raw materials :construction and demolition waste», Cachan Cedex, France , RILEM Publication,(2000)



42. Montecinos, W., Holda, A., « Construction and Demolition waste management in Denmark. Example of brick, wood, treated wood and PVC management», COWAM Project Report,(2006)
43. Moussiopoulos N., Papadopoulos A., Iakovou E., Achillas H.,Aidonis D., Anastaselos D .and Baniias G., «Legislative framework on Construction and Demolition waste management»,1st International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics, Skiathos, pp.1569-1575,(2007)
44. Tam V., Tam C.,«A review on the viable technology for construction waste recycling», Resources, Conservation and Recycling 47, pp.209-221.(2006)
45. NSSG, National Statistical Service of Greece. Evaluation of the generated quantity of construction and demolition waste in Greece, Athens, Greece, 1999.
46. EEA, European Topic Centre on Waste. Review of selected waste streams: Sludge, construction & demolition waste, waste oils, waste from coal fired power plants and biodegradable municipal waste, Technical Report 69, Copenhagen, Denmark, 2001
47. Koliopoulos T. Sustainable solutions for the most pressing problem within solid waste management. International Solid Waste Association Times Journal, Copenhagen Denmark 1999;3:21–4
48. EC, European Community.Sixth Environment Action Programme of the 2001-2010 (Sixth EAP ): Environment 2010 :Our choice, Brussels, Belgium,2001
49. EC, European Commission Management of construction and demolition waste. Directorate –General Environment Brussels, Belgium,2000
50. Poon CS, Yu TW, Wong SW. Minimization of building waste in Hong Kong public housing projects. International Conference: Appropriate environmental and solid waste management and technologies for developing countries. International Solid Waste Association, Istanbul, 8–12 July 2002, vol. 1, pp. 515–524.
51. Seemann, A., Schultmann, F.& Rentz, O.(2002) Cost-effective deconstruction by a combination of dismantling, sorting and recycling processes. In :Chini, A.R. & Schultmann, F. (eds): Design for Deconstruction and Materials Reuse , Proceedings of the CIB Task Group 39 – Deconstruction Meeting, CIB Publication 272, Cambridge, UK.
52. Symonds Group Ltd. (ed), ARGUS, (1999) Consulting Engineers and Planners and PRC Bouwcentrum.. Report to DGXI : Construction and Demolition Management Practices and their Economic Impacts, Symonds Group, Brussels, Belgium.
53. Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (Α.Ε.Κ.Κ.). Ελληνική Δημοκρατία Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης." Ανατολική Α.Ε' .
54. Brunner, P.H. & Stampfli, D.M. (1993) Material balance of o construction waste sorting plant. Waste Management& Research, 11, 27-48.
55. Peng, C.L., Scorpio, D.E.& Kibert, C.J.(1997) Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. Construction Management and Economics, 15, 49-58.
56. Huang, W.L., Lin, D.H., Chang, N.B. & Lin, K.S.(2002) Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. Resources, Conservation and Recycling, 37, 23-37
57. Pasxali, K., Tsompanidis, X., Kikaire, S., Xalikia, A., Alaveras, P., Lolos, G., Lolos, T.,Raptis, K.,Louka, G.& Grammatikos, V.(2005) Tecno economic study report of the national Cypriot project:" Provision of consultant services for the prepaation of

- environmental, land planning, techno economic and feasibility study of the construction of integrated C&D waste management facilities at the municipalities of Leukosia, Larnaka and Ammoxostos".
58. Kartam, N., Al-Mutairi, N., Al-Ghusain, I.& Al-Humoud, J. (2004): Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*, 24, 1049-1059.
  59. Poon, C.S., Yu, A.T.W., Wong, S.W.& Cheung, E. (2004b) Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong. *Construction Management and Economics*, 22, 675-689.
  60. John ,V.M., Angulo, S.C.,Miranda, L.F.R., Agopyan, V.& Vasconcellos, F. (2004) Strategies for innovation in construction demolition waste management in Brazil. In CIB World Building Congress, Toronto/ Canada [available at : [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/strategies\\_john%20et%20al.PDF](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/strategies_john%20et%20al.PDF)].
  61. Poon, C.S., Yu, A.T.W.& Ng, L.H.(2001) On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, 32, 157-172
  62. B. Kourmpanis,A. Papadopoulos, K.Moustakas, M.Stylianou, K.J. Haralambous and M.Loizidou." Waste Management & Research. Preliminary study for the management of construction and demolition waste",2008
  63. E.Buchinger, H. Fegerl, E. Fugger , (2000), "Regulation and innovation in the recycling industry", Institute for prospective technological studies, Seville, p. 53-107
  64. TEE, (1995), "Συντήρηση και αποκατάσταση οδοστρωμάτων", σ. 1-15
  65. Aggregates Advisory Service, (1995), "Ex situ Road Recycling", Digest no 060, p. 1-3
  66. Aggregates Advisory Service, (1995), "In situ Road Recycling", Digest no 056, p. 1-4
  67. Council Decision 94/904/EC of 22 December 1994 establishing a list of hazardous waste pursuant to Article 1(4) of Council Directive 91/689/EEC on hazardous waste.
  68. Council Directive 91/689/ EEC of 12 December 1991 on hazardous waste.
  69. [www.minenv.gr/anakyklosi](http://www.minenv.gr/anakyklosi)
  70. S.Suresh, D. Arivuoli "Synthesis and Characterization of Pb<sup>+</sup> Doped MgO Nanocrystalline Particles ", Crystal Growth Centre, Anna University, Chennai-600 025, India.
  71. McKenna, Phil (25 September 2010 (updated 1 October 2010)). "Emission control: Turning carbon trash into treasure". *New Scientist* 2779: 48–51. Retrieved 4 Oct 2010.
  72. Merck Index of chemicals and Drugs ,9th edition monograph 1650
  73. Iler, R.K. (1979). *The Chemistry of Silica*. Plenum Press. ISBN 0-471-02404-X.
  74. Lynn Townsend White, Jr. (1961). "Eilmer of Malmesbury, an Eleventh Century Aviator: A Case Study of Technological Innovation, Its Context and Tradition". *Technology and Culture (Society for the History of Technology)* 2 (2): 97–111. DOI:10.2307/3101411.JSTOR 3101411.

75. "Alumina (Aluminium Oxide) – The Different Types of Commercially Available Grades". The A to Z of Materials. Archived from the original on 10 October 2007. Retrieved 2007-10-27.
76. G. Paglia (2004). "Determination of the Structure of  $\gamma$ -Alumina using Empirical and First Principles Calculations Combined with Supporting Experiments.
77. Μ. Όξενκιουν – Πετροπούλου, « Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης – Οπτικές Μέθοδοι », εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997, σελ.56-76.
78. Νικολάου Ε. Αλεξάνδρου, « Γενική Οργανική Χημεία (Δομή, Φάσματα, Μηχανισμοί)», Τεύχος Β', Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1994.
79. Dudkey H. Williams & Ian Fleming , "Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie", Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1971 , p.41-73.
80. S.Suresh, D.Arivuoli , "Synthesis and Characterization Of  $Pb^{+}$  Doped MgO Nanocrystalline Particles, Crystal Growth Centre, Anna University, Chennai -600025, India.
81. Deepika Kandpal, Suchita Kalele and S K Kulkarni,"Synthesis and characterization of silica-gold core –shell ( $SiO_2@Au$ ) nanoparticles " .
82. Madani A.(1990).  $^{29}Si$  and  $^{27}Al$  NMR study of zeolite formation from alkali-leacher kaolinites .Influence of thermal preactivation, J. Phys. Chem.94, 760-765.
83. Bakharev T. (2005b). Resistance of geopolymer materials to acid attack, Cement and Concrete Research 35, 658-670.
84. Socrates G. (2001). Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies, John Wiley& Sons Ltd, 3<sup>rd</sup> edition , England.
85. Bass J.L. and G.L. Turner (1997). Anion distributions in sodium silicate solutions. Characterization by  $^{29}Si$  NMR and infrared spectroscopies, and vapor phase osmometry, J Phys Chem B 50, 10638-10644.
86. J.A. Gadsden, Infrared Spectra of Minerals and Related Inorganic Compounds, Butterworths, London, 1975.(CaO)
87. R. R. Koropecki and R. Arce, J. Appl, Phys.60 (1986) 1802.( $SiO_2$ )
88. F. Chávez Ramirez,"Obtencion de Peliculas de Dioxido de Silicio, con Agregados de Silicio en un Sistema de Deposito Quimico en Fase Vapor Asistido por un Filamento Caliente", Tesis de Doctorado, Ing. Electrica, CINVESTAV-IPN, 2003.
89. H.Yorikawa and S.Muramatsu, J.LUMINSCENCE 87-89 (2000) 423.
90. Anna Adamczyk , Elizbieta Dlugon "The FTIR studies of gels and thin films of  $Al_2O_3$ - $TiO_2$  and  $Al_2O_3$ - $TiO_2$ - $SiO_2$  systems".

91. Rees C.A., J.L. Provis, G.C. Lukey and J.S.J. Van Deventer (2007). Attenuated total reflectance fourier transform infrared analysis of fly ash geopolymer gel aging, *Langmuir* 23, 8170-8179.
92. Mollah Y.M., T.R. Hess, Y-N Tsai and D.L. Cocke (1993). FTIR and XPS investigations of the effects of carbonation on the solidification /stabilization of cement based system-Portland type V with zinc, *Cement Concrete Res* 23(4), 773-784.
93. Barbosa V.F.F., K.J.D. Mackenzie and C. Thaumaturgo (1999). Synthesis and characterisation of sodium polysialate inorganic polymer based on alumina and silica', In Proceedings of the 2nd International Conference Geopolymere '99, Saint-Quentin, France, 65–77.
94. Barbosa V.F.F., K.J.D. MacKenzie and C. Thaumaturgo (2000). Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers, *Int. J. Inorg. Mater.* 2, 309-317.

## **Βιογραφικό σημείωμα**

### **ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Όνοματεπώνυμο: **Ναυσικά Κεφαλά**

e-mail: **nafsika\_ylika@hotmail.com**

Τηλ : 6947205425

Εκπαίδευση:

2010 - σήμερα	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο MSc: Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών
2003- 2010	Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων Σχολή Μηχανικός Επιστήμης των Υλικών, βαθμός διπλώματος 6,56/10 (Λίαν καλώς)
2000-2003	3 <sup>ο</sup> Ενιαίο Λύκειο Κορίνθου , Απολυτήριο, Μέσος Όρος 16,7/20 (Λίαν καλώς)

**Εργασίες Μελέτες :**

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μεταπτυχιακή Εργασία

«Παραγωγή συνθέτων υλικών εποξειδικής ρητίνης –ανόργανων δομικών υλικών προερχομένων από ανακύκλωση»

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Διπλωματική Εργασία

«Η επίδραση του αερακτικού σε συνδυασμό με παρουσία του γραμμικού επιβραδυντή στα κονιάματα τοιχοποιίας»

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργασία σε συνεργασία με τον Δρ. καθηγητή Ουζούνογλου

«Μελέτη επίδρασης αιολικού πάρκου στη θέση Γκουρί Μέλες –Κιάφα- Βέρμι – Μπουζουρέζα- Αστροπελέκι του Δήμου Μάνδρας στα ραντάρ αεράμυνας στην περιοχή Αιγάλεω»

**Επαγγελματική**

**Εμπειρία:**

Πρακτική : Δ/νση Τεχνικών Υπηρεσιών Γραφείο Εργαστηρίου Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κορινθίας

**ΗΜΕΡΙΑΔΕΣ:**

« Οι Μη Καταστροφικές Μέθοδοι – Εργαλείο για τον Έλεγχο Ποιότητας των Έργων»

«Νέες Εξελίξεις στην Τεχνολογία και στο Κανονιστικό πλαίσιο για το Οπλισμένο Σκυρόδεμα στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία»

**Πρόσθετες**

**Πληροφορίες :**

**ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ:**

- Αγγλικά Απόκτηση του F.C.E. (First Certificate in English) of Edexcel Έτος απόκτησης: 2007
- Προετοιμασία για εξέταση στο E.C.P.E. (Certificate in Proficiency in English) Περίοδος: Σεπτέμβριος 2012 – σήμερα

**ΧΡΗΣΗ Η/Υ:**

- Βεβαίωση Πανεπιστημίου
- AutoCAD

**Επιπλέον Στοιχεία :**

Κάτοχος διπλώματος οδήγησης Β' κατηγορίας