



ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΗΜΙΚΑΣ ΕΝΕΜΕΝΗΣ ΑΜΜΟΥ
DYNAMIC PROPERTIES OF CHEMICALLY GROUTED SAND

Μάρκου Ελευθερία
Σουλτανίδου Νικολέτα

Επιβλέπων καθηγητής: Κος Αναγνωστόπουλος Κωνσταντίνος

Σίνδος
Απρίλιος 2019

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή μας Κ. Αναγνωστόπουλο Κωνσταντίνο, για την καθοδήγηση του σε όλη την διάρκεια της ερευνάς και την αμέριστη συμπαράσταση του στην εκπόνηση της εργασίας, αλλά και το τμήμα μας Πολιτικών Μηχανικών το οποίο συνεχίζει να κάνει το έργο του προς του φοιτητές του και την κοινωνία, παράλες τις δυσκολίες που συναντά.

Ευχαριστούμε πολύ!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία «Δυναμικές Ιδιότητες Χημικά Ενεμένης Άμμου» στοχεύει στην παροχή γνώσεων, που απαιτούνται στον τομέα της ενίσχυσης εδαφών. Οι στόχοι αυτής της μελέτης είναι να ποσοτικοποιηθούν πειραματικά οι μεταβολές στις ιδιότητες του ενέματος και της άμμου με το χρόνο σκλήρυνσης, για την αξιολόγηση των συνεισφορών τους αλλά και για την συνολική συμπεριφορά τους. Η ανάπτυξη σχέσεων αντοχής τόσο για το ενέματα όσο και για την άμμο κάτω από συνθήκες φόρτωσης, και τέλος η χρήση των ιδιοτήτων των συστατικών στη διαμόρφωση του προτύπου για την πρόβλεψη της απόκρισης της ενεμένης άμμου. Απαρτίζεται από την πειραματική έρευνα στις φυσικές και δυναμικές ιδιότητες χημικά ενεμένης άμμου με υδατοδιαλυτή εποξειδική ρητίνη και τις θεωρητικές πληροφορίες των επιμέρους υλικών – ρητίνη, μπετονίτης.

Το περιεχόμενο χωρίζεται σε 6 κεφάλαια, που το καθένα έχει τη δική του ιδιαιτερότητα:

- Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρει θεωρητικές πληροφορίες για την κατηγορία των ρητινών, και ιδιαιτέτως της εποξειδικής ρητίνης, που περιλαμβάνει τη χημεία των ρητινών, τα γενικά τους χαρακτηριστικά, επισκευές ρωγμών σε σκυρόδεμα και εφαρμογές.
- Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει θεωρητικές πληροφορίες για τον Μπετονίτη.
- Το τρίτο κεφάλαιο αναλύει κοκκομετρικές άμμου
- Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελείται από την πειραματική διαδικασία. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην παραγωγή των δοκιμίων, τη συντήρηση, αλλά και στις διάφορες δοκιμές στις οποίες υποβλήθηκαν.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών, στις οποίες καταπονήθηκαν τα δοκίμια.

Περιλαμβάνονται αναλυτικοί πίνακες και διαγράμματα από κάθε δοκιμή.

Αναλύεται επίσης η πειραματική διαδικασία και τα αποτελέσματα της, μέσω πινάκων και διαγραμμάτων.

ABSTRACT

The present study "Dynamic Properties of Chemically Grouted Sand" aims to provide the knowledge required in the area of soil reinforcement. The objectives of this study are to experimentally quantify the changes in the properties of the grout and the sand with the cure time, to evaluate the contribution of the sand and the inclusions and its overall behavior, to develop endurance "relationships" for both grout and sand under loading conditions and the use of the properties, of the components in the pattern formulation to predict the response of the injected sand.

The study consists of experimental research on the physical and mechanical properties of chemically injected sand with water-soluble epoxy-resin and the theoretical information of the individual materials - resin, bentonite.

The content is split into 6 chapters, each of which has its own particularity:

- The first chapter reports the theoretical information on the category of resins, and in particular epoxy-resin, which includes resin chemistry, general characteristics, concrete crack repairs and applications.
- The second chapter contains theoretical information on Bentonite
- The third chapter analyzes sand's granulometry
- The fourth chapter consists of the experimental process.

Particular reference is made to the production of specimens, maintenance, but also to the various tests they have undergone.

➤ The fifth chapter presents the results of the tests in which the samples that were stressed. Detailed tables and charts of each test are included and also the experimental process and its results are analyzed through tables and diagrams.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΡΗΤΙΝΕΣ

1.1. Ιστορική αναδρομή.....	9
1.2. Χημεία των ρητινών.....	9
1.2.1. Ταξινόμηση πολυμερών.....	10
1.2.2. Παραγωγή και σκλήρυνση εποξειδικής ρητίνης.....	16
1.3. Κατηγορίες ρητινών.....	18
1.3.1. Εφαρμογές.....	19
1.4. Γενικά χαρακτηριστικά των εποξειδικών ρητινών.....	22
1.4.1. Ορισμός των εποξειδικών ρητινών.....	22
1.4.2. Φυσικές ιδιότητες των εποξειδικών ρητινών.....	23
1.4.3. Χημικές ιδιότητες των εποξειδικών ρητινών.....	23
1.4.4. Διαλυτότητα των εποξειδικών ρητινών.....	23
1.4.5. Ανθεκτικότητα των εποξειδικών ρητινών.....	24
1.4.6. Ιξώδες των εποξειδικών ρητινών.....	24
1.5. Χρήσεις εποξειδικών ρητινών.....	24
1.5.1. Ιστορικό χρήσης εποξειδικών ρητινών.....	24
1.5.2. Οι βασικές εφαρμογές στις εποξειδικές ρητίνες.....	25
1.5.3. Περιπτώσεις χρήσης εποξειδικών ρητινών.....	26
1.5.4. Άλλες χρήσεις των εποξειδικών ρητινών.....	26
1.5.5. Γιατί εποξειδική ρητίνη;.....	26
1.6. Τρόπος ελέγχου των εποξειδικών ρητινών.....	27
1.6.1. Συσκευασία των εποξειδικών συγκολλητικών μέσων.....	27
1.6.2. Αποθήκευση εποξειδικών ρητινών.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΠΕΤΟΝΙΤΗΣ

2.1. Εισαγωγή.....	28
2.2. Παραγωγή και εξαγωγές μπεντονίτη.....	29
2.3. Παρουσία κοιτασμάτων μπεντονίτη στην Ελλάδα.....	29
2.4. Γενικά χαρακτηριστικά μπεντονίτη.....	29
2.5. Ιδιότητα και χρήσεις μπεντονίτη/ μοντιμοριλλονίτη.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΙΔΗ ΕΛΑΦΩΝ

3.1. Εισαγωγή.....	32
3.2. Χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα εδάφη.....	33
3.2.1. Γενικές κατηγορίες εδαφών.....	36
3.2.2. Χονδρά και λεπτά κλάσματα.....	37
3.2.3. Ορυκτολογική σύνθεση.....	37
3.2.4. Μεγέθη κόκκων.....	38
3.2.5. Σχήμα κόκκων.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΜΜΟΣ

4.1 Εισαγωγή.....	44
4.2 Κοκκομετρίες άμμου κατά την περαματική διαδικασία.....	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1. Υλικά και Παρασκευή δοκιμίων.....	48
5.1.2 Περιγραφή της διαδικασίας.....	52
5.2. Μέτρα Ατομικής Προστασίας.....	57
5.2.1. Προειδοποιητική σήμανση.....	58
5.2.2. Κουτί πρώτων βοηθειών.....	59
5.3. Εργαστηριακές δοκιμές.....	61
5.3.1. Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.....	61
5.3.2. Δοκιμή τριαξονικής θλίψης.....	63
5.4. Συμπεράσματα.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1. Γενικά.....	67
6.2. Δοκιμή τριαξονικής θλίψης.....	67
6.3. Συμπεράσματα.....	86

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
--------------------------	-----------

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ/ ΠΙΝΑΚΩΝ/ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Κεφάλαιο 1

- Σχήμα 1.1: Κατηγορίες πολυμερών.
- Σχήμα 1.2: Διδραστικό μόριο και εκκινητής.
- Σχήμα 1.3: Σχηματική αναπαράσταση αντίδρασης διαμίνης με τους οξιρανικούς δακτυλίους μακρομορίων.
- Σχήμα 1.4: Δομή εποξειδικής ρητίνης.
- Σχήμα 1.5: Μορφή μη τροποποιημένης εποξειδικής ρητίνης.

Κεφάλαιο 2

- Εικόνα 2.1: Μπετονίτης σε μορφή πετρώματος.
- Εικόνα 2.2: Κρυσταλλική δομή μοντμοριλλονίτη.
- Πίνακας 2.3: Χημική ανάλυση του ζενίθ του μπετονίτη.
- Πίνακας 2.4: Συσσωρευτική δομή μεγέθους σωματιδίων.

Κεφάλαιο 3

- Σχήμα 3.1: Απεικόνιση της δομής των κόκκων του εδάφους.
- Σχήμα 3.2: Διατομή (δομή) αργιλικών πλακιδίων.
- Σχήμα 3.4: Ηλεκτρικά φοορτία στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων.
- Πίνακας 3.5: Ορυκτολογική σύνθεση ορυκτών που σχηματίζουν το έδαφος.
- Σχήμα 3.6: Κύριοι εδαφικοί οριζόντες.
- Πίνακας 3.7: Ταξινόμηση εδαφών με βάση την κοκκομετρία.
- Σχήμα 3.8: Ο διαχωρισμός των εδαφών σε αργιλώδη, ιλώδη, αμμώδη.
- Πίνακας 3.9: Ταξινόμηση εδαφών με βάση το ενιαίο σύστημα.
- Σχήμα 3.10: Έξι διαφορετικοί τύποι διάταξης σφαιρικών κόκκων με την ίδια διαμέτρο.

Κεφάλαιο 4

- Εικόνα 4.1: Φυσική άμμος.
- Πίνακας 4.2: Διάγραμμα διέλευσης κόκκων άμμου. Άξονας X: μέγεθος κόκκων.
Άξονας Y: Ποσοστο διέλευσης

Κεφάλαιο 5

- Εικόνα 5.1.1: Γαλλική άμμος.

- Εικόνα 5.1.2: Εμπορική συσκευασία υδατοδιαλυτής εποξειδικής ρητίνης (Συστατικό Α).
- Εικόνα 5.1.3: Εμπορική συσκευασία σκληρυντή (Συσκευασία Β).
- Εικόνα 5.1.4: Πόσιμο νερό από το δίκτυο του ΑΤΕΙΘ.
- Εικόνα 5.1.5: Ογκομετρικός κύλινδρος.
- Εικόνα 5.1.6: Ζυγαρία ακριβείας 0,1γρ.
- Εικόνα 5.2.1: Μήτρες δοκιμίων από σωλήνες τύπου PVC.
- Εικόνα 5.2.2: Γράσσο γενικής χρήσης.
- Εικόνα 5.2.3: Μήτρες δοκιμίων με την επάλειψη τους με γράσσο.
- Εικόνα 5.2.4: Σταδιακή ρήξη νερού στο δοχείο του αναδευτήρα.
- Εικόνα 5.2.5: Σταδιακή ρήξη εποξειδικής ρητίνης στο δοχείο του αναδευτήρα.
- Εικόνα 5.2.6: Ανάδευση των συστατικών στον αναδευτήρα πολλών στροφών.
- Εικόνα 5.2.7: Λιμνάζων νερό στην επιφάνεια των δοκιμίων.
- Εικόνα 5.2.8: Φαινόμενο διαρροής υγρού κατά την διάρκεια σκλήρυνσης μείγματος.
- Εικόνα 5.3.1: Μάσκα για την προστασία προσώπου.
- Εικόνα 5.3.2: Γάντια για την προστασία χεριών.
- Εικόνα 5.3.3: Σήμανση υποχρεωτικής συμπεριφοράς, απαγόρευσης, κινδύνου.
- Εικόνα 5.3.4: Προειδοποιητική πινακίδα κινδύνου.
- Εικόνα 5.3.5: Πινάκιδα κινδύνου.
- Εικόνα 5.3.6: Πινάκιδα προειδοποίησης ηλεκτροπληξίας.
- Εικόνα 5.3.7: Κουτί πρώτων βοηθειών.
- Εικόνα 5.4.1: Τρόπος αστοχίας δοκιμίων σε θλιπτικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 6

- Πίνακας 6.1 – 6.21: Πίνακες αποτελεσμάτων
- Διάγραμμα 6.1.1 – 6.21.1: Διαγράμματα δοκιμίου θλιπτικής τάσης-παραμόρφωσης και θλιπτικής τάσης - σύνολο κύκλων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΡΗΤΙΝΕΣ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η λέξη «εποξειδική» προέρχεται από δύο ελληνικές λέξεις, το πρόθεμα -επί, που σημαίνει “πάνω” και την λέξη οξύ, που σημαίνει όξινο/ όξυς. Πολυεποξειδίο ή και εποξύ είναι ένα θερμοσκληρόμενο πολυμερικό εποξειδίο, το οποίο πήζει όταν αναμειγνύεται με ένα καταλυτικό παράγοντα, τον “σκληρυντή”. Λόγω των ιδιοτήτων τους, βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στη βιομηχανία και μία από τις διαδεδόμενες εφαρμογές τους είναι η χρήση τους ως μήτρες στα συνθετικά υλικά.

«Οι εποξειδικές ρητίνες είναι υλικά τα οποία έρχονται στο εργοτάξιο σε συσκευασίες δύο συστατικών, το Α (ρητίνη) και το Β (σκληρυντής). Τα υλικά αυτά αναμειγνύονται πριν από την τελική τους χρήση και μετά την εφαρμογή τους δημιουργούν μια ισχυρή σύνδεση των παρειών της ρωγμής.

Χρησιμοποιούνται επίσης όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε οπλισμούς σε παλαιό σκυρόδεμα π.χ. βλήτρα σε μαנדύες ή αναμονές, ή να συνδεθεί παλαιό σκυρόδεμα με νέο νωπό σκυρόδεμα, ώστε η επιφάνεια τους να συγκολληθεί. Η χρήση τους στις παραπάνω εφαρμογές είναι μεγάλη. Απαιτείται όμως προσοχή στον τρόπο εφαρμογής τους, ώστε να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Η χρήση των εποξειδικών ρητίνων είναι ιδιαίτερα αυξημένη στις επεμβάσεις κυρίως για την αποκατάσταση ρωγμών αλλά και για άλλες εφαρμογές. Η τεχνική της ρητινένεσης απαντάται κυρίως στον φέροντα οργανισμό κατασκευών από σκυρόδεμα και στις τοιχοποιίες. Στοχεύει στην επανάκτηση της αρχικής φέρουσας ικανότητας ρηγματωμένων φορέων καθώς και της αστοχίας τους»

1.2 ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Πολυμερές ή μακρομόριο ονομάζεται ένα σύνθετο μόριο το οποίο αποτελείται από επαναλαμβανόμενες μικρές δομικές μονάδες συνδεδεμένες μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Ο όρος “μακρομόριο” ή “πολυμερές” υιοθετείται για μόρια με περισσότερες από δέκα δομικές μονάδες ενώ τα μόρια με λιγότερα από δέκα δομικές μονάδες ονομάζονται ολιγομερή.

Το μόριο του πολυμερούς είναι συνήθως επίμηκες γραμμικό σαν αλυσίδα και υπάρχει ένα τμήμα του, που επαναλαμβάνεται το οποίο και χαρακτηρίζεται ως “επαναλαμβανόμενη μονάδα”. Η επαναλαμβανόμενη μονάδα χρησιμοποιείται για το χημικό συμβολισμό του πολυμερούς.

Οι αντιδράσεις για το σχηματισμό των πολυμερών χαρακτηρίζονται ως αντιδράσεις πολυμερισμού και διακρίνονται σε δύο κύρια είδη:

- 1) Αντιδράσεις **πολυπροσθήκης**, ή αλυσιδωτού πολυμερισμού.
- 2) Αντιδράσεις **πολυσυμπύκνωσης**.

Τα πολυμερή που παράγονται χαρακτηρίζονται ως πολυμερή αλυσιδωτού πολυμερισμού ή πολυμερή συμπύκνωσης αντίστοιχα.

Σύνθετα πολυμερικής μήτρας

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα σύνθετα με τις περισσότερες εφαρμογές. Για την παρασκευή τους, συνήθως, χρησιμοποιούνται θερμοπλαστικές ή θερμοσκληρυνόμενες πολυμερικές μήτρες. Οι θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες πολυμερίζονται σε θερμοκρασίες δωματίου και οι ιδιότητες τους βελτιώνονται στις υψηλές θερμοκρασίες.

Οι μήτρες ακόρεστου πολυεστέρα ήταν ο πρώτος τύπος θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς που χρησιμοποιήθηκε και παραμένουν ακόμη και σήμερα ιδιαίτερα δημοφιλείς λόγω του χαμηλού κόστους τους, ειδικά εφόσον ενισχυθούν με ίνες γυαλιού. Ένας άλλος τύπος θερμοσκληρυνόμενου είναι οι εποξειδικές ρητίνες.

Ο όρος εποξειδική ρητίνη αναφέρεται σε μια κατηγορία πολυμερών που παρασκευάζονται από ένα εποξειδικό μονομερές με μια διαδικασία δύο σταδίων. Στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας δύο μονομερή, ένα εποξειδικό και ένα μη εποξειδικό, αντιδρούν σχηματίζοντας ένα προπολυμερές χαμηλού μοριακού βάρους, το οποίο έχει μορφή παχύρρευστου υγρού.

Στο δεύτερο στάδιο (πολυμερισμός) το προπολυμερές αντιδρά με το τρίτο συστατικό (σκληρυντής) και αποκτά δομή πλέγματος. Οι ρητίνες αυτές δεν απορροφούν νερό, δεν συρρικνώνονται ιδιαίτερα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκρασίες μέχρι 1600 C. Τέλος, ένας ακόμη τύπος θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς είναι τα πολυιμίδια. Τα πολυιμίδια παρουσιάζουν εξαιρετική θερμοκρασιακή ανθεκτικότητα με κύριο μειονέκτημα την απορρόφηση νερού, η οποία τα καθιστά εύθραυστα.

Είδος Μήτρας	:Εποξειδική ρητίνη
Πυκνότητα (Kg/m³)	: 1.1-1.4
Μέτρο ελαστικότητας Young (GPa)	: 3-6
Εφελκυστική αντοχή (GPa)	: 0.035-0.1

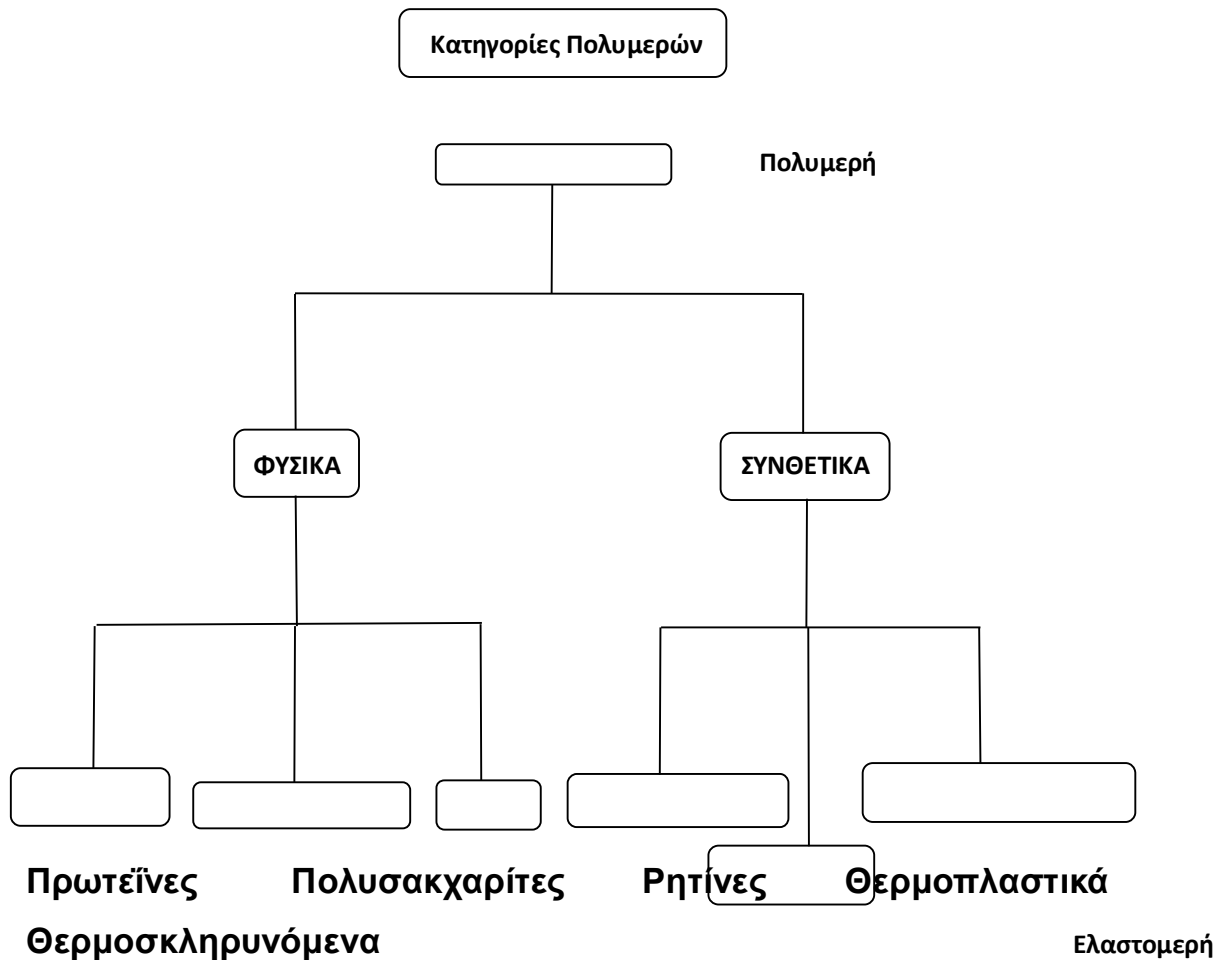
1.2.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Τα πολυμερή διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.1. Η πρώτη κατηγορία είναι τα φυσικά πολυμερή, τα οποία με τη σειρά τους χωρίζονται σε :

- πρωτεΐνες
- πολυσακχαρίτες
- ρητίνες

Η δεύτερη μεγάλη κατηγορία είναι αυτή των συνθετικών πολυμερών. Αυτά με τη σειρά τους διαιρούνται σε:

- θερμοπλαστικά
- ελαστομερή
- θερμοσκληρυνόμενα



Σχήμα 1.1: Κατηγορίες Πολυμερών

Οι ενώσεις από τις οποίες προέρχονται τα πολυμερή ονομάζονται μονομερή και διαφέρουν μαζί με τις δομικές μονάδες (ή μονομερικά στοιχεία) είτε στον τρόπο συνδέσεως των ατόμων τους είτε στον αριθμό των ατόμων τους. Ο αριθμός των μονομερών στοιχείων του μακρομορίου ονομάζεται βαθμός πολυμερισμού και δίδεται από την σχέση (1.1):

$$\text{Βαθμός πολυμερισμού} = \frac{\text{Μοριακό βάρος πολυμερούς στοιχείου}}{\text{Μοριακό βάρος μονομερούς στοιχείου}}$$

Τα πολυμερή, όπως προαναφέρθηκε, ταξινομούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες :

- 1) Στα **φυσικά** πολυμερή και
- 2) Στα **συνθετικά** πολυμερή

Τα **συνθετικά** πολυμερή μπορούν επίσης να διαιρεθούν βάσει:

- 1) Της **χημικής** δομής

- 2) Της **θερμικής** συμπεριφοράς
- 3) Της **χρηστικής** ιδιότητας

Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών βάσει της χημικής δομής

Τα πολυμερή βάσει της χημικής δομής διαιρούνται σε δυο κατηγορίες:

- 1) Στα **ομοιοπολυμερή** (ή απλώς πολυμερή) τα οποία προέρχονται από την επανάληψη μιας και μόνης δομικής μονάδας .
- 2) Στα **συμπολυμερή** τα οποία προέρχονται από την επανάληψη δύο ή περισσότερων δομικών μονάδων.

Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών βάσει της θερμικής συμπεριφοράς

Τα συνθετικά πολυμερή βάσει της θερμικής συμπεριφοράς , διαιρούνται σε :

- i. **Θερμοπλαστικά** (ή πολυμερή) πολυμερή τα οποία μαλακώνουν και επομένως μπορούν να μορφοποιηθούν με θέρμανση πάνω από μια ορισμένη για κάθε πολυμερές θερμοκρασία, η οποία ονομάζεται θερμοκρασία υαλώδους μετατοπίσεως t_g (glass transition temperature). Όταν ψυχθούν, τα θερμοπλαστικά πολυμερή ανακτούν τις αρχικές τους ιδιότητες. Θεωρητικά μπορούν να μορφοποιηθούν με θέρμανση άπειρες φορές διότι δεν μεταβάλλεται η χημική τους δομή. Αποτελούνται από γραμμικά μακρομόρια (πχ. Πολυστυρένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο, πολυαιθιλένιο κ.α.). Με θέρμανση μαλακώνουν και μετατρέπονται σε ρευστά, διατηρούν δε την ιδιότητα του να μορφοποιηθούν εύκολα με άσκηση υψηλών πιέσεων. Η ακολουθούσα απόψυξη αποδίδει στερεό υλικό. Η όλη διεργασία είναι αντιστρεπτή. Τα θερμοπλαστικά διατίθενται σε υγρή ή στερεά μορφή, είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία και τους διαλύτες και παράγονται με πολυμερισμό προσθήκης ή συμπύκνωσης.
- ii. **Θερμοσκληρυνόμενα** (ή θερμοσταθερά) πολυμερή τα οποία μεταβάλλουν μη αναστρέψιμα τις αρχικές τους ιδιότητες με θέρμανση πάνω από μια ορισμένη θερμοκρασιακή τιμή, παρουσία συνήθως ορισμένων χημικών ενώσεων. Τα μακρομόρια των πολυμερών αυτών ενώνονται μεταξύ τους με θέρμανση και σχηματίζουν μακρομοριακά πλέγματα. Κατά την αρχική θέρμανση δεν μεταβάλλεται μόνο η σχετική θέση των μακρομορίων, αλλά και η χημική τους δομή.

Χαρακτηριστικά Θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών:

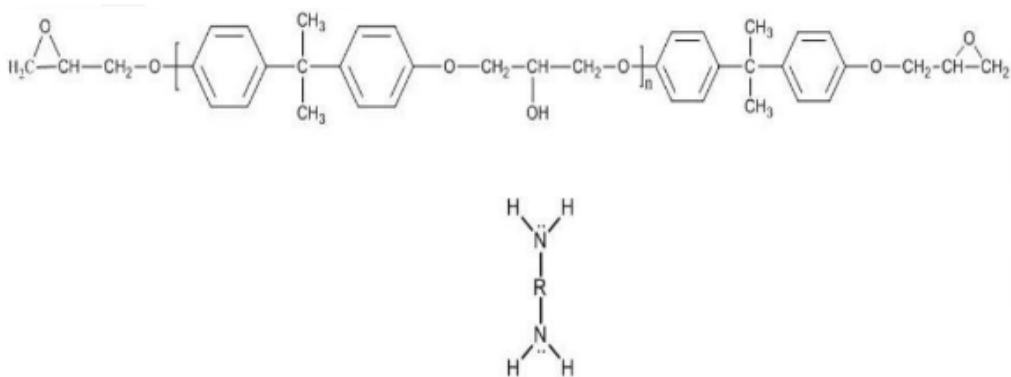
- Πολύ σκληρά
- Ανθεκτικά στην θερμότητα
- Δεν μορφοποιούνται με πλαστικότητα
- Άτηκτα
- Αδιάλυτα

- Διαποτίζονται πολύ λίγο από διαλύτες

- i. **Ελαστομερή** (ή ελαστικά) πολυμερή τα οποία είναι συνήθως γραμμικά πολυμερή με διακλαδισμένες αλυσίδες. Εμφανίζουν την ιδιότητα της υπερελαστικότητας, δηλαδή κατά τον εφελκυσμό επιδέχονται πολύ μεγάλη επιμήκυνση και κατά την αποφόρτιση ταχύτατη πλήρη επαναφορά. Σε πολλά ελαστομερή η διατήρηση της υπερελαστικής συμπεριφοράς διατηρείται σε ευρεία γκάμα αλλαγών θερμοκρασίας και συνθηκών περιβάλλοντος.

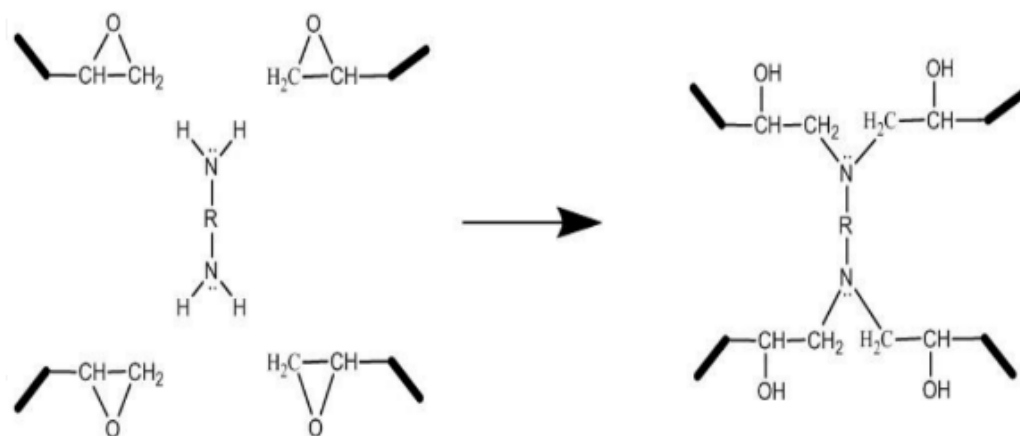
Οι εποξειδικές ρητίνες ανήκουν στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και χαρακτηρίζονται από την παρουσία του οξιρανικού δακτυλίου. Ανάλογα με τον αριθμό των δακτυλίων που βρίσκονται παρόντες στο μόριο, οι εποξειδικές ρητίνες χωρίζονται σε διδραστικές (δυο οξιρανικοί δακτύλιοι), ή πολυδραστικές (τρεις ή περισσότεροι δακτύλιοι). Ο οξιρανικός δακτύλιος αντιδρά με ένα ευρύ φάσμα άλλων οργανικών ενώσεων. Για την ένωση δυο μορίων στα άκρα των οποίων υπάρχει η συγκεκριμένη ομάδα, απαιτείται ένα τρίτο μόριο που ουσιαστικά χρησιμοποιείται ως συνδετικός κρίκος, έτσι ώστε να ξεκινήσει η αντίδραση που οδηγεί στο σχηματισμό ενός τρισδιάστατου δικτύου. Το τρίτο αυτό μόριο ονομάζεται **σκληρυντής** και συνήθως είναι κάποιος διδραστικός ανυδρίτης ή αμίνη. Ενίοτε, χρησιμοποιούνταν και άλλες χημικές ουσίες που ονομάζονται εκκινητές, για να ξεκινήσει ομαλότερα η διαδικασία της αντίδρασης. Οι εποξειδικές ρητίνες που κυκλοφορούν στο εμπόριο αποτελούνται συνήθως από μίγματα μακρομορίων που φέρουν στα άκρα τους τον οξιρανικό δακτύλιο, περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους και συνοδεύονται από συστήματα σκληρυντών και εκκινητών.

Στο **Σχήμα 1.2** φαίνεται ένα διδραστικό μακρομόριο και ένας εκκινητής (διαμίνη). Στα άκρα του μακρομορίου διακρίνονται οι δύο οξιρανικοί δακτύλιοι.



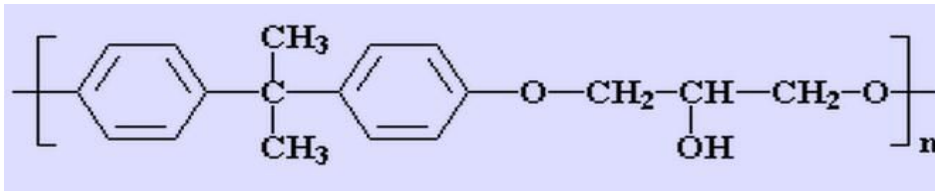
Σχήμα 1.2: Διδραστικό μόριο και εκκινητής (διαμίνη)

Στο **Σχήμα 1.3** παρουσιάζεται η αντίδραση της διαμίνης με τους οξιρανικούς δακτυλίους των μακρομορίων.



Σχήμα 1.3: Σχηματική αναπαράσταση αντίδρασης διαμίνης με τους οξιρανικούς δακτυλίους μακρομορίων

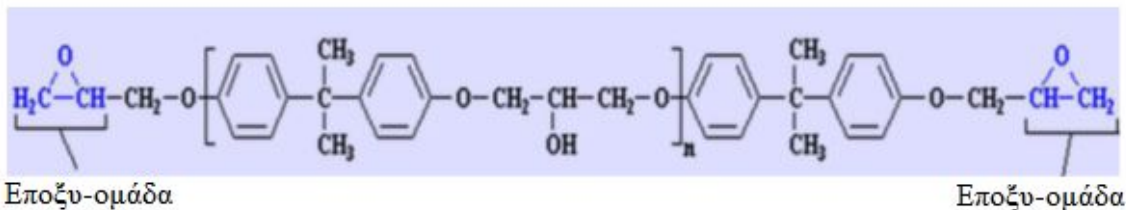
Εποξειδικό ή πολυεποξειδικό είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές. Οι εποξειδικές ρητίνες αποτελούνται από αλυσίδες που έχουν τουλάχιστον δύο επόξυ-ομάδες, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1.4**.



Σχήμα 1.4. Δομή Εποξειδικής Ρητίνης

Από πλευράς σύστασης οι εποξειδικές ρητίνες μπορεί να είναι στερεές ή ρευστές. Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες είναι άκαμπτα, άμορφα στερεά που μοιάζουν με γυαλί. Μελετώντας την δομή των εποξειδικών ρητινών με κάποιο πρόσθετο, όπως σκληρυντή ή πλαστικοποιητή, με την βοήθεια ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, παρατηρούμε ότι οι ρητίνες αποτελούνται από σχεδόν μικρού μεγέθους μακρομόρια τρισδιάστατα διακλαδωμένα δίκτυα ή συσσωματώματα, μέτριου μοριακού βάρους, τοποθετημένα σε ένα πλαίσιο από μόρια μικρού μοριακού βάρους.

Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται η μορφή μιας μη τροποποιημένης εποξειδικής ρητίνης.



Σχήμα 1.5. Μορφή μη τροποποιημένης εποξειδικής ρητίνης

Έποξυ – ομάδα

Βασικό χαρακτηριστικό της αντίδρασης πολυμερισμού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας που πραγματοποιείται στο μίγμα της ρητίνης με τα διάφορα πρόσθετα. Με την έκλυση θερμότητας η αντίδραση πολυμερισμού χαρακτηρίζεται εξώθερμη. Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες παρέχουν σκληρή και αμετάβλητη αντίσταση τριβής και πολύ καλή χημική αντίσταση. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των στερεών εποξειδικών ρητινών σε σχέση με τις υγρές ρητίνες είναι η εύκολη επεξεργασία τους, η μηχανική αντοχή, η υψηλή χημική αντίσταση και το άριστο κολλώδες.

Ένας σημαντικός αριθμός εποξειδικών ρητινών είχε ως αποτέλεσμα το γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης και την ευρεία σε έκταση χρήση τους. Οι κυριότερες ιδιότητες των υγρών εποξειδικών ρητινών είναι οι παρακάτω:

- **Χαμηλή υδροσκοπικότητα**, καλή διαστατική σταθερότητα και ικανοποιητική αντοχή στην επίδραση ύδατος, οξέων, βάσεων και πολλών οργανικών διαλυτών. Είναι υγρά με **χαμηλό ιξώδες**, όπως και τα μίγματά τους με πρόσθετα (πλαστικοποιητές, σκληρυντές), με αποτέλεσμα την εύκολη κατεργασία τους.

- Η επεξεργασία των ρητινών είναι εύκολη και γρήγορη για θερμοκρασίες από **50°C** μέχρι **1500° C** και εξαρτάται από την εκλογή του πρόσθετου.
- Υψηλές μηχανικές ιδιότητες που μπορεί να οφείλονται στη μικρή συστολή τους (με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η παρουσία τάσεων).
- Άριστη **ηλεκτρική μόνωση**.
- 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.
- **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).
- Καλή **χημική αντίσταση** που εξαρτάται από το πρόσθετο που χρησιμοποιείται. Συνολικά οι εποξειδικές ρητίνες έχουν πολύ υψηλή αντίσταση στα καυστικά και καλή έως άριστη στα οξέα.
- **Μικρή συστολή** κατά τον πολυμερισμό και κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους. Αυτή η μικρή συστολή είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τις εποξειδικές ρητίνες.

Άλλες εποξειδικές ρητίνες είναι :

- Διγλυκοδιλαιθέρας της διφαινόλης Α (DGEBRA)
- Τετραγλυκιδιλαιθέρας της διανυλίνης (TGMDA)
- Εποξειδική φαινολοκρεζολικής νεολάκης
- Κυκλοαλειφατικές εποξειδικές (CA)

1.2.2 ΠΑΡΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗΣ ΡΗΤΙΝΗΣ

Οι συνηθέστερες εποξειδικές ρητίνες παράγονται από την αντίδραση επιχλωρυδρίνης και διφαινόλης Α, όπου παράγονται διγλυκιδυλαιθέρες της διφαινόλης Α. Οι εποξειδικές ρητίνες τελικά μετατρέπονται σε θερμοσκληρυμένο προϊόν με την προσθήκη ενός “σκληρυντή” και μπορούν να πολυμερισθούν από ένα ευρύ φάσμα σκληρυντών. Η επιλογή του κατάλληλου σκληρυντή εξαρτάται από τις τεχνικές εφαρμογής, τον απαιτούμενο «χρόνο ζωής σε δοχείο» (pot life), τις συνθήκες σκλήρυνσης και τις επιδιωκόμενες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Στην πράξη τα διάφορα συστήματα εποξειδικής ρητίνης–μέσων σκλήρυνσης τροποποιούνται συνήθως με διάφορα πρόσθετα, τα οποία μπορεί να είναι αδρανή ή δραστικά, δηλαδή να αντιδρούν με την επόξυ-ομάδα .

- Υπάρχει μια μεγάλη ομάδα εταιρειών που αγοράζει πρώτες ύλες από τους κυρίως παραγωγούς και κατόπιν συνθέτουν (αναμιγνύουν, τροποποιούν) εποξειδικά συστήματα από αυτές τις πρώτες ύλες. Οι τροποποιήσεις αυτές μπορούν να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν την εκτέλεση του έργου. Ευρύτερη εφαρμογή έχουν τα αραιωτικά και τα πληρωτικά υλικά .

- Τα *αραιωτικά υλικά*, που μπορεί να είναι δραστικά ή αδρανή, μειώνουν το ιξώδες πολλών εμπορικών εποξειδικών ρητινών με πολύ μεγάλο ιξώδες. Τυπικό παράδειγμα δραστικού αραιωτικού αποτελεί ο φθαλικός διβουτυλεστέρας.
- Τα *πληρωτικά υλικά* έχουν ως κύριο σκοπό να αυξήσουν το βάρος και τον όγκο του τελικού προϊόντος και μ' αυτό τον τρόπο να μειωθεί το κόστος. Συνήθως γίνεται διάκριση σε αγωγή και μη αγωγή πληρωτικά ανάλογα αν αυξάνουν ή όχι την ηλεκτρική αγωγιμότητα της ρητίνης .
- Οι εποξειδικές ρητίνες δεν είναι εύκαμπτα υλικά και ακόμα και με την προσθήκη μεγάλων συγκεντρώσεων πλαστικοποιητή δεν αποκτούν ιδιότητες που να προσεγγίζουν ιδιότητες συνηθισμένων ελαστομερών. Ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο προστίθενται οι *πλαστικοποιητές*, είναι η ελάττωση του έμφυτου εύθραυστου των εποξειδικών ρητινών. Το αποτέλεσμα της προσθήκης του πλαστικοποιητή είναι η αύξηση της δυνατότητας παραμόρφωσης.

1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΗΤΙΝΩΝ

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

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

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

2) **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.

Οι τεχνητές ρητίνες αποτελούνται από μία ευρεία συλλογή πολυμερών:

Σκληρυνόμενες τεχνητές ρητίνες :

- Θερμοσκληρυνόμενες Ρητίνες:** Σκληραίνουν μόνιμα κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού. 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.
- Μονομερείς Ρητίνες Χυτεύσεως :** πολυμεθακρυλικό μεθύλιο

Ρητίνες για βερνίκια , μέσα διαποτίσεως, κόλλες κλπ :

- Θερμοπλαστικές Ρητίνες:** Είναι διαλύματα πτητικών διαλυτών (20-60%) επίσης αραιές υδατικές διασπορές. Τέτοιες είναι το πολυχλωριούχο βινύλιο, πολυοξικό βινύλιο, πολυβινυλική αλκοόλη.
- 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 πολουρεθάνη, 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, ενώ ακόμη ένα

μεγάλο πλεονέκτημα της μεμβράνης είναι και το γεγονός ότι μπορεί να αποκτήσει πολύ μεγάλη αντοχή.

1.3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα εποξειδικά βρίσκουν αξιόλογη χρήση σε εφαρμογές όπως:

➤ **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. 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.

➤ **Συγκολλητικά**

Τα εποξειδικά συγκολλητικά ανήκουν στα συγκολλητικά εκείνα που ονομάζονται «δομικά συγκολλητικά» (που περιλαμβάνουν επίσης πολυουρεθάνες, ακρυλικά, κυανοακρυλικά κλπ.). Τα υψηλών απαιτήσεων αυτά εποξειδικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αεροσκαφών, αυτοκινήτων, ποδηλάτων κλπ όπου απαιτούνται υψηλές αντοχές πρόσφυσης. Τα εποξειδικά συγκολλούν ξύλο, μέταλλο, γυαλί, πέτρα και κάποια 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.

➤ **Βιομηχανικά εργαλεία παραγωγής και σύνθετα υλικά**

Τα εποξειδικά χρησιμοποιούνται για την παραγωγή καλουπιών, μοντέλων, αντικολλητικών φύλλων, στη χύτευση και στη βιομηχανική παραγωγή βοηθημάτων.

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.

➤ **Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα**

Οι εποξειδικές ρητίνες εφαρμόζονται στη βιομηχανία των ηλεκτρονικών, 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**

Τα εποξειδικά πωλούνται σε καταστήματα σιδηρικών, σε σετ δύο συστατικών. Μπορεί όμως να πωλούνται σε καταστήματα με ναυτιλιακά είδη για θαλάσσιες εφαρμογές. Τα εποξειδικά δεν χρησιμοποιούνται ως εξωτερική στρώση ενός σκάφους γιατί επηρεάζονται από τις UV ακτίνες. Συνήθως χρησιμοποιούνται κατά την επισκευή και συναρμολόγηση σκαφών, και κατόπιν επικαλύπτονται από ένα πολουρεθανικό χρώμα ή βερνίκι θαλάσσης που παρέχουν UV προστασία.

➤ **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 .

➤ **Ρητινενέσεις**

Η χρήση των εποξειδικών ρητινών είναι ιδιαίτερα αυξημένη στις επεμβάσεις κυρίως για την αποκατάσταση ρωγμών αλλά και για άλλες εφαρμογές. Η τεχνική της ρητινένεσης απαντάται κυρίως στον φέροντα οργανισμό κατασκευών από σκυρόδεμα και τις τοιχοποιίες. Στοχεύει στην επανάκτηση της αρχικής φέρουσας ικανότητας ρηγματομένων φορέων καθώς και της ακαμψίας τους. Συνιστάται για την προστασία κατά της διάβρωσης του οπλισμού, τη δημιουργία ανθεκτικής σύνδεσης τμημάτων σκυροδέματος και για τη στεγανοποίηση. Τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής έγχυσης εποξειδικών ρητινών είναι:

○

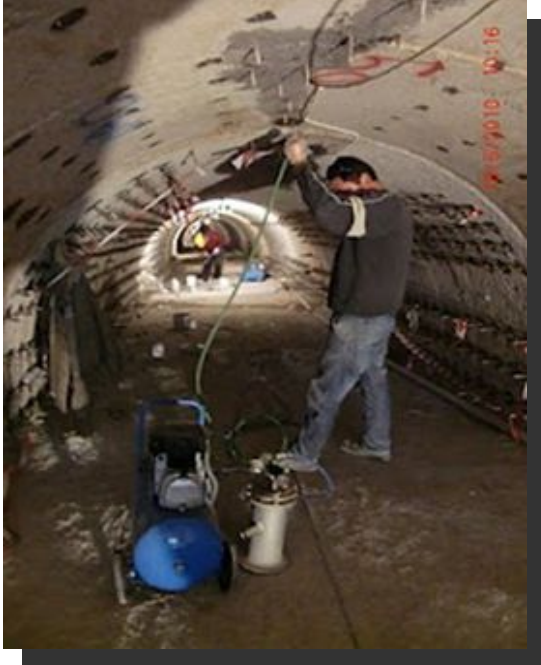
ς υλικό οι εποξειδικές ρητίνες έχουν αντοχή **5-10** φορές μεγαλύτερη από το σκυρόδεμα σε **θλίψη** και **2-6** φορές σε **εφελκυσμό**.

○ Η πρόσφυση με το σκυρόδεμα και το χάλυβα είναι υψηλή.

○ Παρουσιάζουν μικρή συστολή ξήρανσης και μικρό βαθμό ερπυσμού.

○ Έχουν μεγάλη συγκολλητική ικανότητα.

- Είναι υλικό με χαμηλό ιξώδες, γεγονός που επιτρέπει την εισχώρηση σε όλο το βάθος της ρωγμής.
- Μικρή έως καθόλου μείωση της συνάφειας με τη πάροδο του χρόνου και εξαιρετική ανθεκτικότητα σε περιβαλλοντικές προσβολές.
- Δεν παρουσιάζουν γήρανση.
- Δεν επηρεάζουν τις διαστάσεις των στοιχείων προς εφαρμογή.
- Θα πρέπει να αναφερθεί ότι για τη κατάλληλη επιλογή εποξειδικής ρητίνης θα πρέπει να εκτιμηθούν οι ιδιότητες της ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία προορίζεται όπως το ιξώδες, το μέτρο ελαστικότητας και ο χρόνος πήξης.



Εικόνα 1.6. Διαδικασία έγχυσης ενέματος εποξειδικής ρητίνης σε σκυρόδεμα.

1.4 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

1.4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι συνθετικές ρητίνες που παρασκευάζονται από την αντίδραση εποξειδίου (συνήθως επιγλωρυδρίνη) με μια ουσία που περιέχει υδροξύλιο, όπως η διφαινυλοπροπάνη (ή διάνη) ή μια πολυσθενής αλκοόλη (π.χ γλυκερόλη). Οι διανικές εποξειδικές ρητίνες έχουν τη μορφή είτε ιξωδών κίτρινων υγρών, με μοριακή μάζα 350-750, διαλυτών σε ακετόνη και τολουόλη, είτε στερεών με χρώμα κίτρινο ή καστανό (μοριακή μάζα 800-3500), που διαλύονται σε μείγμα τολουόλης και βουτανόλης. Η κατεργασία των εποξειδικών ρητινών (στερεοποίηση) πραγματοποιείται σε συνήθεις συνθήκες και θερμοκρασίες είτε χαμηλές, (έως 15°C) είτε υψηλές (60-180°C), ανάλογα με τον τύπο του στερεοποιητή που χρησιμοποιείται (μπορεί να είναι πολυαμίνας, πολυβασικά οξέα, πολυσθενείς φαινόλες, κ.α). Οι στερεές ρητίνες έχουν μεγάλη μηχανική ανθεκτικότητα και αντοχή στο νερό, στις υψηλές θερμοκρασίες και στα χημικά αντιδραστήρια. Οι εποξειδικές ρητίνες χρησιμοποιούνται για την παρασκευή κολλητικών ουσιών μεγάλης αντοχής, ως στεγανοποιητικές ουσίες, καθώς και στη βιομηχανία εποξειδικών βερνικιών κ.α.

Οι εποξειδικές ρητίνες ανήκουν στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και χαρακτηρίζονται από την παρουσία του οξιρανικού δακτύλιου. Ανάλογα με τον αριθμό των δακτυλίων που βρίσκονται παρόντες στο μόριο, οι εποξειδικές ρητίνες χωρίζονται σε διδραστικές (δυο οξιρανικοί δακτύλιοι), ή πολυδραστικές (τρεις ή περισσότεροι δακτύλιοι). Ο οξιρανικός δακτύλιος αντιδρά με ένα ευρύ φάσμα άλλων οργανικών ενώσεων. Για την ένωση δυο μορίων στα άκρα των οποίων υπάρχει η συγκεκριμένη ομάδα, απαιτείται ένα τρίτο μόριο που ουσιαστικά χρησιμοποιείται ως συνδετικός κρίκος, έτσι ώστε να ξεκινήσει η αντίδραση που οδηγεί στο σχηματισμό ενός τρισδιάστατου δικτύου. Το τρίτο αυτό μόριο ονομάζεται σκληρυντής και συνήθως είναι κάποιος διδραστικός ανυδρίτης ή αμίνη. Ενίοτε, χρησιμοποιούνταν και άλλες χημικές ουσίες που ονομάζονται εκκινητές, για να ξεκινήσει ομαλότερα η διαδικασία της αντίδρασης. Οι εποξειδικές ρητίνες που κυκλοφορούν στο εμπόριο αποτελούνται συνήθως από μίγματα μακρομορίων που φέρουν στα άκρα τους τον οξιρανικό δακτύλιο, περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους και συνοδεύονται από συστήματα σκληρυντών και εκκινητών.

Εποξειδικό υδατοδιαλυτό αστάρι 2 συστατικών (EPOXYPRIMER-W)

Είναι η ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμίων. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στις τριβές και υψηλή σκληρότητα. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στο νερό, στα οξέα, στα αλκάλια, στα πετρελαιοειδή κλπ. Μπορεί να εφαρμοστεί σε στεγνά έως και ελαφρά υγρά υποστρώματα, χωρίς όμως λιμνάζοντα νερά. Κατατάσσεται ως SR-B2,0 σύμφωνα με το πρότυπο EN 13813.

Χρησιμοποιείται ως αστάρι καθώς και για την παρασκευή υλικού στοκαρίσματος με την προσθήκη χαλαζακής άμμου, σε τσιμεντοειδούς βάσης υποστρώματα, όπως σκυρόδεμα, τσιμεντοκονίες κλπ., που πρόκειται να επιστρωθούν με εποξειδικές ρητίνες. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως αστάρι όταν πρόκειται να εφαρμοστεί πάνω σε μη απορροφητικά υποστρώματα ή σε παλιές στεγανωτικές στρώσεις.

1.4.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Η χρωματική γκάμα των εποξειδικών ρητινών ποικίλει από μια ανοιχτή κιτρινοπράσινη έως μια σκούρα κιτρινοκαφέ απόχρωση που εξαρτάται από την ηλικία τους. Αν έχει γίνει κακή ανάμιξη

μπορεί να έχουν μια πορτοκαλή απόχρωση. Οι περισσότερες σύγχρονες εποξειδικές ρητίνες **έχουν αρχικά διαφανές χρώμα και με την πάροδο του χρόνου γίνονται σκούρες κίτρινες έως καφέ**. Γενικά είναι πολύ σκληρές και όχι εύθριπτες. Αν έχει γίνει κακή ανάμιξη μπορεί να είναι μαλακές και να χαράσσονται με το νύχι, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει την εντύπωση ότι πρόκειται για θερμοπλαστικές κόλλες.

Τα καλύτερα διαλυτικά όταν έχει γίνει κακή ανάμιξη είναι ζεστό νερό, ασετόν, polystrippa, nitromors, desolve-x.

1.4.3 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πλαστικά θερμοσκληρυνόμενα και παράγονται με αντιδράσεις ανάμεσα σε μονομερή ή πολυμερισμένα με δύο τουλάχιστον εποξειδικές ομάδες του τύπου και περιέχουν αμινομάδες ή όξινες ομάδες ή παράγωγά τους, τα οποία αντιδρώντας με τις εποξειδικές ομάδες σχηματίζουν διακλαδιζόμενους δεσμούς. Οι πιο γνωστοί σκληρυντές περιέχουν αμινομάδες και η αντίδραση ανάμεσα στην αμινομάδα του σκληρυντή και τις εποξειδικές ομάδες είναι πολύ εύκολη και πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, χωρίς παράλληλα να σχηματίζονται υποπροϊόντα. Οι συγκολλήσεις με εποξειδικές ρητίνες αντέχουν σε χημική προσβολή και άριστη στεγανότητα στην υγρασία, ηλεκτρική μόνωση και προστασία από την ηλεκτρολυτική διάβρωση.

1.4.4 ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Η διαλυτότητα των εποξειδικών ρητινών επηρεάζεται από το μέσο μοριακό βάρος τους και αυξάνεται καθώς το μοριακό βάρος μειώνεται. Τα διαλυτικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι οι κετόνες, οι εστέρες και οι αλκοόλες, ενώ σαν αραιωτικά η ακετόνη, το τουλουόλιο, η βουτανόλη και η προπανόλη. Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες είναι αδιάλυτες στις αλκοόλες, στους αλειφατικούς και αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Συνήθως, το καλύτερο διαλυτικό είναι ένα μείγμα από διάφορα διαλυτικά υλικά.

Υδατοδιάλυτη εποξειδική ρητίνη

Κάποιες από τις εποξειδικές ρητίνες έχουν την δυνατότητα να διαλύονται στο νερό με συνέπεια την παραγωγή ενεμάτων πολύ χαμηλότερου κόστους. Η διαλυτοποίηση αυτή έχει βέβαια ως αρνητικό επακόλουθο την μείωση των αντοχών, η οποία και είναι ανάλογη με την ποσότητα νερού που αναμιγνύεται. Διάφορα υλικά χρησιμοποιούνται στις χημικές ενέσεις ανάλογα με τον σκοπό που αυτές γίνονται και τις ιδιότητες του εδάφους. Τα κυριότερα είναι πυριτικό νάτριο, ακρυλαμίδες, ουρεθάνη και ρητίνες. Συγκεκριμένα, μία από τις κυριότερες κατηγορίες χημικών διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται είναι αυτή των εποξειδικών ρητινών. Οι εποξειδικές ρητίνες γενικά απαρτίζονται από δύο συστατικά, την εποξειδική ρητίνη (**συστατικό Α**) και το σκληρυντή της (**συστατικό Β**). Το τελικό προϊόν το οποίο προκύπτει από την ανάμιξη των δύο συστατικών χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή και πρόσφυση, ανθεκτικότητα, αδιαβρωσιμότητα από οξέα, αλκάλια και οργανικές ουσίες και χαμηλή συρρίκνωση.

Παρόλο που έχει πραγματοποιηθεί εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά τη χρήση εποξειδικών ενεμάτων προς αποκατάσταση κατασκευαστικών ζημιών ή προς ενίσχυση της αντοχής ρηγματωμένου σκυροδέματος (Issa & Debs, 2007), δεν έχει υπάρξει κάποια δημοσιευμένη έρευνα σχετική με την εφαρμογή και αποτελεσματικότητα αυτής της κατηγορίας ενεμάτων στην ενίσχυση του εδάφους ή της βραχώμαζας και ειδικότερα των χαμηλού κόστους υδατοδιαλυτών εποξειδικών ενεμάτων.

1.4.5 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Γενικά οι εποξειδικές ρητίνες έχουν μεγάλη αντίσταση στα οξέα, στις βάσεις, στους οργανικούς διαλύτες και στο νερό. Επηρεάζονται όμως από τις υπεριώδεις ακτίνες και η μακροχρόνια έκθεση των εποξειδικών ρητινών στις υπεριώδεις ακτίνες προκαλεί κιτρίνισμα, κρακελάρισμα και απολέπιση. Η ανθεκτικότητα στις υπεριώδεις είναι μεγαλύτερη στα προϊόντα που δεν έχουν αρωματικές ομάδες. Επίσης, οι εποξειδικές ρητίνες βελτιώνουν τις μηχανικές ιδιότητες της πέτρας, όπως αντίσταση σε συμπίεση, έλξη και κάμψη και παρουσιάζουν καλές συγκολλητικές ιδιότητες.

1.4.6 ΙΞΩΔΕΣ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Το ιξώδες της εποξειδικής ρητίνης παίζει σημαντικό ρόλο όταν χρησιμοποιείται για εμποτισμό του υλικού και με το χαμηλότερο δυνατό ιξώδες επιτυγχάνεται βαθύτερη εισχώρηση της ρητίνης μέσα στη μάζα. Όμως οι περισσότερες εποξειδικές ρητίνες έχουν αρκετά μεγάλο ιξώδες, δηλαδή μικρή ρευστότητα και επομένως διεισδύουν με δυσκολία στο εσωτερικό της πορώδους δομής.

Όταν χρησιμοποιούνται σαν διαλυτικά κετόνες και αρωματικοί υδρογονάνθρακες, δεν επιτρέπεται πλήρης αλληλοσύνδεση των μορίων. Το καλύτερο διαλυτικό, όπου παράλληλα ελέγχεται και ο χρόνος αντίδρασης πολυμερισμού της ρητίνης είναι μίγμα τολουολίου και μεθανόλης. Ο εμποτισμός της πέτρας π.χ με τη μέθοδο αυτή, μειώνει το πορώδες της, χρήση διαλύματος **10%** εποξειδικής ρητίνης για στερέωση σε ψαμμίτη και ασβεστόλιθο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του πορώδους κατά **9.6%** και **22.8%** αντίστοιχα. Εξάλλου διάλυμα **20%** έχει λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού η μείωση του πορώδους είναι **9.17%** και **14%** αντίστοιχα.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι η ταχύτητα κίνησης της ρητίνης μέσα στους τριχοειδείς πόρους της πέτρας αυξάνει κατά **40%**, όταν η πέτρα έχει προηγουμένως εμποτιστεί με το διαλυτικό της ρητίνης.

1.5 ΧΡΗΣΕΙΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

1.5.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΧΡΗΣΗΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Οι εποξειδικές ρητίνες βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στη συντήρηση όταν τη δεκαετία του 1960 χρειάστηκε να γίνουν μεγάλης κλίμακας επεμβάσεις στα μνημεία που η περιοχή τους κατακλύστηκε από τεχνητή λίμνη του φράγματος του Assuan στην Αίγυπτο, τεράστια μνημεία χρειάστηκε να κοπούν σε κομμάτια και στη συνέχεια να συναρμολογηθούν σε άλλη θέση. Η συγκόλληση των κομματιών έγινε με εποξειδικές ρητίνες, επειδή κατά την εποχή εκείνη ήταν το καλύτερο υλικό που είχε στη διάθεση της η τεχνολογία. Το γεγονός όμως ότι οι εποξειδικές ρητίνες είναι υλικά μη αναστρέψιμα αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα.

1.5.2 ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΙΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ

1 Μερικές από τις σημαντικότερες εφαρμογές των εποξειδικών ρητινών αναφέρονται πιο κάτω:

- 2 Στην κατασκευή κτιρίων και αυτοκινητοδρόμων και γενικά σε κατασκευές όπου υπάρχουν απαιτήσεις για υψηλή χημική αντίσταση.
- 3 Σαν βασικό συγκολλητικό σκυροδέματος.
- 4 Σαν συγκολλητικά σε δομικά μέρη της ατράκτου αεροσκαφών.
- 5 Σαν συγκολλητικό πλαστικών και μεταλλικών κομματιών σε βάρκες και αυτοκίνητα, ώστε να υπάρχει τέλεια στεγανότητα.
- 6 Σαν φυλλώδεις ρητίνες για την κατασκευή πλαισίων και τελειωμάτων αεροσκαφών και πυραύλων.
- 7 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.
- 8 Στην κατασκευή τριχών για πινέλα.
- 9 Συστήματα έποξυ-ρητινών χρησιμοποιούνται σαν συγκολλητικά, επικαλυπτικά και σαν μέσα ενσωμάτωσης ηλεκτρικών εξαρτημάτων.
- 10 Τυπικές εφαρμογές χυτών έποξυ-ρητινών αποτελούν οι κατασκευές ανθεκτικών σε χημικά αντλιών και σωλήνων, μήτρων καθώς και ηλεκτρικών μονωτικών ειδών.
- 11 Μειονέκτημα των έποξυ-ρητινών αποτελεί το υψηλό τους κόστος. Επίσης ειδικές χρήσεις για εποξειδικές ρητίνες, **100 %** χωρίς διαλύτες, για τη συγκόλληση με ενέσεις μικρορωγμών και μικρών κενών σε σκυρόδεμα. Έχοντας κατάλληλη σύνθεση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας όσο και μεγάλης υγρασίας. Εξασφαλίζουν πρόσφυση σε ξηρές και υγρές επιφάνειες και **στερεοποιούνται ακόμη και κάτω από την επιφάνεια ύδατος!** Η πρόσφυση εξασφαλίζεται πάνω σε γνωστά δομικά υλικά όπως σκυρόδεμα, μέταλλα, μάρμαρα, πέτρα, ξύλα κτλ. Συνδυάζουν υψηλή αντοχή, δεν χάνουν όγκο κατά την σκλήρυνση και δεν γίνονται εύθραυστες. Είναι απόλυτα μη διαβρωτικές και είναι κατάλληλες για χρήση σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα ή δομικό χάλυβα. Επίσης υπάρχουν ρητίνες δύο συστατικών για επαλείψεις επιφανειών (υγρών και στερεών). Η ξηρή μεμβράνη που σχηματίζουν έχει πυρρανασχετικές ιδιότητες και έτσι δεν επιτρέπουν την εξάπλωση της φωτιάς. Οι ρητίνες αυτές προορίζονται για υγρομόνωση, για προστασία και διακόσμηση δαπέδων, τοίχων και ορόφων σε οικοδομικούς, βιομηχανικούς, αγροτικούς κ.α. χώρους.
- 12 Εφαρμόζονται σε επιφάνειες σκυροδέματος, τσιμεντοκονιάματος, πέτρας, σοβάδων, τούβλων, γύψου, αμιαντοτσιμέντου, ασφάλτου κ.α.
- 13 Για την σύνδεση παλιού και νέου σκυροδέματος κυρίως σε υγρούς χώρους.
- 14 Για την προστασία κτιρίων από την διάβρωση και τη διείδυση υγρασίας.
- 15 Για την υγρομόνωση υπογείων χώρων και παταριών, δαπέδων πριν από την επίστρωσή τους με

πλακάκια, μοκέτα κ.α. Επίσης για την υδρομόνωση πισινών και δεξαμενών.

1.5.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Στην Ιταλία έχουν χρησιμοποιηθεί δυο περιπτώσεις εποξειδικών ρητινών: Στην πρώτη περίπτωση, υπήρξε αρνητικό αποτέλεσμα γιατί μετά από ένα χρόνο, το πολυμερές που παρέμεινε στην εξωτερική επιφάνεια παρουσίασε μεταβολές στο χρώμα, θρυμματιζόταν και απολεπιζόταν. Στην δεύτερη περίπτωση η κατάσταση του συντετριμμένου μαρμάρου ήταν ικανοποιητική.

Περισσότερο εκτεταμένη, μέχρι σήμερα, είναι η χρήση εποξειδικών, σαν συνδετικά διαφόρων κονιαμάτων ή σαν δομικά συγκολλητικά για επανασύνδεση αποκολλημένων μερών. Για τέτοιου είδους εφαρμογές χρησιμοποιούνται εποξειδικά προϊόντα αναμιγμένα με σιλικονικές ρητίνες.

1.5.4 ΑΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Οι εποξειδικές κόλλες μπορούν να κολλήσουν ένα μεγάλο πλήθος υλικών, ιδίως μέταλλα. Χρησιμοποιήθηκαν για να αντικαταστήσουν παραδοσιακές μεθόδους ένωσης των μετάλλων όπως την συγκόλληση, τις μεταλλικές κολλήσεις.

Είναι κόλλες κατάλληλες για κολλήσεις όλων σχεδόν των υλικών όπως μέταλλα, κεραμικά, ξύλο, ελαστικό εκτός από ορισμένα πλαστικά όπως το πολυαιθυλένιο. Επίσης κολλούν μη πορώδη υλικά επειδή στερεοποιούνται χωρίς συρρίκνωση και χωρίς να παράγουν αέρια ή υγρά παραπροϊόντα.

1.5.5 ΓΙΑΤΙ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΗ ΡΗΤΙΝΗ;

Ο λόγος που χρησιμοποιούμε εποξειδική ρητίνη έναντι άλλων πιθανών υλικών (όπως απλό τσιμεντοκονίαμα, διάφορα είδη σιλικόνης, μαστίχας κτλ.), για ρωγμές μικρού πλάτους (0.1-3mm) έχει να κάνει κυρίως με τις εξής ιδιότητες της ρητίνης: **το χαμηλό ιξώδες και την αντοχή σε γήρανση.**

Το χαμηλό ιξώδες επιτρέπει στην ρητίνη να εισχωρήσει σε όλο το βάθος της ρωγμής και όχι να την γεφυρώσει μόνο επιφανειακά. Έτσι, όχι μόνο η κατασκευή ανακτά αποτελεσματικότερα τις αρχικές της αντοχές, αλλά και προστατεύεται η ίδια η ρητίνη από περιβαλλοντικούς παράγοντες, αφού το μεγαλύτερο μέρος της βρίσκεται στο βάθος της ρωγμής.

Με την μεγάλη της αντοχή σε γήρανση η ρητίνη διατηρεί την αρχική της αντοχή, μετά από πολλούς κύκλους φόρτισης – αποφόρτισης λόγω της αυξομείωσης του πλάτους των ρωγμών από διάφορα δυναμικά φορτία (κυρίως σεισμό) και ιδιαίτερα από κλιματολογικές αλλαγές, διατηρώντας την μονολιθικότητα του μέλους.

Άλλα πλεονεκτήματα της χρήσης ρητίνης είναι η μικρή συστολή ξήρανσης που παρουσιάζει, οι μεγάλες μηχανικές αντοχές, η μεγάλη συγκολλητική ικανότητα, το καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται κ. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα υπερκαλύπτουν τα όποια μειονεκτήματα της χρήσης του υλικού, όπως η απαίτηση έμπειρου προσωπικού ή το σχετικά μικρό μέτρο ελαστικότητας που εμφανίζει.

1.6 ΤΡΟΠΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Για να χρησιμοποιηθεί η κάθε κόλλα πρέπει να γίνει καταγραφή και έλεγχος των παρακάτω χαρακτηριστικών της :

1. Τρόπος παρασκευής
2. Τρόπος εφαρμογής
3. Χρώμα μετά τη στερεοποίηση
4. Ιξώδες
5. Χρόνος σκλήρυνσης

6. Αποτελεσματικότητα συναρτήσει του χρόνου
7. Πρόσφυση
8. Επίδραση των υπερωδών ακτινών
9. Επίδραση της θερμοκρασίας
10. Επίδραση της υγρασίας
11. Αντιστρεψιμότητα
12. Δείκτης διάθλασης

1.6.1 ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ

Οι εποξειδικές κόλλες πρέπει να συσκευάζονται από τον προμηθευτή σε δύο διαφορετικά και διακεκριμένου τύπου δοχεία. Ένα για την εποξειδική ρητίνη (**συστατικό Α**) και ένα για τον σκληρυντή (**συστατικό Β**). Τα συστατικά **A** και **B** πρέπει να έχουν τέτοια αναλογία ώστε να σχηματίζουν μίγμα καθορισμένου βάρους συγκολλητικού υλικού. Επιπλέον, τα συστατικά **A** και **B** πρέπει να είναι εμφανώς αντίθετου χρώματος.

1.6.2 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Τα συσκευασμένα συστατικά **A** και **B** πρέπει να αποθηκεύονται σε θέση με θερμοκρασία μεταξύ **10°C** και **20°C** και κατά τις οδηγίες του εργοστασίου παραγωγής. Μετά από αποθήκευση τριών μηνών το συστατικό **A** (η εποξειδική ρητίνη) πρέπει να ελέγχεται έναντι κρυσταλλώσεως. Ο έλεγχος της εποξειδικής ρητίνης πρέπει να γίνεται οπτικά σε τρεις μέρες πριν την χρησιμοποίηση της και αν υπάρχουν δείγματα κρυσταλλώσεως τότε δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση της. Επίσης, επειδή οι εποξειδικές ρητίνες επηρεάζονται από τον ήλιο θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατή η μακροχρόνια αποθήκευσή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

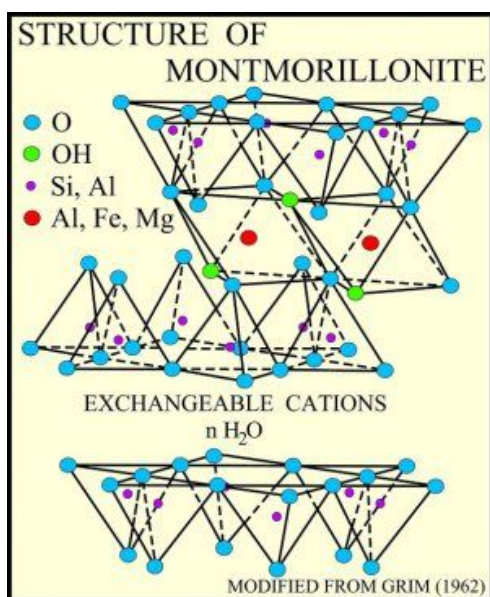
ΜΠΕΤΟΝΙΤΗΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Ο μπετονίτης είναι το πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από το αργιλικό ορυκτό μοντμοριλλονίτη, $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, (σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80%), και σχηματίζεται από την εξαλλοίωση όξινων ηφαιστειακών πετρωμάτων. Όταν η περιεκτικότητα σε μοντμοριλλονίτη είναι μικρότερη (60-80%), το υλικό χαρακτηρίζεται ως “μπετονιτική άργιλος”. Πήρε το όνομά του από την τοποθεσία Fort Benton της πολιτείας Yoming των Η.Π.Α., όπου πρωτοανακαλύφθηκε και άρχισε να εξορύσσεται.



Εικόνα 2.1. Μπετονίτης σε μορφή πετρώματος και σκόνης



Εικόνα 2.2. Κρυσταλλική δομή μοντμοριλλονίτη

Ο μοντμοριλλονίτης ανήκει στα αργιλικά ορυκτά, δομής 2:1, αποτελείται δηλαδή από δύο φύλλα τετραέδρων πυριτίου που εμπεριέχουν ένα φύλλο οκταέδρων αργιλίου, σιδήρου και μαγνησίου. Στο διαστρωματικό χώρο, μπορούν να προσροφηθούν κατιόντα και μεγαλομόρια νερού, γι αυτό ο μοντμοριλλονίτης έχει την ιδιότητα της διόγκωσης.»

2.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΕΣ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗ

Η Ελλάδα είναι η δεύτερη χώρα μετά τις Η.Π.Α. στην παραγωγή μπεντονίτη η οποία το 2011 ήταν 1,25 εκατ. τόνοι. Η εξόρυξη γίνεται κυρίως στη Μήλο από την εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά και σε μικρότερες ποσότητες στην Κίμωλο από την εταιρία ΜΠΕΝΤΟΜΑΪΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΚΙΜΩΛΟΥ. Στις μέρες μας, η εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή μπεντονίτη στην Ευρώπη και είναι η μεγαλύτερη εξαγωγική εταιρία μπεντονίτη στον κόσμο. Σχεδόν όλος ο μπεντονίτης (98%) εξάγεται στην Ε.Ε., στη Β. Αμερική (ΗΠΑ, Καναδά) και στην Κοινοπολιτεία Ανεξαρτήτων Κρατών (κράτη της πρώην Σοβιετικής Ένωσης), Μαρόκο, κ.α.

Η Ελληνική παραγωγή κατεργασμένου Μπεντονίτη τα τελευταία χρόνια αγγίζει τους 750.000 τόνους. Η ποιότητα του Ελληνικού Μπεντονίτη θεωρείται μια από τις καλύτερες παγκοσμίως. Η τιμή του μπεντονίτη εξαρτάται από το βαθμό επεξεργασίας, το μέγεθος των κόκκων και τη συσκευασία

2.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τα βασικότερα κοιτάσματα είναι της Μήλου (Κώμια, Τρογαλάς) και της Κιμώλου. Ο μπεντονίτης της Μήλου περιέχει κυρίως Ca-μοντμοριλλονίτη (σε ποσοστό πάνω από 80%), χαλαζία, αστρίους, καολινίτη και αναλλοίωτο ηφαιστειακό γυαλί. Επίσης αποθέσεις μπεντονίτη υπάρχουν στη Λέσβο, τη Χίο και τον Έβρο (Μέστη, Συκορράχη). Τα ενδεικτικά αποθέματα μπεντονίτη είναι 100 εκατ. Τόνοι.

2.4 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗ

Zenith-N.

Ένας μπεντονίτης ενεργοποιημένος με Na από την ελληνική νήσο Μήλο, που παρέχει η S & B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε.

Προτεινόμενη αναλογία: 6,42 g (βεντονίτης) / 100 g (νερό).

$$WL = 450$$

$$WP = 45$$

Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων 85 meq / 100 g (ενεργοποιημένη με Na)

Ο μπεντονίτης αποτελείται κυρίως από μοντμοριλλονίτη (N90%) και σήμαντο ασβεστολιθικό δολομίτη και μετόν.

Η χημική ανάλυση δίνεται στον Πίνακα 1.

Η ανάλυση μεγέθους σωματιδίων της σκόνης μπεντονίτη δίνεται στο σχήμα 1.

Ειδική επιφάνεια: 65,6 m² / g

Table 1
Chemical analysis of Zenith bentonite

Component	Quantity (%)	Component	Quantity (%)
Na ₂ O	2.01	Fe ₂ O ₃	5.07
MgO	4.02	Al ₂ O ₃	20.25
K ₂ O	0.65	SiO ₂	59.31
CaO	5.92	P ₂ O ₅	0.00
TiO ₂	0.68	LOI ^a	1.83
MnO	0.08		
Sum			99.83

^a Loss of ignition.

Πίνακας 2.3. Χημική ανάλυση του ζενίθ του μπετονίτη

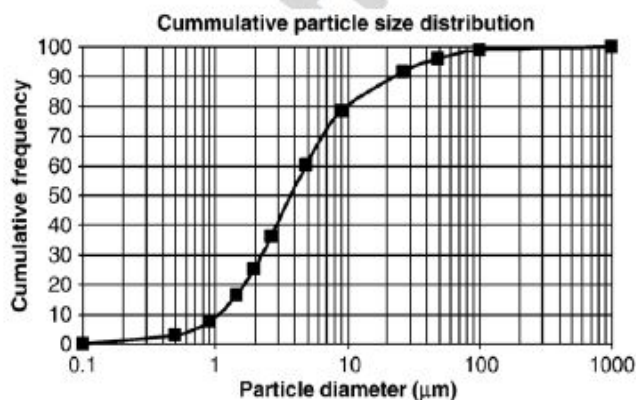


Fig. 1. Cumulative particle size distribution for Zenith bentonite.

Πίνακας 2.4 συσσωρευτική κατανομή μεγέθους σωματιδίων

2.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΠΕΤΟΝΙΤΗ/ ΜΟΝΤΜΟΡΙΛΛΟΝΙΤΗ

Ο μοντμοριλλονίτης χαρακτηρίζεται από μεγάλη προσροφητική ικανότητα, υψηλή πλαστικότητα, δυνατότητα ιοντοανταλλαγής, δράσης ως συνδετικό υλικό, θιξοτροπία σε ιξώδη αιωρήματα, δυνατότητα να δρα σαν συνδετικό υλικό. Μπορεί να απορροφήσει μεγάλο ποσοστό νερού (περίπου το 75% του όγκου του).

Χρησιμοποιείται σε γεωτρήσεις πετρελαίου (πολφός, λειαντικό, στεγανοποιητικό), σε υδρογεωτρήσεις (στεγανοποιητικό, καθαριστικό τοιχωμάτων), στη σφαιροποίηση σιδηρομεταλλεύματος, σε άμμους χυτηρίων, στην ταφή ραδιενεργών αποβλήτων (δέυση των ραδιενεργών κατιόντων), στην κατασκευή φραγμάτων (συνθετικό τσιμεντέσεων), σε διαγνωστικές και αποχρωστικές γαίες, σε κεραμικά, στη χαρτοποιία, στη βιομηχανία καλλυντικών, σε απολυμαντικά, σε λιπάσματα και φυτοφάρμακα, στη διάθεση στερεών αποβλήτων.

Επιπλέον χρησιμοποιείται σε:

- Στις γεωτρήσεις (ως λειαντικό των γεωτρήσεων και στεγανοποιητικό των τοιχωμάτων της γεώτρησης)

- Στη βιομηχανία (στη διαύγαση βρώσιμων ελαίων)
- Στη παραγωγή σιδήρου (ως συνδετικό υλικό στη σφαιροποίηση των σιδηρομεταλλευμάτων)
- Στην άμμο υγιεινής (ως προσροφητικό υλικό)
- Στην κεραμική
- Στην αγγειοπλαστική
- Στην κατασκευή δομικών και μονωτικών υλικών

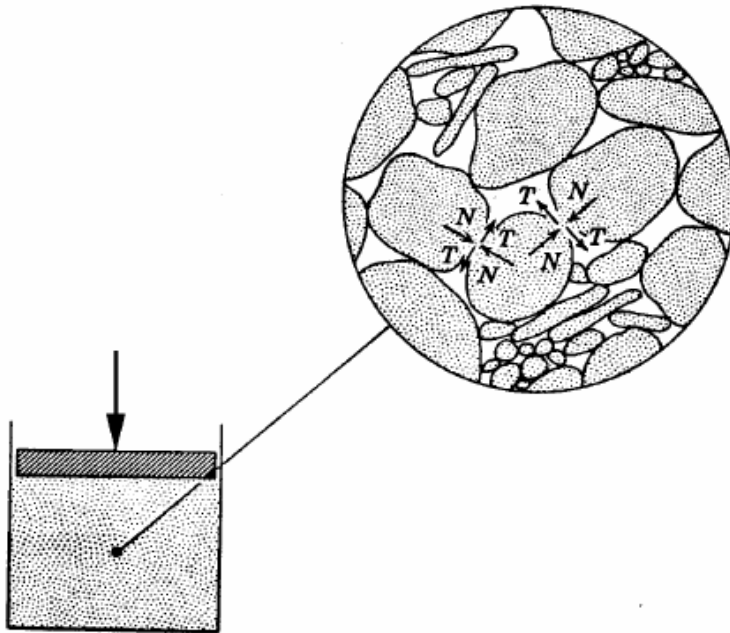
ΚΕΦΑΛΑΙΟ : 3

ΕΙΔΗ ΕΔΑΦΩΝ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3.1**, είναι ένα μή-συμπαγές πολυφασικό υλικό, που αποτελείται από ασύνδετους ή ελαφρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους, τα κενά μεταξύ των οποίων (πόροι) περιέχουν υγρά (συνήθως νερό) ή/και αέρια (συνήθως αέρα). Τα εδαφικά υλικά προέρχονται από τη μηχανική ή/και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες, όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα, οι λειτουργίες φυτών, ζώων και του ανθρώπου, και οδηγεί σε κατατεμαχισμό και θρυμματισμό των βράχων. Αντίστοιχα, η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση των πετρωμάτων λόγω οξείδωσης, ενανθράκωσης, αναγωγής και άλλων χημικών διαδικασιών. Γενικά, η χημική αποσάθρωση είναι ο κυριότερος παράγων γένεσης λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών (ιλύων και αργίλων), ενώ η μηχανική αποσάθρωση συντελεί κυρίως στη δημιουργία των χονδρόκοκκων εδαφών (χαλίκων και άμμων), χωρίς όμως να αποκλείεται και η μερική συμμετοχή της εναλλακτικής μεθόδου αποσάθρωσης στη γένεση εδαφικών σχηματισμών κάθε τύπου.

Η μεταφορά και απόθεση των ιζηματογενών εδαφικών σχηματισμών με το νερό οδηγεί στο διαχωρισμό τους κατά μέγεθος κόκκων. Έτσι, χονδρόκοκκα ιζήματα (χάλικες και άμμοι) αποτίθενται συνήθως στις κοίτες των ποταμών και σε περιοχές κοντά στις εκβολές τους. Αντίθετα, τα λεπτόκοκκα ιζήματα (ιλείς και άργιλοι) μεταφέρονται αιωρούμενα σε μεγάλες αποστάσεις και αποτίθενται με αργό ρυθμό στον πυθμένα των θαλασσών και λιμνών μακριά από τις εκβολές των ποταμών, σχηματίζοντας οριζόντιες ή περίπου οριζόντιες στρώσεις. Αρκετά συνηθισμένη είναι και η διαδοχική απόθεση στρώσεων χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων στην ίδια περιοχή, που οφείλεται είτε σε τεκτονικές κινήσεις του γήινου φλοιού (που συχνά μετατρέπουν κοίτες ποταμών σε πυθμένες ωκεανών και το αντίθετο) είτε στη διαδοχή περιόδων έντονων βροχοπτώσεων και απορροών (που οδηγούν στην απόθεση χονδροκλαστικών κυρίως ιζημάτων) με ήπιες περιόδους (που οδηγούν στην απόθεση λεπτόκοκκων εδαφών). Ανεξάρτητα από τον τρόπο γένεσης, μεταφοράς και απόθεσης των εδαφών, η διάταξη των κόκκων τους δημιουργεί κενά (πόρους) τα οποία, κατά την ιζηματογένεση στους πυθμένες των θαλασσών, επληρούντο με νερό.



Σχήμα 3.1: Απεικόνιση της δομής του κόκκου του εδάφους.

Στο μακρό χρονικό διάστημα, όμως, που μεσολάβησε από την ιζηματογένεση πολλοί εδαφικοί σχηματισμοί βρέθηκαν τελικώς πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και το νερό των πόρων αντικαταστάθηκε μερικά ή ολικά από αέρα. Έτσι, σήμερα, τα περισσότερα εδάφη περιέχουν στους πόρους τους και νερό και αέρα.

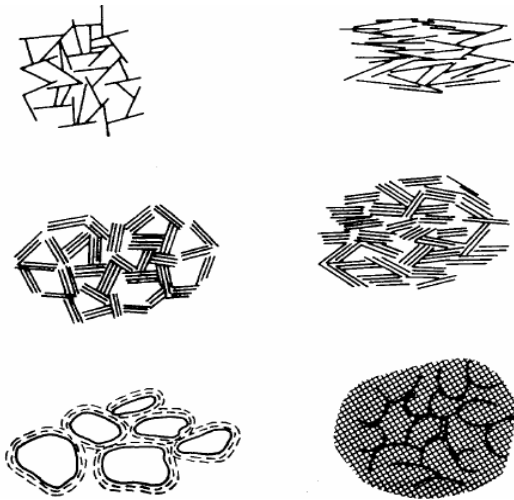
3.2. ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΛΑΦΗ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα ιζηματογενή εδάφη, που αποτελούν το σύνολο σχεδόν των εδαφικών σχηματισμών, διακρίνονται σε χονδρόκοκκα (χαλικές και άμμοι) και λεπτόκοκκα (ιλείς και άργιλοι). Αναφέρθηκε, επίσης, ότι τα χονδρόκοκκα ιζήματα προέρχονται κυρίως από τη μηχανική αποσάθρωση των βράχων, ενώ τα λεπτόκοκκα ιζήματα από τη χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Οι διαφορές μεταξύ των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων εκτείνονται και πέραν του τρόπου γένεσής τους.

Ειδικότερα, το μέγεθος των κόκκων τους διαφέρει σημαντικά: εδάφη με κόκκους μεγαλύτερους από 2 mm ανήκουν στην κατηγορία των χαλικών, οι άμμοι έχουν κόκκους με διαστάσεις από 2mm έως 0.06 mm (η διάσταση αυτή είναι περίπου ίση με το μικρότερο μέγεθος κόκκου που είναι ορατός δια γυμνού οφθαλμού), οι ιλείς έχουν κόκκους από 0.06 mm έως 0.002 mm και, τέλος, οι άργιλοι έχουν κόκκους με μέγεθος μικρότερο από 0.002 mm.

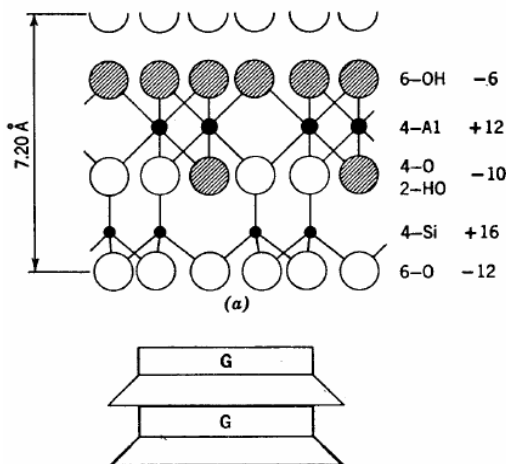
Οι κόκκοι των άμμων και των χαλικιών είναι γενικά σφαιροειδείς, με την έννοια ότι η μέγιστη και η ελάχιστη διάσταση του κόκκου δεν διαφέρουν σημαντικά: ακόμη και στην περίπτωση πολύ πεπλατυσμένων κόκκων, ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη διάσταση δεν υπερβαίνει συνήθως το πέντε (5).

Η μορφή της επιφάνειας των κόκκων ποικίλλει και κυμαίνεται μεταξύ λείας (στην περίπτωση εδαφών που η επιφάνεια των κόκκων τους έχει λειανθεί από τη διάβρωση) και γωνιώδους (στην περίπτωση πρόσφατων κλαστικών ιζημάτων). Η διάταξη των κόκκων των χονδρόκοκκων εδαφών καθορίζεται από το βάρος, τις διαστάσεις, τη μορφή της επιφάνειας και τις μηχανικές δυνάμεις επαφής που ασκούνται μεταξύ των κόκκων. Η μηχανική αυτή διάταξη των κόκκων δημιουργεί μια δομή (εδαφικός σκελετός) με πυκνότητα που κυμαίνεται μεταξύ μιας ελάχιστης τιμής (πολύ χαλαρή δομή) και μιας μέγιστης τιμής (πολύ πυκνή δομή). Πάντως, η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης πυκνότητας δεν είναι σημαντική, επειδή σε όλες τις περιπτώσεις οι κόκκοι βρίσκονται σε επαφή. Σε αντίθεση με τα χονδρόκοκκα εδάφη, οι κόκκοι των λεπτόκοκκων εδαφών είναι πολύ πεπλατυσμένοι και έχουν τη μορφή πλακιδίων (αργιλικά πλακίδια) με μικρό πάχος που είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μούριό τους.

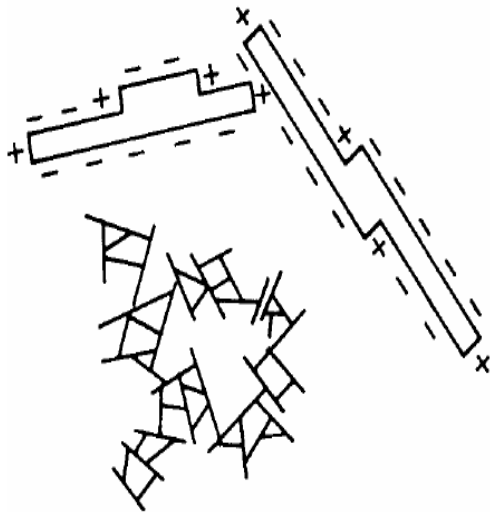


Σχήμα 3.2: Διάταξη (δομή) αργιλικών πλακιδίων.

Αντίθετα, στις άλλες δύο διαστάσεις ο κρύσταλλος των αργιλικών πλακιδίων αναπτύσσεται κανονικά με τη διάταξη μεγάλου αριθμού μορίων. Το **Σχήμα 3.3** παρουσιάζει τη δομή του πλακιδίου του καολίνης, ενός αργιλικού ορυκτού με πάχος πλακιδίου περί τα $0.1 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 0.001 \text{mm}$) και μεγάλη διάσταση (διάμετρο) $0.3-1 \mu\text{m}$, που έχει δηλαδή λόγο διαμέτρου προς πάχος ίσο με $3-10$. Ο καολίνης είναι ένα από τα αργιλικά ορυκτά με μικρό λόγο διαμέτρου προς πάχος, δηλαδή ένα από τα ολιγότερο ενεργά αργιλικά ορυκτά. Άλλα περισσότερο ενεργά αργιλικά ορυκτά είναι ο ιλλίτης, με λόγο διαμέτρου προς πάχος του πλακιδίου ίσο με $10-30$, και ο μοντμοριλλονίτης, με αντίστοιχο λόγο διαμέτρου προς πάχος περί το 100 . Λόγω των ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων και της πλακοειδούς μορφής των αργιλικών ορυκτών, η αλληλεπίδραση μεταξύ των πλακιδίων διέπεται και από άλλες δυνάμεις πέραν της βαρύτητας και της τριβής μεταξύ των πλακιδίων. Ειδικότερα, η επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων είναι ηλεκτρικά φορτισμένη, η άνω και κάτω (μεγάλες) επιφάνειες φέρουν αρνητικά φορτία, και η περιφέρεια (το πάχος) φέρει ίσα και αντίθετα θετικά φορτία (βλέπε **Σχήμα 3.4**). Οι επιφανειακές ηλεκτρικές δυνάμεις έλξης και άπωσης, που πρακτικά δεν εμφανίζονται στα χονδρόκοκκα εδάφη, κυριαρχούν στα λεπτόκοκκα εδάφη, επειδή η έντασή τους είναι αρκετές τάξεις μεγέθους ισχυρότερη από τις δυνάμεις βαρύτητας. Πιο συγκεκριμένα, ο λόγος των ηλεκτρικών δυνάμεων (που είναι ανάλογες της επιφάνειας) προς τις δυνάμεις βαρύτητας (που είναι ανάλογες της μάζας) εξαρτάται από την ειδική επιφάνεια,



Σχήμα 3.3: Η δομή του αργιλικού ορυκτού Καολίνης.



Σχήμα 3.4: Ηλεκτρικά φορτία στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων.

δηλαδή το λόγο της επιφάνειας προς τη μάζα του πλακιδίου. Η ειδική επιφάνεια ενός σφαιρικού κόκκου μεσόκοκκης άμμου είναι $2.3 \text{ m}^2/\text{kg}$, ενώ η ειδική επιφάνεια του Καολίνη είναι $15000 \text{ m}^2/\text{kg}$ και του Μοντμοριλλόνιτη $800.000 \text{ m}^2/\text{kg}$. Η μεγάλη διαφορά στην ειδική επιφάνεια των κόκκων μεταξύ των χονδρόκοκκων (αμμωδών) και των λεπτόκοκκων (αργιλικών) εδαφών καθορίζει την τελείως διαφορετική δομή τους και, κατ' επέκταση, τις διαφορές της μηχανικής τους συμπεριφοράς. Τα λεπτόκοκκα εδάφη ονομάζονται επίσης και συνεκτικά, επειδή παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους (που οφείλεται στις ηλεκτρικές έλξεις μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων). Αντίστοιχα, τα χονδρόκοκκα εδάφη ονομάζονται και *μη-συνεκτικά*, επειδή δεν παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους.

3.2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΛΑΦΩΝ

Μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής γενικές κατηγορίες εδαφών:

Άμμος και χάλικες (sand & gravel): εδάφη χωρίς συνοχή που αποτελούνται από στρογγυλεμένα, γωνιώδη ή υπογωνιώδη θραύσματα πετρωμάτων ή ορυκτών. Σωματίδια μεγέθους μικρότερου των 2mm χαρακτηρίζονται σαν άμμος, $2\text{mm}-75\text{mm}$ χαρακτηρίζονται σαν χάλικες και από $7,5 \text{ cm}$ και πάνω χαρακτηρίζονται σαν κροκάλες.

Ανόργανος ιλύς (silt): λεπτόκοκκο έδαφος με μικρή ή μηδενική πλαστικότητα. Οι λιγότερο πλαστικές ποικιλίες αποτελούνται από κόκκους ομοιόμορφους (ίσης περίπου διαμέτρου) χαλαζία και αναφέρονται συχνά με την ονομασία «παιτάλη». Οι τύποι της ιλύος με μεγαλύτερη πλαστικότητα περιλαμβάνουν αξιόλογο ποσοστό λεπτών πλακοειδών σωματιδίων και χαρακτηρίζονται σαν *Πλαστική ιλύς*. Λόγω της λείας υφής της η ανόργανη ιλύς εκλαμβάνεται συχνά σαν άργιλος αλλά αυτό μπορεί εύκολα να αποφευχθεί χωρίς εργαστηριακές δοκιμές με απλές πρακτικές μεθόδους. Η ιλύς είναι σχετικά αδιαπέρατη. Όταν όμως βρίσκεται σε χαλαρή κατάσταση μπορεί να ανυψωθεί σε γεωτρητική οπή ή σε ερευνητικό φρέαρ σαν ιξώδες ρευστό.

Οργανική ιλύς (organic silt): είναι λεπτόκοκκο και πλαστικό έδαφος, με προσμίξεις λεπτών σωματιδίων οργανικής ύλης. Είναι δυνατό επίσης να περιλαμβάνει όστρακα καθώς και ορατά

τεμάχια φυσικών ουσιών σε αποσύνθεση. Το χρώμα του εδάφους αυτού κυμαίνεται από ανοικτό μέχρι σκούρο φαιό. Η διαπερατότητα της οργανικής ιλύος είναι πολύ μικρή και η συμπιεστότητα της πολύ μεγάλη.

Άργιλος (clay) : λεπτόκοκκο υλικό που αποτελείται από σωματίδια ορατά ή μη με το μικροσκόπιο που προέρχονται από την αποσύνθεση των συστατικών των πετρωμάτων. Είναι πλαστική για μέση έως μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό. Τα ξηρά δείγματα είναι πολύ σκληρά και δεν αποβάλλουν σκόνη όταν η επιφάνεια τους τρίβεται με τα δάκτυλα. Η διαπερατότητα της αργίλου είναι πολύ μικρή.

Οργανική άργιλος (organic clay) : η οργανική άργιλος οφείλει μερικές από τις πιο σημαντικές φυσικές ιδιότητες της στην παρουσία λεπτά καταμερισμένων οργανικών υλών. Όταν είναι κορεσμένη έχει μεγάλη συμπιεστότητα, σε ξηρή όμως κατάσταση εμφανίζει σημαντική αντοχή. Το χρώμα της είναι συνήθως βαθύ φαιό ή μαύρο. Η οργανική άργιλος είναι δυνατό να έχει ευδιάκριτη χαρακτηριστική οσμή.

Τύρφη (peat) : η τύρφη αποτελείται από ινώδεις συμπλέγματα μακροσκοπικά ή μικροσκοπικά ορατών σωματιδίων, από οργανική ύλη σε αποσύνθεση. Το χρώμα της κυμαίνεται από ανοιχτό καστανό μέχρι μαύρο. Η τύρφη είναι τόσο πολύ συμπιεστή, ώστε να αποτελεί σχεδόν πάντοτε ακατάλληλη στρώση για την έδραση θεμελίων.

3.2.2 ΧΟΝΔΡΑ ΚΑΙ ΛΕΠΤΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ

Η στερεή φάση του εδάφους είναι κατά κύριο λόγο θρυμματισμένα τεμάχια βράχου. Μερικά από τα σωματίδια αυτά διακρίνονται με γυμνό μάτι, δηλαδή μακροσκοπικά, ενώ άλλα φαίνονται μόνο με το μικροσκόπιο. Τα μακροσκοπικά σωματίδια περιγράφονται σαν χονδρά κλάσματα και τα μικροσκοπικά σωματίδια περιγράφονται σαν λεπτά κλάσματα. Στη διαδικασία της αποσύνθεσης της βραχώδους μάζας, μερικά ορυκτά διατηρούν τα μακροσκοπικά τους μεγέθη ενώ άλλα παίρνουν το μικροσκοπικό τους μέγεθος. Η δοκιμή κοκκομετρικής ανάλυσης διαχωρίζει τα χονδρά και τα λεπτά κλάσματα σαν συγκρατούμενα ή διερχόμενα από το κόσκινο N°200.

3.2.3 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Το χονδρόκοκκο κλάσμα του εδάφους περιλαμβάνει τα πρωτογενή ή μη αργιλικά ορυκτά, ενώ τα λεπτόκοκκα μόρια αποτελούνται από αργιλικά ή δευτερεύοντα ορυκτά. Η ορυκτολογική σύνθεση μερικών από αυτά τα ορυκτά που σχηματίζουν το έδαφος, δίνεται στον **Πίνακα 3.5**.

Πρωτογενή Ορυκτά	Αργιλικά ορυκτά
Χαλαζίας - SiO ₂	Καολινίτης- Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O

Αλβίτης $\text{NaAlSi}_2\text{O}_8$	$(\text{HO})_8\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}$
Ορθόκλαστο - KAlSi_3O_8	Ιλίτης $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})_2\text{Si}_8$
Μαρμαρυγίας $\text{X}_2\text{Y}_{4-6}\text{Z}_8\text{O}_{20}(\text{OH}, \text{F})_4$	Aluminium – Iron – Magnesium $(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_4$
$(\text{OH})_4\text{K}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{20}$	$\text{O}_{20}(\text{OH})_4$
Αμφιβολίτης – $(\text{SiO}_{11})_6$	Μοντμοριλλονίτης $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \nu\text{H}_2\text{O}$
Πυρόξενοι - $(\text{SiO})_{3/2}$	$(\text{OH})_4\text{Si}_8$
Οξείδια του αργιλίου- Al_2O_3	$\text{Al}_{3.34}\text{Mg}_{.66}\text{O}_{20}$ nH ₂ O
Λιμονίτης - $\text{Fe}_2\text{O}_2(\text{H}_2\text{O})$	Χλωρίτης - $(\text{OH})_4$
	$(\text{Si}, \text{Al})_8$ - Aluminium-Silicon
	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6\text{O}_{20}$

Πίνακας 3.5: Ορυκτολογική σύνθεση ορυκτών που σχηματίζουν το έδαφος.

Τα πρωτογενή ορυκτά είναι χημικά αδρανή, ενώ τα αργιλικά ορυκτά είναι χημικά ενεργά επειδή τα μικροσκοπικά αργιλικά μόρια φέρουν πάνω στην επιφάνεια τους μια καθαρά αρνητική φόρτιση, που προκύπτει από την ιδιαίτερη ατομική δομή τους.

Τα μικροσκοπικά αργιλικά μόρια, έχουν ατομικές δομές που αποτελούνται από τετράεδρο πυριτίου και οκτάεδρο αργιλίου. Ένα Si^+ που περιβάλλεται από τέσσερα ιόντα οξυγόνου, σχηματίζει μια τετράεδρη (τεσσάρων εδρών) μονάδα και απεικονίζεται συμβολικά με ένα τραπέζιο. Ένα Al^{+3} που περιβάλλεται από έξι ιόντα υδροξυλίου σχηματίζει μια οκτάεδρη μονάδα και απεικονίζεται συμβολικά με ένα ορθογώνιο. Αυτά είναι τα πιο στοιχειώδη δομικά συμπλέγματα στη δομή των αργιλικών ορυκτών. Οι μονάδες **Si** ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν φύλλα πυριτίου και οι μονάδες **Al** ενώνονται για να σχηματίσουν μονάδες αργιλίου.

Το πυρίτιο και το αργίλιο στα φύλλα αυτά μπορούν να αντικατασταθούν μερικά με άλλα στοιχεία όπως το **Mg**, **Fe** και να προκαλέσουν ανισορροπία φόρτισης στις δομικές μονάδες. Τα αρχικά φύλλα έχουν μικροσκοπικές πυκνότητες των **7-2A°** για τον Καολινίτη, **10A°** για τον Ιλίτη, **9-6** έως **21A°** για τον Μοντμοριλλονίτη.

Τα φύλλα πυριτίου και τα φύλλα αργιλίου σχηματίζουν στοιβάδες από **Si-Al** ή ενώσεις **Si-Al-Si** για να σχηματίσουν τα ορυκτά Καολινίτη, Ιλίτη και Μοντμοριλλονίτη. Επειδή αυτά τα ορυκτά σχηματίζονται με στοιβάδες φύλλων, ονομάζονται φυλλοποιημένες ή διαστρωματωμένες δομές.

3.2.4 ΜΕΓΕΘΗ ΚΟΚΚΩΝ

Τα μόρια του εδάφους έχουν ακανόνιστες μορφές. Το μέγεθος του κόκκου έχει μόνο θεωρητική σημασία και ορίζεται σαν το ελάχιστο μέγεθος οπής του κόσκινου από όπου διέρχονται οι κόκκοι. Άλλος τρόπος ορισμού του μεγέθους είναι να το **θεωρήσουμε** ίσο με τη διάμετρο σφαίρας ίδιου

όγκου που είναι γνωστή σαν ισοδύναμη διάμετρος.

Στην εδαφική μάζα, τα μεγέθη των κόκκων μπορεί να κυμαίνονται από μέγεθος κροκάλας **μεγαλύτερης από 200 mm** μέχρι ένα κολλοειδές μέγεθος κόκκων **μικρότερο από 0,01 του μικρού (μ)**. Τα μεγέθη των κόκκων των χονδρόκοκκων κλασμάτων καθορίζονται συνήθως από το άνοιγμα της βροχίδας του κόσκινου μέσα από την οποία διέρχεται ο κόκκος.

3.2.5 ΣΧΗΜΑ ΚΟΚΚΩΝ

Τα μακροσκοπικά σωματίδια (χονδρόκοκκα) έχουν ακανόνιστα σχήματα κύβων, πρισμάτων ή σφαιρών και είναι γωνιώδη, στρόγγυλα ή επιμήκη.

Τα λεπτά κλάσματα έχουν σχήματα πλακών, νιφάδων, ράβδων ή σωλήνων. Το σχήμα τους εξαρτάται από την ορυκτολογική τους σύνθεση. Τα αργιλικά ορυκτά έχουν μορφές δύο φύλλων ή τριών φύλλων και έχουν σχήματα νιφάδων. Μερικές νιφάδες στοιβάζονται η μια πάνω στην άλλη και διαμορφώνουν το μέγεθος του μορίου της αργίλου.

Τα δύο χαρακτηριστικά, το μέγεθος και η μορφή, των στερεών συστατικών του εδάφους αλληλοσχετίζονται και αναφέρονται σαν η σύσταση του εδάφους. Είναι ένα φυσικό συσσωμάτωμα κόκκων που διαχωρίζεται με μηχανικό τρόπο. Οι κύριοι εδαφικοί ορίζοντες συμβολίζονται διεθνώς A-B-C

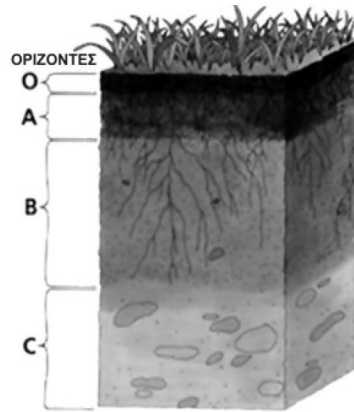
Ο ορίζοντας A είναι ο ανώτερος ορίζοντας πλούσιος σε οργανικές ουσίες που του προσδίδουν σκουρόχρωμη όψη. Τα αργιλικά υλικά του ορίζοντα αυτού, καθώς και άλλα ευκίνητα υλικά αποπλένονται και μεταφέρονται στους βαθύτερους ορίζοντες. Ο ορίζοντας B είναι ο ενδιάμεσος ορίζοντας στον οποίο συκρατούνται διάφορες χημικές ουσίες που προέρχονται από την απόπλυση του ορίζοντα A (οξειδία του σιδήρου, αργιλικά ορυκτά κ.ά.). Ο ορίζοντας C είναι ο κατώτερος εδαφικός ορίζοντας, που αποτελείται από μητρικό υλικό, μερικά αποσαθρωμένο. Ο ορίζοντας αυτός μπορεί να είναι οξειδωμένος (Cox) ή να περιέχει **CaCO₃** (Cca).

Κάτω από τον ορίζοντα C υπάρχει το μητρικό πέτρωμα.

Η οργανική ύλη αποτελείται από τμήματα φυτών (φύλλα, κλαδιά, κορμούς), οργανικά λείψανα και άμορφα υπολείμματα, γνωστά ως **humus**. Η ανάπτυξη του **humus** συνοδεύεται από έκλυση διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο προκαλεί μείωση του **pH** και δημιουργία όξινου περιβάλλοντος. Επιπλέον η παρουσία του αυξάνει την προσρόφιση νερού, καθώς και τις διεργασίες ιοντοανταλλαγής. Το χρώμα του εδάφους καθορίζει τις συνθήκες αποστράγγισης. Φτωχά σε αποστράγγιση εδάφη έχουν χρώμα κίτρινο, ενώ αντίθετα τα καλά αποστραγγισμένα αερίζονται καλά και έχουν χρώμα κόκκινο, λόγω οξείδωσης του σιδήρου.

Η ταξινόμηση των εδαφών με βάση τη διάμετρο των κόκκων, σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης είναι:

- Ογκόλιθοι ή και λίθοι (>300 mm)
- Κροκάλες (75-300 mm)
- Χάλικες (4,5-75 mm)
- Άμμος (0,075-4,75 mm)
- Ιλύς (0,002-0,075 mm)



➤ Άργιλος (<0,002 mm)

Σχήμα 3.6 : Κύριοι εδαφικοί ορίζοντες.

Στον κατωτέρω **Πίνακα 3.7** παρουσιάζεται η ταξινόμηση των εδαφών με βάση την κοκκομετρία (Moris-Johnson, 1967) και στον **Πίνακα 3.9** η ταξινόμηση με βάση το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης. Τα λεπτόκοκκα εδάφη έχουν μέγεθος κόκκων που είναι <0,075 mm. Τα χονδρόκοκκα εδάφη έχουν μέγεθος κόκκων που κυμαίνεται **μεταξύ 0,075 mm και 76,2 mm**. Ιδιαίτερη κατηγορία αποτελούν τα οργανικά εδάφη και η τύρφη.

Τα εδάφη διαχωρίζονται σε:

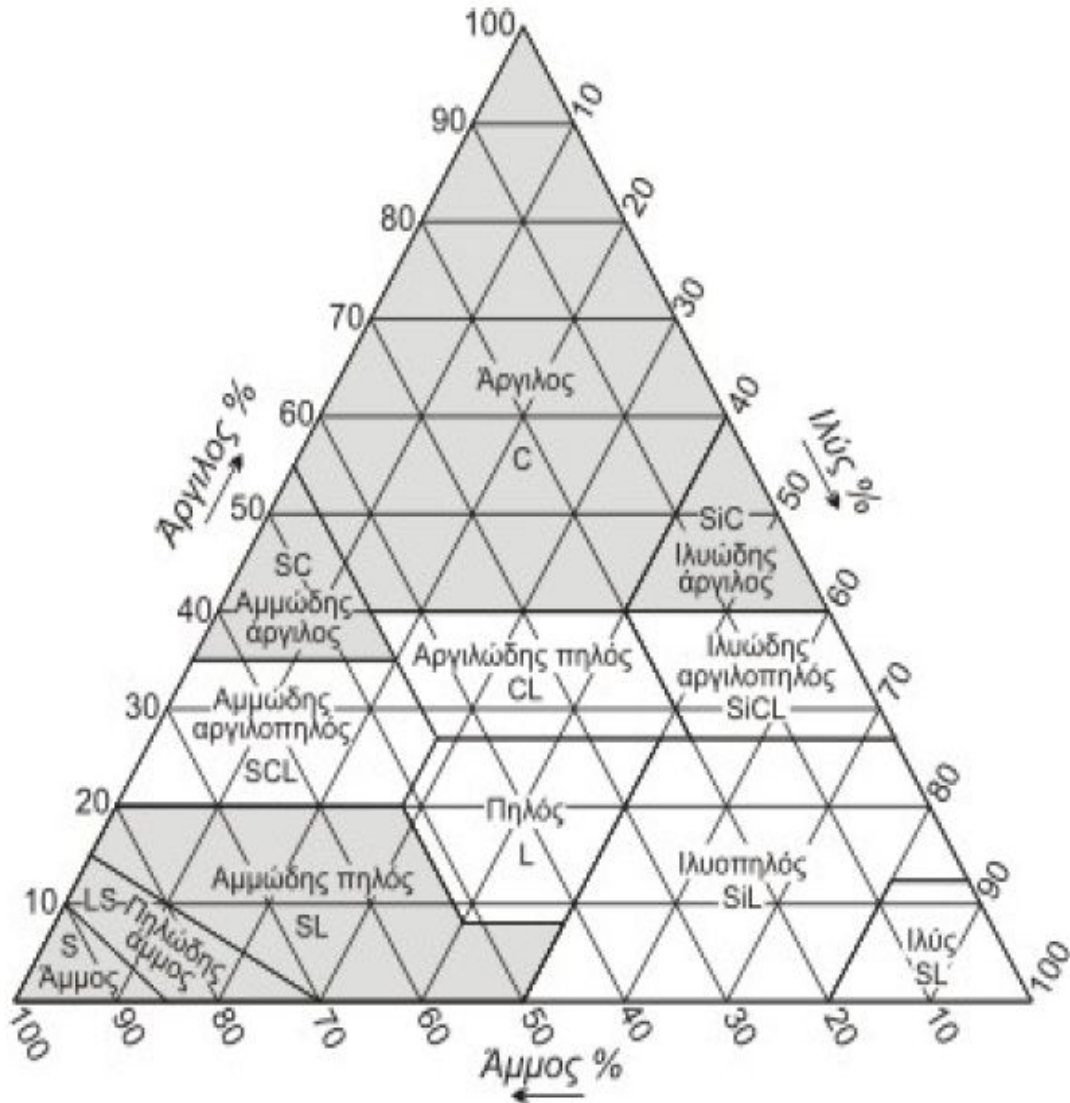
- 1) Συνεκτικά (λεπτόκοκκα, fine grained) και
- 2) μη συνεκτικά (κοκκώδη, coarse grained).

Τα μη συνεκτικά εδάφη χαρακτηρίζονται από την απουσία ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων τους, ενώ αντίθετα στα συνεκτικά μεταξύ των εδαφικών κόκκων αναπτύσσονται δυνάμεις συνοχής.

Πίνακας 3.7: Ταξινόμηση εδαφών με βάση την κοκκομετρία.

Υλικό	Μέγεθος κόκκων σε mm
Άργιλος	<0,004
Ίλύς	0,004-0,062
Πολύ λεπτόκοκκη άμμος	0,062-0,125
λεπτόκοκκη άμμος	0,125-0,25
Μεσόκοκκη άμμος	0,25-0,5
Χονδρόκοκκη άμμος	0,5-1,0
Πολύ χονδρόκοκκη άμμος	1,0-2,0
Πολύ μικρά χαλίκια	2,0-4,0
Μικρά χαλίκια	4,0-8,0
Χαλίκια μεσαίου μεγέθους	8,0-16,0
Χαλίκια μεγάλου μεγέθους	16,0-32,0
Χαλίκια πολύ μεγάλου μεγέθους	32,0-64,0

Η υφή (texture) καθορίζεται από τις αναλογίες αργίλου, ιλύος και άμμου. Εκτιμάται στην ύπαιθρο και χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των διεργασιών σχηματισμού των εδαφών. Συχνά θεωρείται σκόπιμος και πρακτικός ο διαχωρισμός των εδαφών σε ευρύτερες κατηγορίες: Αργιλώδη, Ιλώδη, Αμμώδη με αντίστοιχες υποδιαίρεσεις (Σχήμα 3.8)



Σχήμα 3.8. Ο διαχωρισμός των εδαφών σε Αργιλώδη, Ιλώδη, Αμμώδη

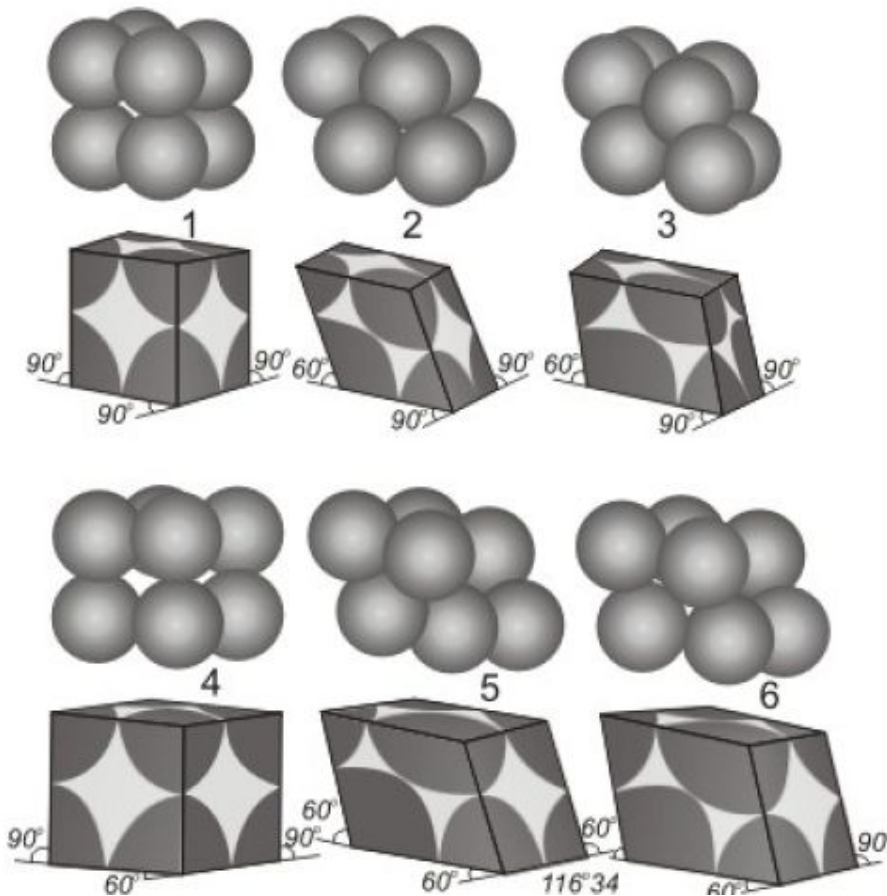
Περιγραφή		Σύμβολο	Τυπική Ονομασία
Χονδροκόκκα Εδάφη	Χαλίκια Λνω του 50% του κλάσματος έχει μέγεθος >4,699 mm	Καθαρά χαλίκια	GW Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια
			GP Χαλίκια χωρίς διαβάθμιση ή κακά διαβαθμισμένα
		Χαλίκια με λεπτόκοκκες προσμίξεις	GM Πλυομηγή χαλίκια
			GC Αργιλομηγή χαλίκια
	Άμμοι Λνω του 50% του κλάσματος έχει μέγεθος <4,699 mm	Καθαρές άμμοι	SW Καλά διαβαθμισμένες άμμοι
			SP Κακά διαβαθμισμένες άμμοι
		Άμμοι με λεπτόκοκκες προσμίξεις	SM Πλυομγείς άμμοι
			SC Αργιούχες άμμοι
Λεπτόκοκκα Εδάφη	Πηλίτες (Ιλύες και Αργίλοι)	LL < 50	ML Ανόργανες ιλύες και πολύ λεπτόκοκκες άμμοι, ελαφρά πλαστικότητα
			CL Ανόργανες άργιλοι χαμηλής ως μέτριας πλαστικότητας
			OL Οργανικές ιλύες και ιλυούχες άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
		LL > 50	MH Ανόργανες ιλύες, ελαστικές ιλύες
			CH Ανόργανες ιλύες υψηλής πλαστικότητας
			OH Οργανικές άργιλοι μέτριας ως υψηλής πλαστικότητας
		PT Τύφφη και άλλα οργανικά εδάφη	

Πίνακας 3.9. Ταξινόμηση εδαφών με βάση το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης.

Ενεργό μέγεθος (effective size) κόκκων είναι η διάμετρος εκείνη, η οποία είναι ίση με τη διάμετρο εκείνου του κόσκινου που συγκρατεί το **90%** του υλικού που κοσκινίσθηκε ή που επιτρέπει να περάσει το **10%**. Η ενεργή διάμετρος (d_{90}) αντιστοιχεί στο λεπτόκοκκο υλικό που πληρώνει τα διάκενα και καθορίζει την τιμή του ολικού πορώδους. Υπολογίζεται από την αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη.

Από την ενεργή διάμετρο (d_{90}) υπολογίζεται εμπειρικά ο συντελεστής υδροπερατότητας ή υδραυλικής αγωγιμότητας (k) με διάφορους τύπους.

Η διάταξη των κόκκων παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της τιμής του ολικού πορώδους. Στο **Σχήμα 3.10** παρουσιάζονται έξι διαφορετικοί τύποι διάταξης σφαιρικών κόκκων με την ίδια διάμετρο. Το ολικό πορώδες για κάθε τύπο διάταξης είναι **47.6%**, **39.5%**, **26%**, **39.5%**, **30.2%**, και **26%** αντίστοιχα.



Σχήμα 3.10. Έξι διαφορετικοί τύποι διάταξης σφαιρικών κόκκων με την ίδια διάμετρο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΜΜΟ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Άμμος ονομάζεται γενικά κάθε συσώρευμα μικρών κόκκων πετρωμάτων ή ορυκτών, οι οποίοι παραμένουν ασύνδετοι μεταξύ τους. Για να θεωρηθεί όμως ως άμμος ένα συσώρευμα, θα πρέπει οι κόκκοι από τους οποίους αποτελείται να έχουν διάμετρο μικρότερη των 6 χιλιοστών.

Εικονα 4.1. Φυσική άμμος

Στη πράξη λογίζεται ως άμμος εκείνη της οποίας οι κόκκοι φθάνουν σε διάμετρο το 1 χιλιοστό. Εξ αυτού, ανάλογα του μεγέθους, η άμμος διακρίνεται σήμερα στις ακόλουθες κατηγορίες:

- "Χοντρή άμμος" (με μέγεθος κόκκου από 0,50 μέχρι 1 χιλιοστό)
- "Μέτρια λεπτή" ή "μέτρια χοντρή" (από 0,25 μέχρι 0,50 χιλιοστά)
- "Λεπτή άμμος" ή "ψιλή άμμος" (από 0,10 ,μέχρι 0,25 χιλιοστά),
(προσφιλής ονομασία πολλών ακτών)
- "Λεπτότατη άμμος" ή "πολύ ψιλή άμμος" (από 0,05 μέχρι 0,10 χιλιοστά).

Από το όριο των 0,05 χιλ. και κάτω το συσώρευμα χαρακτηρίζεται ως μόρια λάσπης (ιλύος).

Οι κόκκοι της άμμου προέρχονται ως επί το πλείστον από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και μερικές φορές από την κατάθρυψή τους. Ανάλογα με το είδος των υλικών που περιέχονται σε μεγαλύτερη ποσότητα στην άμμο, λέγονται χαλαζιακές, γλαυκοφανιτικές, μαρμαρυγιακές, γρανιτοφόρες, αστριούχες και λιγνιτούχες.

Όταν είναι χρωματισμένη κόκκινη από οξειδία του σιδήρου, λέγεται σιδηρική ή σιδηρούχος. Επίσης, είναι δυνατό να είναι αργιλούχος, βιτουμενιούχος, χουμοφόρος και ασβεστολιθική. Η ηφαιστειακή άμμος, η οποία σκορπίζεται στον αέρα κατά τις εκρήξεις των ηφαιστείων, ονομάζεται ηφαιστειακή σποδός.

Όταν, με τη διεργασία της διαγένεσης, οι κόκκοι της άμμου υποστούν συγκόλληση, δίνουν πέτρωμα που ονομάζεται ψαμμίτης. Το χρώμα της άμμου καθορίζεται απο τα πετρώματα της.

Ανάλογα με τη φύση των συστατικών της, η άμμος χρησιμοποιείται με πολλούς τρόπους. Η άμμος που αποτελείται από κόκκους καθαρού διοξειδίου του πυριτίου, χρησιμοποιείται στην υαλουργία για την κατασκευή του υάλου. Η δομική άμμος που χρησιμοποιείται στα κονιάματα είναι προϊόν προσχωσιγενές. Ασβεστολιθική και πυριτική άμμος εξάγεται από ορυχεία επιφάνειας, που λέγονται αμμωρυχεία.

Ένα άλλο είδος άμμου είναι η άμμος των χυτηρίων, που χρησιμεύει για την κατασκευή μητρών και πρέπει να παρουσιάζει διάφορες ιδιότητες, κυρίως πλαστικότητα και συνοχή, για να είναι οι μήτρες λεπτές και διαρκείας επίσης πρέπει να είναι πυρίμαχη, να μην αποσυντίθεται ή παραμορφώνεται λόγω επαφής με τον λιωμένο σίδηρο, να είναι πορώδης και περατή.

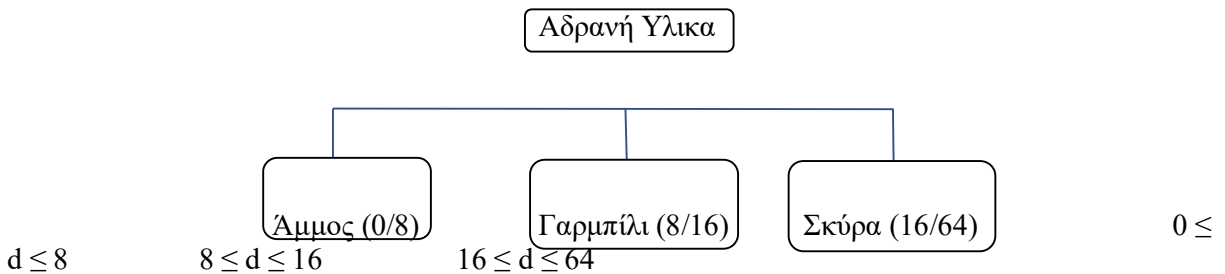
4.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΕΣ ΑΜΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Κοκκομετρική διαδικασία και ανάλυση

Κοκκομερική ανάλυση των αδρανών λεγεται ο προσδιορισμός της αναλογίας με την οποία περιέχονται τα διάφορα μεγέθη κοκκών στον αδρανές υλικό.

Ο κοκκομετρικός διαχωρισμός των αδρανών γίνεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν κυκλικές ή τετραγωνικές τρύπες, σύμφωνα με τον αντιστοιχο κανονισμό.

Διαχωρισμός των αδρανών υλικών, ανάλογα με το μέγεθος των κοκκών τους:



Μικρότερος αριθμός: Διάμετρος που έχουν οι τρύπες του κόσκινου που συγκρατεί του κόκκους των αδρανών αυτής της κατηγορίας.

Μεγαλύτερος αριθμός: Μεγαλύτερη διάμετρος που μπορούν να έχουν οι κόκκοι των αδρανών που περιλαμβάνονται σε αυτής τη κατηγορία.

Για το πείραμα χρησιμοποιείται εδαφος S2 (Γαλλική άμμος) και εποδειδική ρητινή.

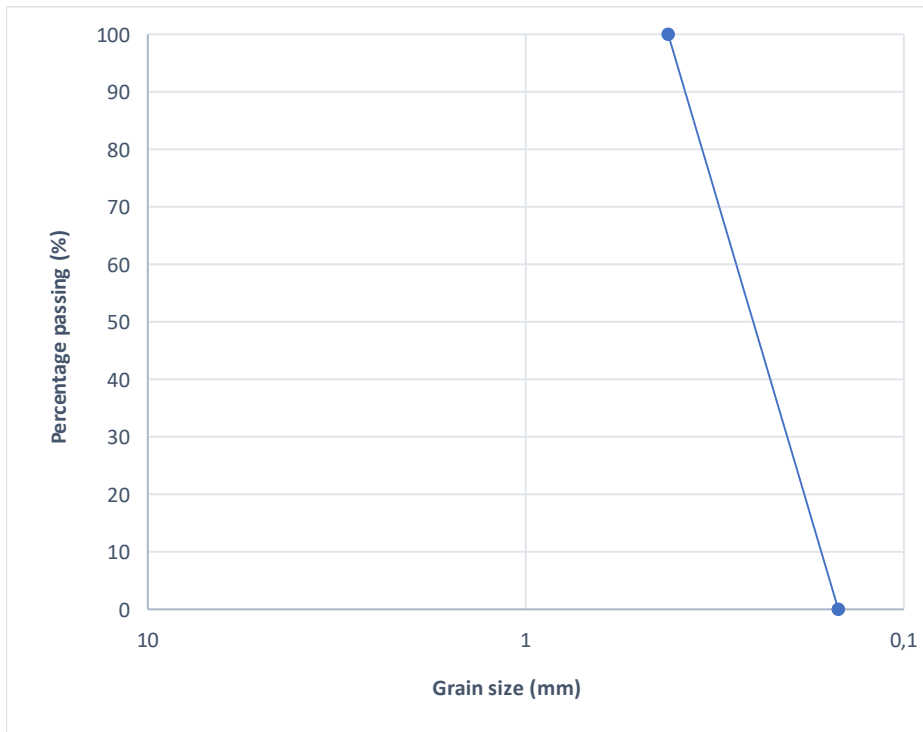
Άμμος S2 \wedge ER/W =1/2

Κοκκομετρίες-άμμων

	Silty clay	Sandy silt
0.074	100	
0.06	91.37	
0.0358		
1	81.4	
0.01	61.3	
0.002	42	
0.0013	35	
0.84		100
0.15		80
0.075		60
0.0358		
1		40
0.01		15
0.002		10

Κοκκομετρία ρευστοποιήσιμης άμμου

No 40	0.42		100
No 100	0.149		0



Πίνακας 4.2 Διάγραμμα διέλευσης κοκκων αμμου. Αξονας X: μέγεθος κόκκων, Y: Ποσοστό διέλευσης.

Η αναλογίες νερού–εποξειδικής-σκληρυντή που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:

Ποσοστά Μπετονίτη	H ₂ O (gr)	ER (gr)	Σκληρυντής (gr)	Μπετονίτης (gr)
0%	333	119.3	47.7	–
0%	166.5	59.6	23.8	–
1.5%	380	136.3	54.5	5.7
2.5%	380	136.3	54.5	9.5
5.0%	380	136.3	54.5	19

Κατα την αρχή της πειραματικής διαδικασίας, με ποσοστό μπετονίτη 0%, η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε ήταν 333,0gr.

Έπειτα παρόλο που η ποσότητα νερού μειώθηκε στο μισό της αρχικής, δηλαδή 166,5gr τα αποτελέσματα κατά την ανάμειξη ήταν τα ίδια με τα αρχικά.

Τα δοκίμια με 0% ποσοστό μπετονίτη παρασκευάστηκαν στις 21/03/2018.

Τα δοκίμια με 1.5% ποσοστό μπετονίτη παρασκευάστηκαν στις 22/03/2018.

Τα δοκίμια με 2.5% ποσοστό μπετονίτη παρασκευάστηκαν στις 23/03/2018.

Τα δοκίμια με 5% ποσοστό μπετονίτη παρασκευάστηκαν στις 27/03/2018.

Φ και c για ER W%3d0.5

Γωνία τριβής φ

	0% B	1.5% B	2.5%	5% B
S2	24.68	34.85	37.28	31.59

Συνοχή c (kPa)

	0% B	1.5% B	2.5%	5% B
S2	110	140	100	110

S2 (untreated): 28.61°

ΚΕΦΑΛΑΙΟ : 5

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε πέντε φάσεις:

- Κοπή και λείανση σωλήνων PVC, για την χρήση τους ως μήτρες των δοκιμίων.
- Παρασκευή δοκιμίων.
- Σκλήρυνση των δοκιμίων για 7, 28, 90 ημέρες.
- Καταπόνηση των δοκιμίων σε δοκιμές:
 - i. Μονοαξονικής θλίψης.
 - ii. Τριαξονικής θλίψης.
- Καταγραφή των αποτελεσμάτων και επεξεργασία αυτών.

Για την διεκπεραίωση της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα είδη υλικών για τα οποία ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή.

Τα κύρια υλικά, που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων είναι τα παρακάτω:

1. Γαλλική άμμος (Εικόνα 5.1.1)

Σε ό,τι αφορά την άμμο που χρησιμοποιήθηκε ήταν πρότυπη γαλλική φυσική άμμος, που προέρχεται από ποταμίσιες αποθέσεις, σύμφωνη με τα πρότυπα EN 196-1. Με το κατάλληλο πλύσιμο και κοσκίνισμα η άμμος ήταν καθαρή με κυκλικό σχήμα και σχετικά ισομετρικά σωματίδια. Το μέγεθος των κόκκων κυμαινόταν από 0,074mm έως 2mm. Ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι $C_u=4.64$, ενώ έχει χαρακτηριστεί ως κακώς διαβαθμισμένη σύμφωνα με την ταξινόμηση USCS.

Επιπλέον οι φυσικές ιδιότητες της άμμου με σχετική πυκνότητα 50% είναι οι ακόλουθες:

- Ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_d) ίσο με 15.8 KN/m^3 ($\gamma_d= 15.8 \text{ kN/m}^3$)
- Κορεσμένο φαινόμενο βάρος γ_{sat} ίσο με $20,16 \text{ KN/m}^3$ ($\gamma_{sat} = 20,16 \text{ KN/m}^3$)
- Συντελεστής ομοιομορφίας c_u ίσος με 4,64 ($c_u=4,64$)
- Πορώδες **41.6%**
- Συντελεστή διαπερατότητας (k) ίσο με 4.10^{-4} m/s . ($k= 4.10^{-4} \text{ m/s}$)
- Η γωνία τριβής ϕ είναι 32.3° και προσδιορίστηκε από δοκιμές απευθείας διάτμησης σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM D 3080-04. ($\phi= 32.3^\circ$)

2. Υδατοδιαλυτή Εποξειδική Ρητίνη αποτελούμενη από:

- Την εποξειδική ρητίνη (Συστατικό Α) (**Εικόνα 5.1.2**)
- Τον σκληρυντή (Συστατικό Β) (**Εικόνα 5.1.3**)

Η εποξειδική ρητίνη είναι εμπορικό προϊόν, το οποίο μπορεί να βρεθεί με την επωνυμία EPOXY PRIMER-W και διανέμεται από την ελληνική εταιρεία ISOMAT A.E.. Είναι υδατοδιαλυτή και αποτελείται από δύο συστατικά: την εποξειδική ρητίνη και τον σκληρυντή. Η αναλογία του μίγματος κατά βάρος είναι: εποξειδική ρητίνη/σκληρυντής, A/B= 2,5/1. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή η εποξειδική ρητίνη, χωρίς την προσθήκη νερού, επιτυγχάνει την τελική της αντοχή μετά το πέρας 7 ημερών. Η μέγιστη θλιπτική αντοχή μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 70 MPa, ενώ η αντοχή σε κάμψη φτάνει τα 35 MPa και η αντοχή σε πρόσφυση έως και τα 3 MPa. Το ιξώδες των γαλακτώματων εποξειδικής ρητίνης, ιδίως όταν αναμιγνύονται με μεγάλες ποσότητες νερού, είναι λίγο μεγαλύτερο από το ιξώδες του νερού. Το χαμηλό ιξώδες του γαλακτώματος εποξειδικής ρητίνης σε συνδυασμό με τα μικρού μεγέθους διασκορπισμένα σωματίδια ρητίνης (25-100 nm) στο νερό, επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση του υλικού για σκοπούς έγχυσης-ένεσης, ακόμη και σε ιδιαίτερα λεπτή άμμο.

3. Νερό (**Εικόνα 5.1.4**)

Πόσιμο νερό από το δίκτυο ύδρευσης του Α.Τ.Ε.Ι.Θ. Για την ρίψη νερού στο μείγμα χρησιμοποιήθηκε ογκομετρικός κύλινδρος μεταφοράς νερού. (**Εικόνα 5.1.5**)

4. Μπετονίτης.

Ο μπετονιτης χρησιμοποιήθηκε στο τρίτο κύκλο παρασκευής δοκιμίων, με ποσοστό 1,5% ήταν κοινός ασβεστούχος μπετονίτης.

Σημείωση: Οι πρώτοι δύο κύκλοι είχαν ποσοστό μπετονίτη 0%.



Εικόνα 5.1.1: Γαλλική άμμος



Εικόνα 5.1.2: Εμπορική συσκευασία υδατοδιαλυτής εποξειδικής ρητίνης (Συστατικό Α) Epoxyprimer-W.



Εικόνα 5.1.3: Εμπορική συσκευασία σκληρυντή (Συστατικό Β Epoxyprimer-W)



Εικόνα 5.1.4: Πόσιμο νερό από το δίκτυο ύδρευσης του Α.Τ.Ε.Ι.Θ.



Εικόνα 5.1.5: Ογκομετρικός κύλινδρος μεταφοράς νερού



Εικόνα 5.1.6: Ζυγαριά ακρίβειας 0.1γρ.

5.1.2 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Για την παρασκευή των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε άμμος συγκεκριμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης (λεπτόκοκκη), η οποία ήταν αποθηκευμένη και διαθέσιμη στο εργαστήριο του ΑΤΕΙΘ, από προηγούμενα πειράματα.

Αφού τα απαραίτητα υλικά είχαν συγκεντρωθεί, ακολούθησε η διαδικασία της ζύγισης, όπου μετρήθηκε η ακριβής ποσότητα εποξειδικής ρητίνης, σκληρυντή, νερού αλλά και μπετονίτη στο τρίτο κύκλο.

Μετά την ζύγιση των παραπάνω υλικών, περάσαμε στην τοποθέτηση τους στο δοχείο του αναδευτήρα πολλών στροφών για την διαδικασία ανάδευσης. Η διαδικασία αυτή διαρκούσε κατά μέσο 10 λεπτά της ώρας, με σκοπό την διάλυση της εποξειδικής ρητίνης στο νερό και τη δημιουργία ενός ομογενοποιημένου μείγματος.

Αφού η ανάδευση είχε ολοκληρωθεί περάσαμε στη ζύγιση της κοσκινισμένης άμμου προτού την ρίψη της στο δοχείο. Έπειτα ακολούθησε η σταδιακή ρίψη της σε κατάλληλη ποσότητα σε ξεχωριστό δοχείο, όπου και είχε τοποθετηθεί το μείγμα μετά την ανάδευση του, με σκοπό τον εμποτισμό και την αναδευση της με σχετική ευκολία, αφού αν γινόταν ολική ρίψη της, το μείγμα θα γινόταν ιδιαίτερα σκληρό και η ανάδευση αρκετά δύσκολη.

Όλες οι μήτρες των δοκιμίων ήταν από σωλήνα τύπου PVC, κυλινδρικού σχήματος και είχαν το ίδιο ύψος και διάμετρο. Συγκεκριμένα το ύψος ήταν 10cm και η διάμετρος 5.9cm. **Εικόνα 5.2.1.** Οι οποίες στη συνέχεια αλείφτηκαν με γράσσο για την ρίψη του μείγματος, όπου και θα παραμείνει μέχρι να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη σκλήρυνση. Γράσσο τοποθετήθηκε και στον πυθμένα και περιμετρικά του εσωτερικού των μητρών αλλά και στην επιφάνεια επαφής του τραπεζιού με την μήτρα. **Εικόνα 5.2.2, 5.2.3.**

Η ενέργεια αυτή είχε ως σκοπό την ευκολότερη αποκόλληση των μητρών μετά το πέρας της σκλήρυνσης των δοκιμίων. Στη συνέχεια έγινε ρίψη του μείγματος στις μήτρες με μεγάλη προσοχή, ώστε να μην ξεχειλίσει το μείγμα. Η ρίψη πρέπει να πραγματοποιείται σε όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο, για να μην προλάβει να πήξει το μείγμα και γίνει αδύνατη η ρίψη του **Εικόνα 5.2.4.**

Κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης παρατηρήθηκε διαρροή νερού από τον πυθμένα των μητρών. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην περίσσεια του υγρού μείγματος λόγω, της πλήρους κάλυψης των πόρων του μίγματος. Στην αρχή υπήρχε λιμνάζων υγρό στην επιφάνεια του μίγματος, ενώ κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης το λιμνάζων υγρό υποχωρούσε σταδιακά και διαρρέονταν από τον πυθμένα της μήτρας. **Εικόνα 5.2.6.**

Μετά το πέρας 3 ημερών (κατά μέσο όρο) γινόταν αποσυναρμολόγηση των μητρών με ιδιαίτερη προσοχή, έτσι ώστε να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη αστοχία στα δοκίμια. Έπειτα τα δοκίμια αποκολλήθηκαν από τις μήτρες με μεγάλη προσοχή αφού χρησιμοποιήθηκε ειδικός τροχός κοπής για τον σωλήνα PVC. Το χρονικό διάστημα, το οποίο χρειαζόταν για να γίνει η αποσυναρμολόγηση των μητρών εξαρτιόταν από την εκάστοτε αναλογία εποξειδικής ρητίνης/νερό.

Όσο πιο υγρό ήταν το μείγμα, τόσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απαιτούνταν μέχρι την αποσυναρμολόγηση των μητρών ώστε να έχει επιτευχθεί η σκλήρυνση. Τα δοκίμια μετά την αποσυναρμολόγηση τους, συντηρούνται, πήζουν και σκληραίνουν στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η αποθήκευση τους έγινε σε κλειστό χώρο, σε συνθήκες δωματίου, χωρίς υγρασία.

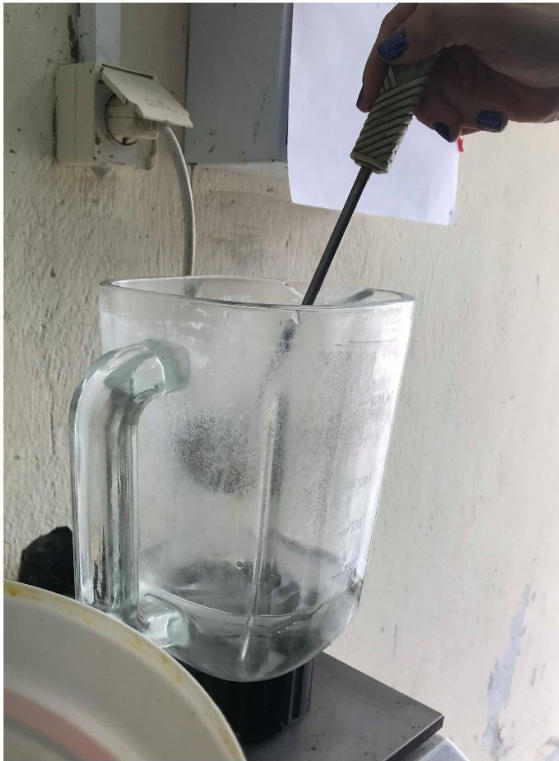
Σημειώνεται ότι μετά την σκλήρυνση του δοκιμίου σε μερικά δοκίμια παρατηρήθηκε στην επιφάνεια τους μια κρούστα, με χρώμα σκούρο κίτρινο, η οποία δημιουργήθηκε από την συγκέντρωση εποξειδικής ρητίνης στο σημείο αυτό. **Εικόνα 5.2.7**



Εικόνα 5.2.1. Μήτρες δοκιμίων απο σωλήνα τύπου PVC



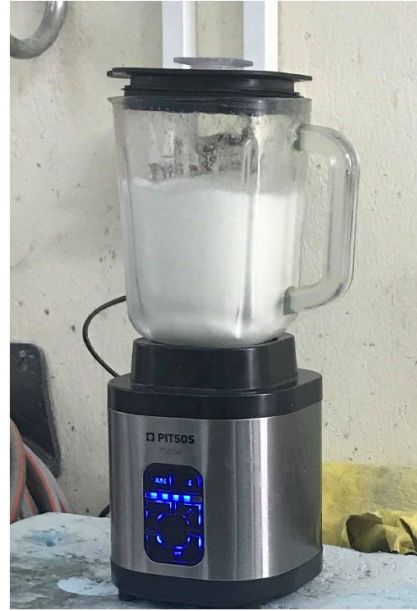
Εικόνα 5.2.3. Μήτρες δοκιμίων με την επάλειψη τους με γράσσο



Εικόνα 5.2.4. Σταδιακή ρίψη νερού στο δοχείο του αναδευτήρα.



Εικόνα 5.2.5. Σταδιακή ρίψη εποξειδικης ρητίνης στο δοχείο του αναδευτήρα.



Εικόνα 5.2.6. Ανάδευση των συστατικών στον αναδευτήρα πολλών στροφών.



Εικόνα 5.2.7. Λιμνάζων νερό στην επιφάνεια των δοκιμίων αλλά και την επιφάνεια τοποθέτησης τους, αμέσως μετά την ρίψη του μείγματος.



Εικόνα 5.2.8. Φαινόμενο διαρροής υγρού κατά την διάρκεια σκλήρυνσης του μείγματος.

5.2 ΜΕΤΡΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣΙΑΣ

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν τα απαιτούμενα **Μέτρα Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ)**. Λόγω της έντονης οσμής που εκλύεται από την εποξειδική ρητίνη και από τον σκληρυντή οι ερευνητές θα πρέπει να φοράνε ιατρικές μάσκες, που καλύπτουν τη μύτη και το στόμα (**Εικόνα 5.3.1**). Για την αποφυγή της επαφής του δέρματος με υλικά όπως εποξειδική ρητίνη, σκληρυντής, γράσο και λάδι, απαραίτητη είναι η χρήση ιατρικών γαντιών (**Εικόνα 5.3.2**).



Εικόνα 5.3.1: Μάσκα για την προστασία του προσώπου.



Εικόνα 5.3.2: Γάντια για την προστασία των χεριών.

5.2.1 ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΣΗΜΑΝΣΗ

Στο χώρο που πραγματοποιήθηκε η έρευνα, συγκεκριμένα στο εργαστήριο σκυροδέματος του Α.Τ.Ε.Ι.Θ., υπήρχε η απαιτούμενη σήμανση για την ασφάλεια και υγιεινή των ερευνητών. Συγκεκριμένα υπήρχαν προειδοποιητικές πινακίδες στα μηχανήματα που χρησιμοποιήθηκαν και στους τοίχους του εργαστηρίου, όπως φαίνεται και στις **Εικόνες 5.3.3, 5.3.4, 5.3.5, 5.3.6.**



Εικόνα 5.3.3: Σήμανση για υποχρεωτική συμπεριφορά, απαγόρευση, κίνδυνο και προειδοποίηση στους τοίχους του εργαστηρίου.



Εικόνα 5.3.4: Προειδοποιητική πινακίδα κινδύνου.



Εικόνα 5.3.5: Πινακίδα αγόρευσης αναρτημένη στο μηχάνημα θραύσης δοκιμίων.



Εικόνα 5.3.6: Πινακίδα προειδοποίησης κινδύνου ηλεκτροπληξίας.

5.2.2 ΚΟΥΤΙ ΠΡΩΤΩΝ ΒΟΗΘΕΙΩΝ

Ο χώρος του εργαστηρίου είναι εξοπλισμένος με κουτί πρώτων βοηθειών (βλέπε **Εικόνα 5.3.7**). Στο κουτί υπάρχει το ελάχιστο απαιτούμενο ιατροφαρμακευτικό υλικό:

- Σκεύασμα για κάψιμο/έγκαυμα (σε σωληνάρια ή πακέτα)
- Εσπνεύσιμη αμμωνία
- Σπασμολυτικό (πόννοι μαλακών μυών κλπ.)
- Επίδεσμοι γάζας των 0,10 x 2,50 m
- Τριγωνικός επίδεσμος (κρεμάθρα)
- Λευκοπλάστ ρολό
- Ψαλίδι
- Τσιμπίδα
- Ύφασμα λεπτό καθαρισμού
- Αντισηπτικό διάλυμα
- Υγρό σαπούνι σε πλαστική συμπιέσιμη φιάλη
- Ελαστικός επίδεσμος
- Αντισταμινική αλοιφή
- Αποστειρωμένες γάζες



Εικόνα 5.3.7: Κουτί πρώτων βοηθειών πλήρως εξοπλισμένο με ιατροφαρμακευτικό υλικό.

5.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

5.3.1 ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

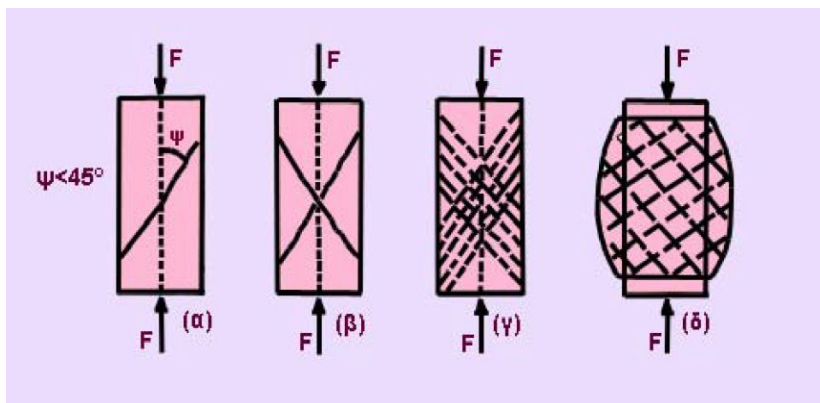
Με τον όρο θλίψη εννοούμε την απλή καταπόνηση κατά την οποία σε ένα δοκίμιο ασκούνται δύο ίσα και αντίθετα αξονικά φορτία με φορά τέτοια που να τείνουν να προκαλέσουν συμπίεση του δοκιμίου. Στην δοκιμή μονοαξονικής θλίψης συναντάμε συχνά τους όρους **θλιπτική τάση** και **θλιπτική παραμόρφωση**.

Η δοκιμή αυτή έχει σαν σκοπό τον άμεσο και ακριβή προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίων. Τα δοκίμια είναι ορθού κυλινδρικού σχήματος με λόγο ύψους (L) προς διάμετρο (D), L/D 2.0 μέχρι 3.0 και διάμετρο όχι μικρότερη από 54 mm. Τα άκρα του δοκιμίου είναι λεία και επίπεδα με μέγιστη απόκλιση 0.02 mm και παράλληλα μεταξύ τους, ώστε να μην αποκλίνουν από την κάθετο προς τον άξονα του δοκιμίου περισσότερο από 0.001 rad.

Η περιμετρική κυλινδρική επιφάνεια είναι ελεύθερη από προεξοχές, δηλαδή λεία, απαλλαγμένη από απότομες ανωμαλίες με μέγιστη απόκλιση από την ευθεία για όλο το μήκος του δοκιμίου 0.3 mm.

Η μονοαξονική (ανεμπόδιστη) θλίψη χρησιμοποιείται ευρύτατα, καθώς είναι η πλέον απλή δοκιμή. Η δοκιμή αυτή γίνεται μόνο σε συνεκτικά εδάφη, που μπορούν να φέρουν μονοαξονικό φορτίο. Τέτοια εδάφη είναι οι στιφρές άργιλοι, λεπτόκοκκης άμμου κ.α. όπου τα μορφωμένα δείγματα μπορούν να διατηρήσουν το σχήμα τους χωρίς την βοήθεια παράπλευρης πίεσης - εγκιβωτισμού.

Στην **Εικόνα 5.4.1.1** παρουσιάζονται τέσσερεις τρόποι αστοχίας δοκιμίων σε θλιπτικές συνθήκες.



Εικόνα 5.4.1.1: Τρόποι αστοχίας των δοκιμίων σε θλιπτικές συνθήκες

- α) Θραύση σε διάτμηση
- β) Συζυγής θραύση σε διάτμηση
- γ) Πολλαπλή θραύση σε διάτμηση
- δ) Αστοχία με διαρροή

Διαδικασία: Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η εργαστηριακή πρέσα δοκιμίων που βρίσκεται στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του ΑΤΕΙΘ. Το εδαφικό δοκίμιο τοποθετείται στο ειδικό μηχάνημα κοπής και λείανσης δοκιμίων. Το δοκίμιο κόβεται μόνον κατά τη διαμήκη διεύθυνση, αφού η διάμετρος του κυλινδρικού δοκιμίου θα παραμείνει σταθερή. Το τελικό μήκος πρέπει να έχει τιμή 10.5 cm (προσεγγιστικά).

Διαδικασία:

Αρχικά το εδαφικό δοκίμιο τοποθετείται στο ειδικό μηχάνημα κοπής και λείανσης και κόβεται μόνο κατά την διαμήκη διεύθυνση, αφού η διάμετρος του θα παραμείνει σταθερή.

Μετά τη μόρφωση του το δοκίμιο μετρήθηκε με το παχύμετρο (Εικόνα 4.42).

Ο μέσος όρος των μετρήσεων είχε τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Μήκος κυλινδρικού δοκιμίου: $L = 10.5 \text{ cm}$.
- Διάμετρος δοκιμίου: $D = 5.9 \text{ cm}$

Αφού λοιπόν έχει γίνει επαλήθευση των διαστάσεων του δοκιμίου με το παχύμετρο, ακολούθησε η τοποθέτηση του στην πρέσα για την δοκιμή θλίψης.

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η εργαστηριακή πρέσα δοκιμίων που βρίσκεται στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις του ΑΤΕΙΘ η οποία διαθέτει πλάκες όπου η μια πρέπει να έχει σφαιρική έδραση και η άλλη να είναι άκαμπτη και επίπεδη. Οι πλάκες αυτές έχουν πάχος μεγαλύτερο των 15 mm και οι επιφάνειες τους δεν πρέπει να αποκλίνουν του επιπέδου περισσότερο από 0,005 mm. Το δοκίμιο, οι χαλύβδινες πλάκες και η σφαιρική έδραση είναι κεντρωμένα σε σχέση με τον άξονα φόρτισης.

Σημειώνεται ότι μία επανάληψη (κύκλος) του δείκτη ισοδυναμεί με 1 mm παραμόρφωσης του δείγματος. Ουσιαστικά, αφού το δοκίμιο στη συγκεκριμένη περίπτωση καταπονείται σε δοκιμή θλίψης, η παραμόρφωση θα είναι βράχυνση. Η ένδειξη της εφαρμοζόμενης δύναμης εμφανίζεται ψηφιακά. Σημειώνεται ότι, η δυνατότητα μέτρησης της δύναμης που ασκούν οι πλάκες στο δοκίμιο εκφράζεται σε kN. Η ακρίβεια ένδειξης φτάνει πρώτο δεκαδικό ψηφίο.

Η φόρτιση γίνεται με ταχύτητα τάξης μεγέθους 1-5 mm/λεπτό. Λόγω της σχετικής υψηλής παραμορφωσιμότητας των δοκιμίων έναντι των δύσκαμπτων πλακών της συσκευής, το πείραμα γίνεται ουσιαστικά με έλεγχο των παραμορφώσεων (strain controlled). Κατά τον άξονα κατάλληλα διαμορφωμένου δοκιμίου (συνήθως κυλινδρικού) εφαρμόζεται ένα σταδιακά αυξανόμενο θλιπτικό φορτίο μέχρι τη θραύση του. Το πείραμα διαρκεί κάθε φορά 5-10 λεπτά. Η τάση που αντιστοιχεί στη θραύση αποτελεί την αντοχή του δοκιμίου σε μονοαξονική θλίψη και υπολογίζεται από την σχέση (5.4.1.2)

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Σχέση (5.4.1.2)

όπου:

σ : θλιπτική τάση σε MPa

F : δύναμη που ασκείται στο δοκίμιο σε kN

A : εμβαδόν διατομής σε mm^2

Παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της θλιπτικής αντοχής είναι:

- Η τριβή μεταξύ των πλακών επιβολής του φορτίου και των βάσεων του δοκιμίου.
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δοκιμίου όπως το σχήμα (κυλινδρικό, πρισματικό,

ακανόνιστο), ο λόγος του ύψους προς τη διάμετρο (“κανονικός” λόγος $h/d=2$) και το μέγεθος του δοκιμίου

- Ο ρυθμός φόρτισης
- Η υγρασία
- Η ορυκτολογική σύσταση δοκιμίου, μέγεθος κόκκων, πορώδες κ.α.

ΠΡΟΣΟΧΗ! Η υγρασία μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη θλιπτική αντοχή. Είναι καλύτερα οι δοκιμές να γίνονται στις ίδιες συνθήκες με αυτές που επικρατούν επιτόπου. Για αυτό και η ISRM προτείνει να γίνονται δοκιμές σε περιβάλλον $20\pm 2^\circ\text{C}$ και σχετική υγρασία 50%.

5.3.2 ΔΟΚΙΜΗ ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Η τριαξονική θλίψη, είναι η πλέον διαδεδομένη δοκιμή για τον προσδιορισμό της αντοχής των εδαφικών υλικών. Η δοκιμή αυτή παρέχει τιμές φ , c δηλαδή την γωνία εσωτερικής τριβής και της φαινόμενης συνοχής των δοκιμίων. Το πείραμα μπορεί να γίνει είτε σε αστράγγιστες συνθήκες (με μέτρηση ή όχι της πίεσης των πόρων και στερεοποίηση), είτε σε συνθήκες πλήρους στράγγισης (με στερεοποίηση). Με μία σειρά πειραμάτων (3 τουλάχιστον, ή π.χ. 2 και μία μονοαξονική θλίψη), όπου κάθε πείραμα μπορεί να αναπαρασταθεί με κύκλο Mohr, γίνεται η εκτίμηση των παραμέτρων αντοχής. Τα πειράματα ανάλογα με την κατηγορία (αστράγγιστα ή στραγγιζόμενα), κρατάνε από λίγες ώρες έως ημέρες.

Η δοκιμή τριαξονικής θλίψης είναι ουσιαστικά μία εξέλιξη της μονοαξονικής δοκιμής, όπου είναι δυνατό, ο έλεγχος της παράπλευρης τάσης - πίεσης ($\sigma_2=\sigma_3=\sigma_r$). Έτσι είναι δυνατή η διενέργεια πολλών δοκιμών με διαφορετικά σετ (σ_1, σ_3) που οδηγούν στην αστοχία, σχεδιασμός των αντίστοιχων κύκλων Mohr, της περιβάλλουσας αστοχίας και τέλος της εκτίμησης των παραμέτρων φ και c .

Επιπλέον είναι δυνατός ο έλεγχος της πίεσης - υπερπίεσης πόρων και των συνθηκών στράγγισης. Το εδαφικό δοκίμιο τοποθετείται στο ειδικό μηχάνημα κοπής και λείανσης δοκιμίων το οποίο φαίνεται στην. Το δοκίμιο κόβεται μόνον κατά τη διαμήκη διεύθυνση, αφού η διάμετρος του κυλινδρικού δοκιμίου θα παραμείνει σταθερή. Το τελικό μήκος πρέπει να έχει τιμή 10.5 cm (προσεγγιστικά).

Για την εκτέλεση της δοκιμής απαιτούνται οι παρακάτω συσκευές:

Συσκευή επιβολής αξονικού φορτίου (πρέσα).

Σύστημα εφαρμογής και μέτρησης πλευρικής πίεσης (πρέσα πλευρικής πίεσης).

Τριαονικό κελί υψηλών πιέσεων και ελαστικές μεμβράνες.

Συσκευή αξονικής φόρτισης (πρέσα)

Η συσκευή αυτή, είναι κατάλληλα εξοπλισμένη με μανόμετρο ή ηλεκτρονική ένδειξη για την εφαρμογή, τον έλεγχο και την μέτρηση του αξονικού φορτίου. Το φορτίο εφαρμόζεται συνεχώς και βαθμιαία στο δοκίμιο με σταθερή ταχύτητα φόρτισης 0.5-1.0 MPa/sec. Η θραύση του δοκιμίου πρέπει να επέλθει σε 5-15 min.

Σύστημα εφαρμογής και μέτρησης πλευρικής πίεσης (πρέσα πλευρικής πίεσης):

Περιλαμβάνει υδραυλική αντλία για την επιβολή σταθερής πλευρικής πίεσης, την οποία πρέπει να διατηρεί μια απόκλιση όχι μεγαλύτερη του 2% της επιθυμητής, καθώς επίσης και ένα κατάλληλο μηχανισμό για την μέτρηση της (μανόμετρο ή ηλεκτρονική ένδειξη).

Τριαξονικό κελί υψηλών πιέσεων: Στο κελί αυτό, τοποθετούνται τα δοκίμια τα οποία περιβάλλονται με αδιαπέρατη εύκαμπτη μεμβράνη. Το κελί είναι εξοπλισμένο με τέσσερις

χαλύβδινες προσθήκες, μια σφαιρική έδραση, όπου προσαρμόζονται ανά δύο στις άκρες του δοκιμίου και έχουν σκληρότητα όχι μικρότερη από HRC 58 κατά Rockwell, ενώ οι επιφάνειες δεν θα πρέπει να αποκλίνουν του επιπέδου περισσότερο από 0.005 mm. Το τριαξονικό κελί πρέπει να έχει κατάλληλη είσοδο για την πλήρωση του με νερό καθώς επίσης και βαλβίδα διαφυγής του αέρα (δύο ταχυσύνδεσμοι).

Περιγραφή πειράματος τριαξονικής δοκιμής

Η διαδικασία και μεθοδολογία της πειραματικής διαδικασίας διεκπεραιώνεται σε δύο φάσεις:

ΦΑΣΗ 1^η: Πλήρωση της πρέσας με νερό και με τη ρύθμιση των κατάλληλων βαλβίδων, το νερό κυκλοφορεί στο κύκλωμα.

ΦΑΣΗ 2^η: Διοχέτευση του νερού στην τρόμπα υψηλής πίεσης και παράλληλα εξαέρωση της.

Γίνεται σύνδεση της πρέσας πλευρικής πίεσης με το τριαξονικό κελί, με λάστιχο υψηλής πίεσης μέσο ταχυσυνδέσμου. Ρυθμίζεται η επιθυμητή πλευρική πίεση σ_3 στην ειδική συσκευή πλευρικής πίεσης με την βοήθεια αντιστοίχισης βαρών-πλευρικής πίεσης σ_3 . Τοποθετείται η μεμβράνη στο κελί και στη συνέχεια το δοκίμιο. Τοποθετούνται πάνω και κάτω οι δυο μεταλλικές προσθήκες, με τα σφαιρικά άκρα έξω από το κελί, ενώ απέχουν εξίσου από τα άκρα του κελιού. Πιέζονται ελαφρά ώστε να εφαρμόζουν σε όλη την επιφάνεια του δοκιμίου. Ρυθμίζονται οι κατάλληλες βαλβίδες μέχρι να ασκηθεί στο κελί μικρή πίεση (περίπου 2 bar), ώστε το δοκίμιο και οι δυο προσθήκες να συγκρατούνται πλέον από την πίεση.

Στρέφεται το κελί σε τέτοια θέση ώστε ο ελεύθερος ταχυσύνδεσμος (παίζει το ρόλο της βαλβίδας εξαέρωσης) να βρίσκεται προς τα πάνω και πιέζεται η μπίλια του ταχυσυνδέσμου ώστε να απομακρυνθεί ο εγκλωβισμένος αέρας. Εφαρμόζεται πάλι η μικρή πίεση στο κελί όπως παραπάνω. Τοποθετείται το κελί στην πρέσα αξονικής φόρτισης και εξασκείται ένα μικρό αξονικό φορτίο, ενώ συγχρόνως γίνεται ευθυγράμμιση του κελιού με τον άξονα φόρτισης.

Ανεβάζουμε την υδατική πίεση στο επιθυμητό σημείο. Το δείγμα είναι σε ομοιόμορφη - υδροστατική πίεση $\sigma_r = \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Μηδενίζουμε την μέτρηση κατακόρυφου φορτίου. Επιβάλουμε αξονικό φορτίο στο δείγμα (P). Μετράμε το φορτίο P και την αξονική παραμόρφωση Δl . Αυξάνονται προοδευτικά και ομοιόμορφα οι δυο πιέσεις (αξονική και πλευρική), μέχρι η αξονική και η πλευρική πίεση να εξισωθούν στην τιμή της επιθυμητής πλευρικής (σ_3). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αντλίας πλευρικής πίεσης, λαμβάνοντας υπόψη την αντιστοιχία πλευρικής πίεσης και ορθού φορτίου. Στην φάση αυτή πρέπει να σταθεροποιηθεί η πλευρική πίεση στην πρέσα. Αυτό γίνεται με κλείσιμο της κατάλληλης βαλβίδας και διατήρηση της μέσω ειδικού κομπλέρ. Τώρα πλέον το αξονικό φορτίο αυξάνεται συνεχώς και βαθμιαία ενώ η πλευρική πίεση διατηρείται σταθερή με απόκλιση από την επιθυμητή τιμή μικρότερη του 2%. Η τιμή της πλευρικής πίεσης (σ_3) και του αξονικού φορτίου (P) αναγράφονται στο δελτίο δοκιμής. Επίσης αναγράφονται τα στοιχεία του δείγματος και ότι άλλο κρίνεται απαραίτητο. Το δοκίμιο αστοχεί όταν με την αύξηση της παραμόρφωσης, το φορτίο μένει σταθερό ή μειώνεται. Καταγράφουμε το οριακό φορτίο για να κάνουμε τους υπολογισμούς αντοχής. Μετά την θραύση, γίνεται αποφόρτιση και των δυο πιέσεων αργά και ταυτόχρονα μέχρι να απελευθερωθεί το δοκίμιο με τις προσθήκες από την πίεση στο κελί. Στη συνέχεια απομακρύνονται οι προσθήκες και το δοκίμιο (χρησιμοποιώντας τον εξολκέα, αν είναι απαραίτητο)

Από τις υπολογιζόμενες αξονικές και πλευρικές τάσεις κατά τη θραύση σχεδιάζονται είτε οι αντίστοιχοι κύκλοι Mohr είτε διαγράμματα πλευρικής πίεσης σ_3 - αξονικής τάσης θραύσεως σ_1 και προσδιορίζονται οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής. Προσαρμόζεται η βέλτιστη καμπύλη, ή συνηθέστερα διάφορα ευθύγραμμα τμήματα για διαφορετικά τμήματα της καμπύλης. Κάθε ένα από αυτά τα ευθύγραμμα τμήματα χαρακτηρίζεται από την κλίση του m και το τμήμα b που ορίζεται στον άξονα y.

Χρησιμοποιώντας αυτές τις δυο παραμέτρους, οι παράμετροι διατμητικής αντοχής που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο εύρος πλευρικών πιέσεων, προκύπτουν από τις σχέσεις (4.3) και (4.4)

Γωνία τριβής φ :

$$\varphi = \arcsin \frac{m-1}{m+1} \quad (4.3)$$

Συνοχή c :

$$c = b \frac{1 - \sin\varphi}{2 * \cos\varphi} \quad (4.4)$$

5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα. Όσον αφορά την παρασκευή των δοκιμών οι ποσότητες των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι ακριβείς και να μην αποκλίνουν από αυτές που έχουν υπολογιστεί. Οποιαδήποτε μικρή διαφορά στην ποσότητα τους μπορεί να έχει ως αντίκτυπο τη μείωση της αντοχής των δοκιμών, τη μείωση της εργασιμότητας τους και άλλων σημαντικών ιδιοτήτων τους.

Κατά τη διαδικασία ανάδευσης του μίγματος η ρήψη της άμμου στο μίγμα θα πρέπει να είναι σταδιακή. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να προκύψει μίγμα με μεγάλη σκληρότητα και ελάχιστη εργασιμότητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί έπειτα να γίνει εύκολη ρήψη του μίγματος στα καλούπια, αλλά και την εμφάνιση ρωγμών στο τελικό δοκίμιο. Επίσης κατά την πειραματική διαδικασία δοκιμάστηκαν δύο υλικά επάλειψης των μητρών, μέσα στις οποίες γινόταν η σκλήρυνση των δοκιμίων. Τα δύο αυτά υλικά ήταν το γράσο και το λάδι.

Από τα αποτελέσματα αποδείχτηκε, ότι η αντοχή των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκε γράσο ήταν μικρότερη από αυτών που χρησιμοποιήθηκε λάδι. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το γράσο δεν επιτρέπει τη διαρροή της περίσσειας του νερού από το μίγμα, ενώ και κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης των δοκιμίων χωρίς τις μήτρες υπήρχε μία στρώση γράσου που περικλείει το δοκίμιο και δεν επέτρεπε το νερό να εξατμιστεί.

Σε όσα μίγματα παρατηρείται λιμνάζων νερό στην επιφάνεια τους, πρέπει να αφαιρείται με σύριγγα ή με οποιονδήποτε άλλο τρόπο. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή, για να αποφευχθεί η αφαίρεση οποιουδήποτε άλλου υλικού του μίγματος, εκτός του νερού.

Η περίσσεια νερού έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση της πήξης του δείγματος, με συνέπεια τη μικρότερη αντοχή των δοκιμίων.

Τα μίγματα με υψηλή περιεκτικότητα νερού ($ER/W=1/2$ και $1/1$) απαιτούν μεγαλύτερη διάρκεια παραμονής μέσα στα καλούπια, γιατί υπάρχει η περίπτωση θραύσης του κατά τη διάρκεια αφαίρεσης των καλουπιών. Υπήρξαν περιπτώσεις κατά τη πειραματική διαδικασία, όπου τα καλούπια των δοκιμίων αφαιρέθηκαν πρόωρα με αποτέλεσμα την καταστροφή των δοκιμίων. Έπειτα τα δοκίμια αυτά οδηγούνται υποχρεωτικά σε απόρριψη.

Πριν την καταπόνηση των δοκιμίων σε οποιαδήποτε μορφή δοκιμής (μονοαξονική θλίψη, εφελκυσμό κλπ) πρέπει να γίνεται προσεκτική λείανση των επιφανειών των δοκιμίων, έτσι ώστε οι πλάκες της πρέσας να εφάπτονται σε ολόκληρη την επιφάνεια των δοκιμίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ : 6

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ.

Μετά την πειραματική διαδικασία ακολουθεί η μελέτη και επεξεργασία των αποτελεσμάτων της. Τα δοκίμια καταπονήθηκαν στις παρακάτω δοκιμές:

- Δυναμική καταπόνηση
- Τριαξονική θλίψη

Προτού πραγματοποιηθεί μία δοκιμή μεσολαβούσε ο απαιτούμενος χρόνος σκλήρυνσης, που αντιστοιχεί σε κάθε δοκίμιο. Όσο μεγαλύτερος ήταν ο χρόνος σκλήρυνσης τόσο μεγαλύτερη ήταν και η αντοχή του δοκιμίου. Οι χρόνοι σκλήρυνσης των δοκιμίων είναι οι παρακάτω:

- 7 ημέρες
- 28 ημέρες
- 90 ημέρες

Τα δοκίμια χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητα τους σε εποξειδική ρητίνη και νερό αντίστοιχα. Οι αναλογίες είναι οι ακόλουθες:

- ER/W=1/2
- ER/W=1.5/1

6.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα των δοκιμών μετά μετά από την δυναμική καταπόνηση, με ποσοστά μπεντονίτη 0%, 1.5%, 2.5% και 5%.

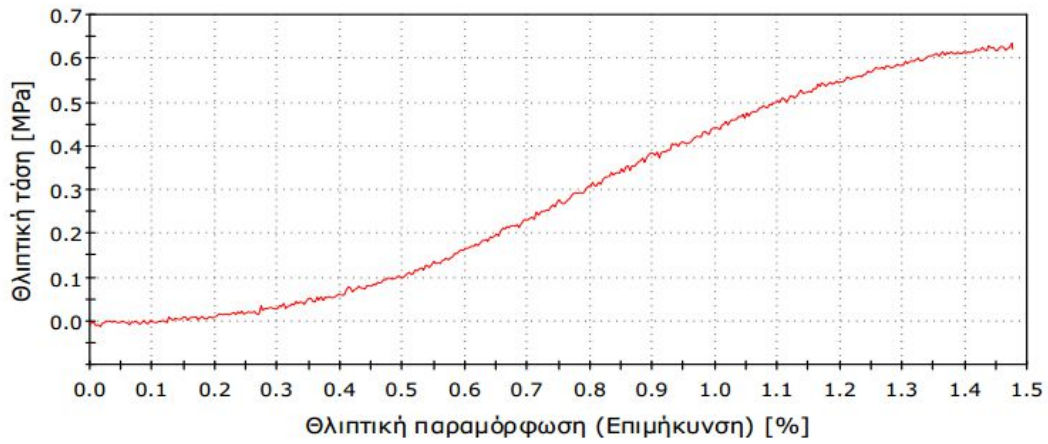
0% Betonite – 0% Μπετονίτης

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	1734,18	0,62	0,63
Μέση Τιμή		1734,18	0,62	0,63
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		1734,18	0,62	0,63
Μέγιστο		1734,18	0,62	0,63
Έυρος		0	0	0

Πίνακας 6.1: Πίνακας αποτελεσμάτων.

Διά
 γρα
 μμα
 6.1.
 1:
 Διά
 γρα
 μμα
 δοκι
 μίο
 υ
 θλιπ
 τικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

Δοκίμιο 1 έως 1



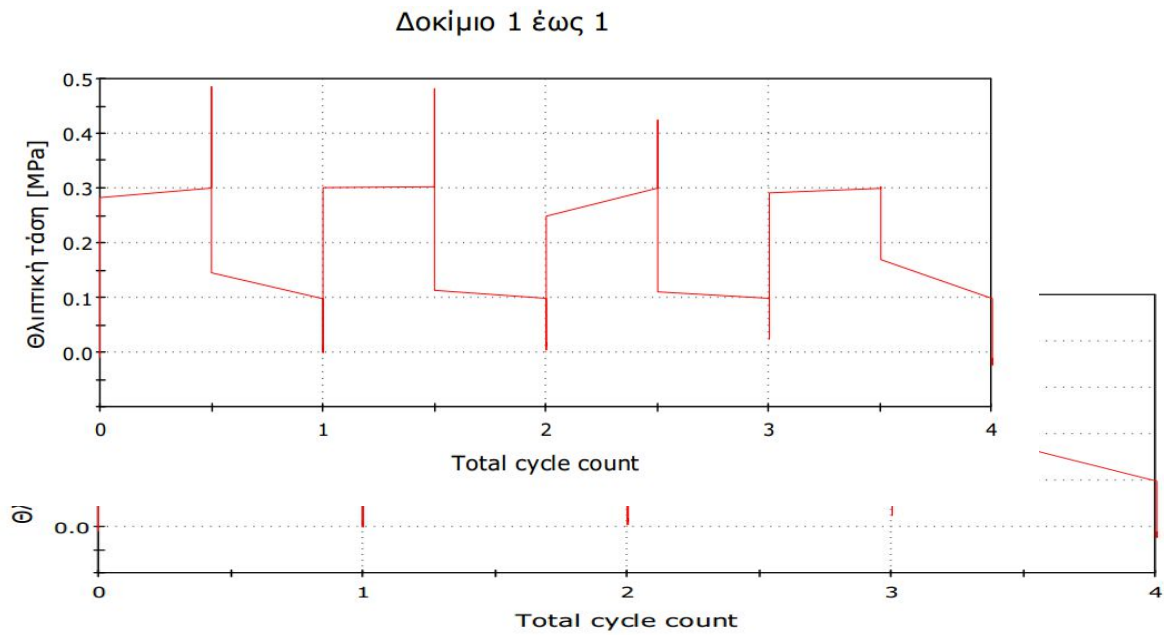
Πίνακας 6.2: Πίνακας αποτελεσμάτων.

	Ετικέτα δοκιμίου	Comp.at Max Comp. Load (mm)	Θλιπτική τάση Maximum Comp. Load (MPa)
	1	1,37	0,49
Μέση Τιμή		1,37	0,49
Τυπική απόκλιση		---	---

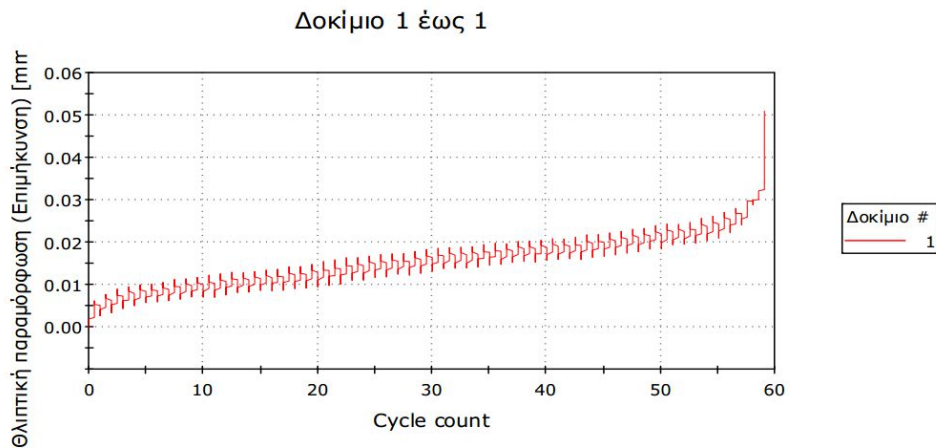
	Θλιπτική παραμόρφωση (Επιμήκυνση) σε Maximum Comp. Load (%)	Φόρτωση σε Maximum Comp. Load (N)	Ενέργεια σε Maximum Comp. Load (J)
	1,24	1326,41	1,09
Μέση Τιμή	1,24	1326,41	1,09
Τυπική απόκλιση	---	---	---

Διάγραμμα 6.2.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.

Διάγραμμα 6.2.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.



Διάγραμμα 6.2.3 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής παραμόρφωσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.

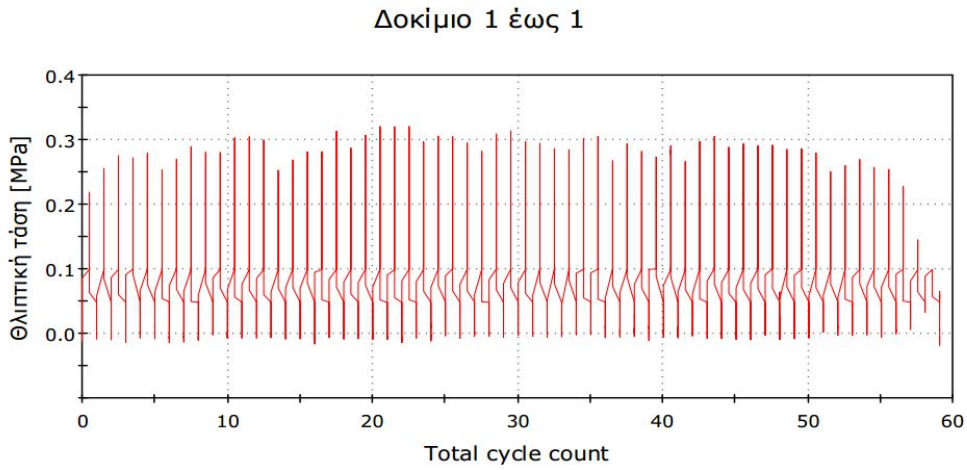


Πίνακας 6.3: Πίνακας αποτελεσμάτων.

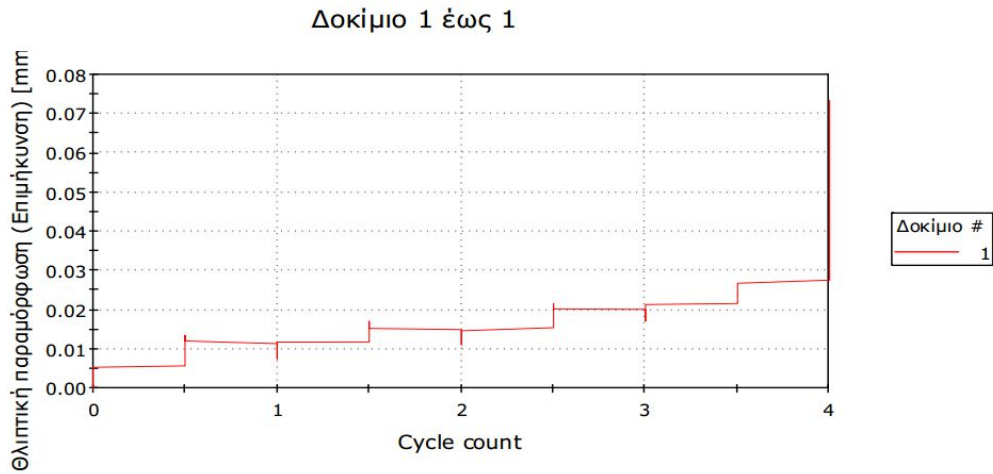
	Ετικέτα δοκιμίου	Comp.at Max Comp. Load (mm)	Θλιπτική τάση Maximum Comp. Load (MPa)
	1	1,78	0,32
Μέση Τιμή		1,78	0,32
Τυπική απόκλιση		---	---

	Θλιπτική παραμόρφωση (Επιμήκυνση) σε Maximum Comp. Load (%)	Φόρτωση σε Maximum Comp. Load (N)	Ενέργεια σε Maximum Comp. Load (J)
	1,54	876,49	3,19
Μέση Τιμή	1,54	876,49	3,19
Τυπική απόκλιση	---	---	---

Διάγραμμα 6.3.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.



Διάγραμμα 6.3.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής παραμόρφωσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.

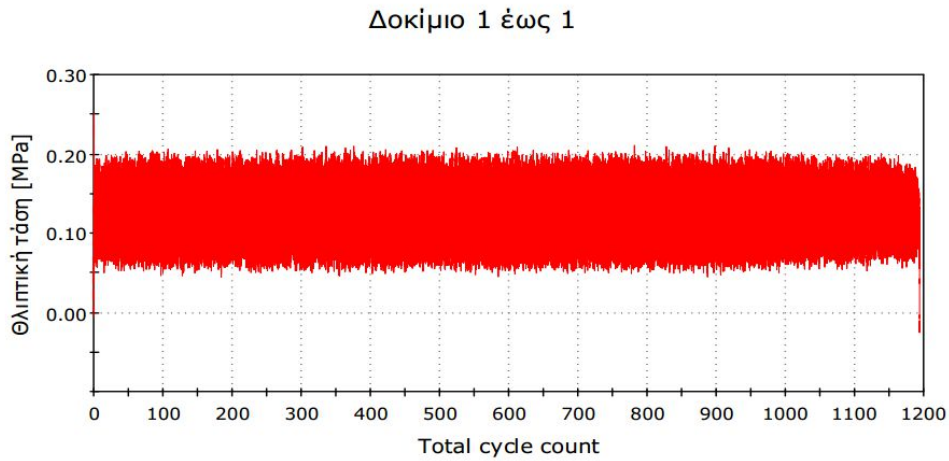


	Ετικέτα δοκιμίου	Comp.at Max Comp. Load (mm)	Θλιπτική τάση Maximum Comp. Load (Mpa)
	1	0,8	0,25
Μέση Τιμή		0,8	0,25
Τυπική απόκλιση		---	---

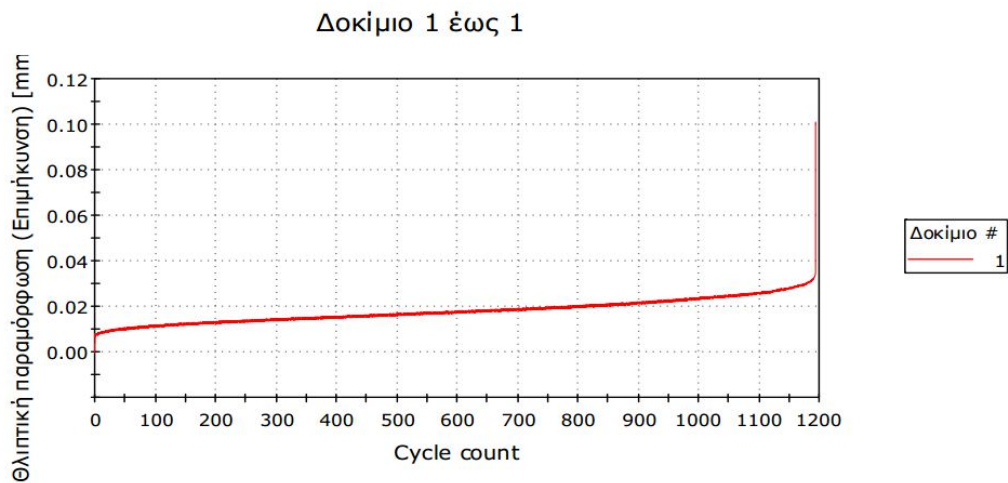
	Θλιπτική παραμόρφωση (Επιμήκυνση) σε Maximum Comp. Load (%)	Φόρτωση σε Maximum Comp. Load (N)	Ενέργεια σε Maximum Comp. Load (J)
	0,77	684,56	0,29
Μέση Τιμή	0,77	684,56	0,29
Τυπική απόκλιση	---	---	---

Πίνακας 6.4: Πίνακας αποτελεσμάτων.

Διάγραμμα 6.4.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.



Διάγραμμα 6.4.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής παραμόρφωσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.

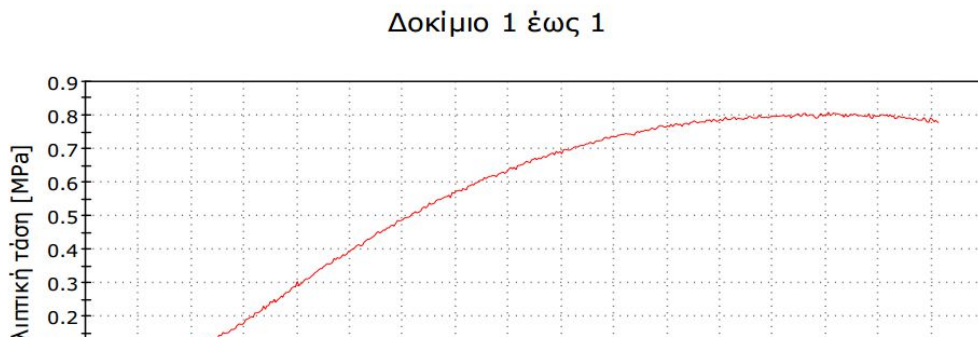


1,5% Betonite – 1,5% Μπετονίτης

Πίνακας 6.5: Πίνακας αποτελεσμάτων.

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	2208,5	0,74	0,81
Μέση Τιμή		2208,5	0,74	0,81
Τυπική απόκλιση		-----	-----	-----
Ελάχιστο		2208,5	0,74	0,81
Μέγιστο		2208,5	0,74	0,81
Έυρος		0	0	0

Διάγραμμα 6.5.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.

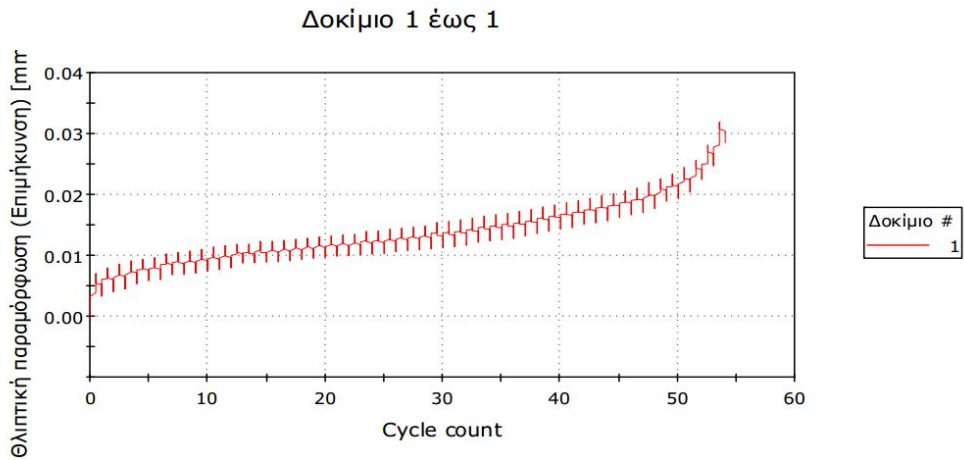


Πίνακας 6.6: Πίνακας αποτελεσμάτων.

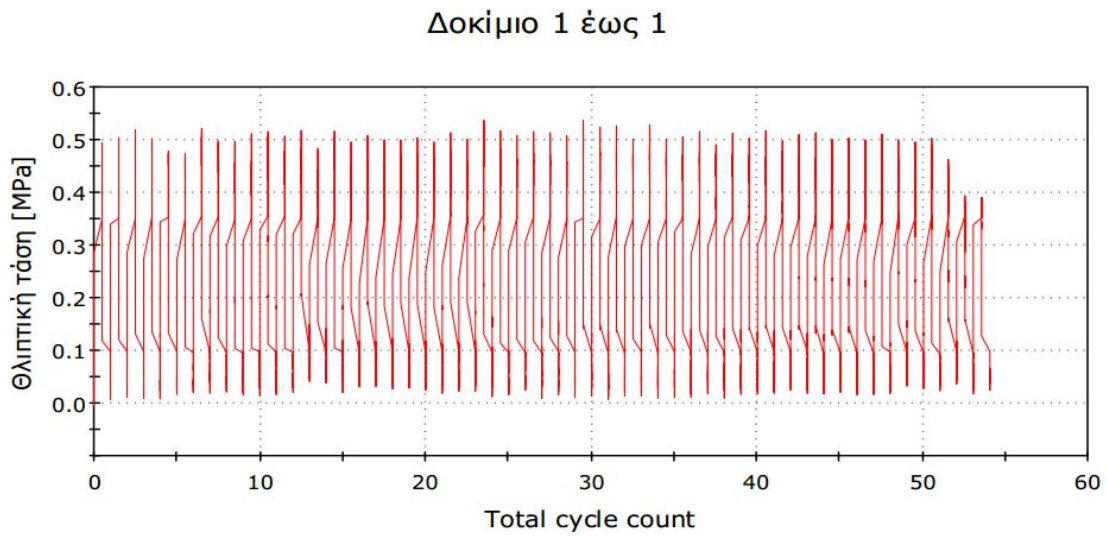
	Ετικέτα δοκιμίου	Comp.at Max Comp. Load (mm)	θλιπτική τάση Maximum Comp. Load (Mpa)
	1	1,47	0,54
Μέση Τιμή		1,47	0,54
Τυπική απόκλιση		---	---

	θλιπτική παραμόρφωση (Επιμήκυνση) σε Maximum Comp. Load (%)	Φόρτωση σε Maximum Comp. Load (N)	Ενέργεια σε Maximum Comp. Load (J)
	1,41	1469,18	4,01
Μέση Τιμή	1,41	1469,18	4,01
Τυπική απόκλιση	---	---	---

Διάγραμμα 6.6.1: Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής παραμόρφωσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.



Διάγραμμα 6.6.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής παραμόρφωσης και σύνολο κύκλων που ολοκλήρωσε το δοκίμιο.

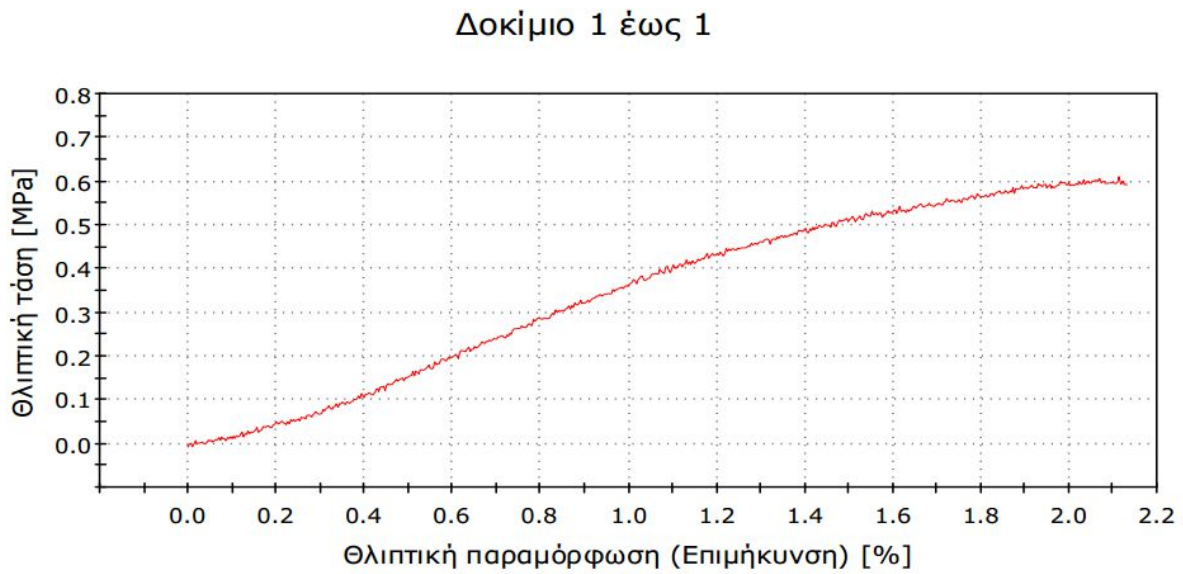


2,5% Betonite – 2,5% Μπετονίτης

Πίνακας 6.7: Πίνακας αποτελεσμάτων.

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	1669,91	0,51	0,61
Μέση Τιμή		1669,91	0,51	0,61
Τυπική απόκλιση		-----	-----	-----
Ελάχιστο		1669,91	0,51	0,61
Μέγιστο		1669,91	0,51	0,61
Έυρος		0	0	0

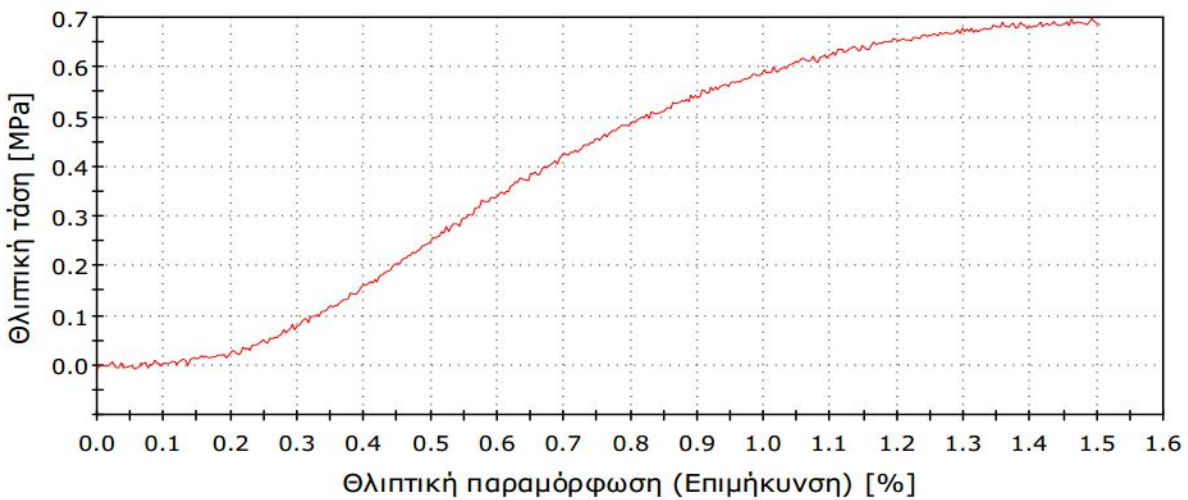
Διάγραμμα 6.7.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση..



	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	1906,35	0,63	0,7
Μέση Τιμή		1906,35	0,63	0,7
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		1906,35	0,63	0,7
Μέγιστο		1906,35	0,63	0,7
Έυρος		0	0	0

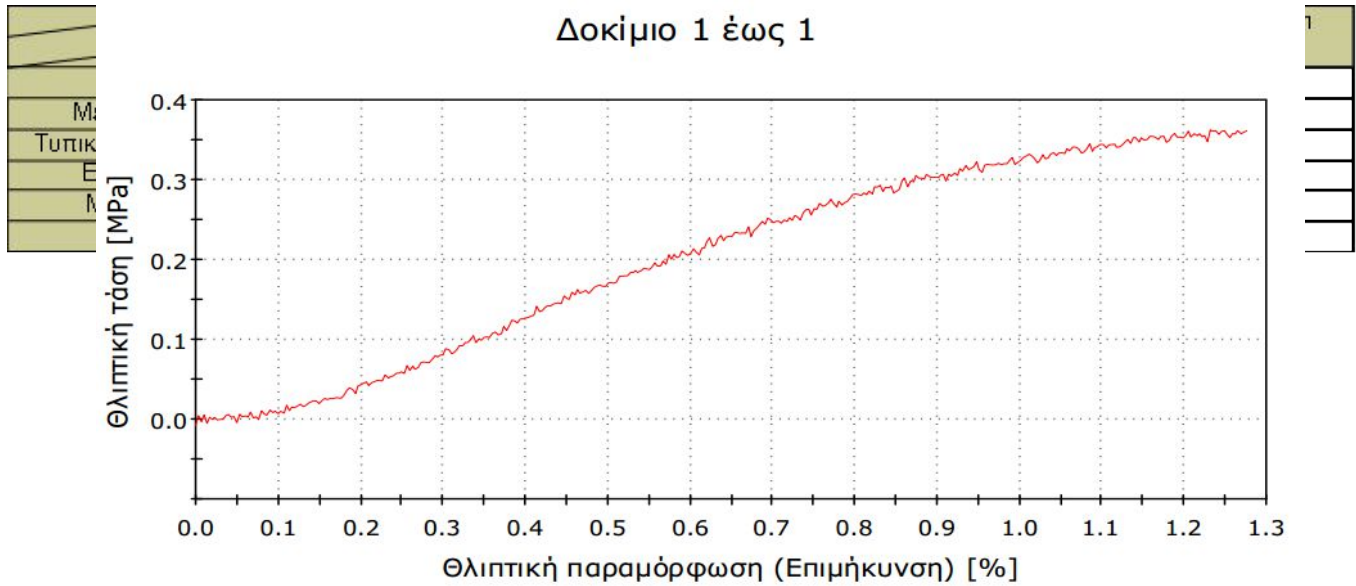
Πίνακας 6.8: Πίνακας αποτελεσμάτων.

Δοκίμιο 1 έως 1



Διάγραμμα 6.8.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

5% Betonite – 5% Μπετονίτης



Πίνακας 6.9: Πίνακας αποτελεσμάτων.

Διάγραμμα 6.9.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

1. ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ

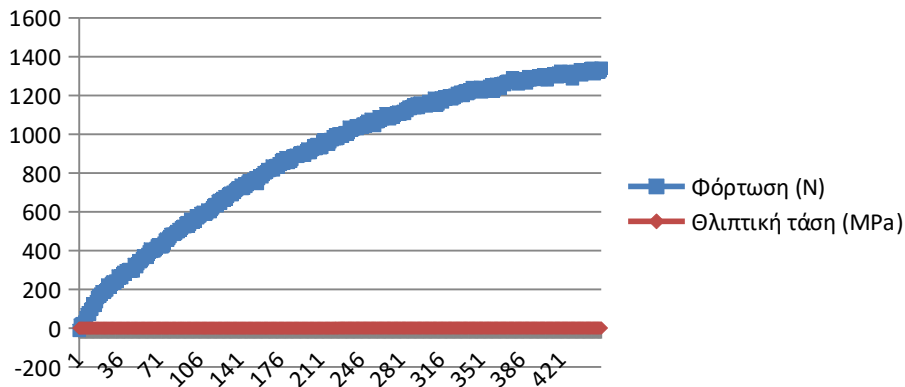
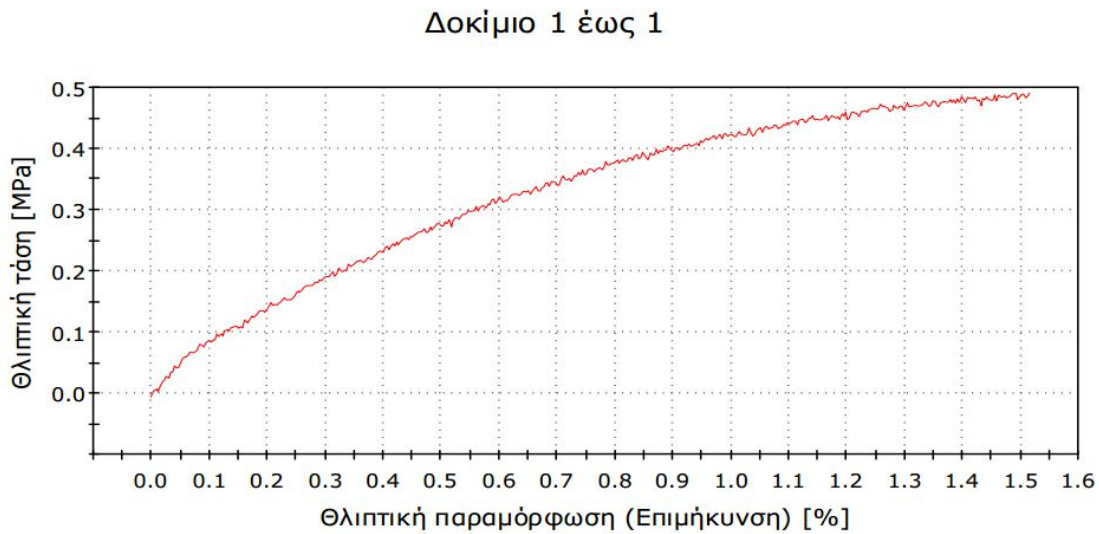
Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα των δοκιμών μετα μετά από την τριαξονική καταπόνηση, με ποσοστά μπετονίτη 0%, 1.5%, 2.5% και 5%.

0% Betonite – 0% Μπετονίτης

Πίνακας 6.10: Πίνακας αποτελεσμάτων.

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	1340,58	0,38	0,49
Μέση Τιμή		1340,58	0,38	0,49
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		1340,58	0,38	0,49
Μέγιστο		1340,58	0,38	0,49
Έυρος		0	0	0

Διάγραμμα 6.10.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.



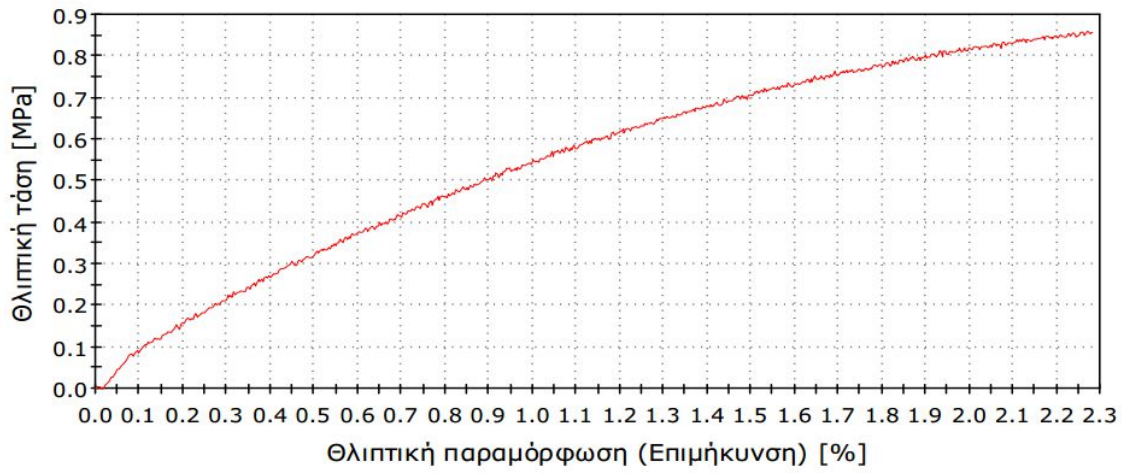
Διάγραμμα 6.10.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.

Πίνακας 6.11: Πίνακας αποτελεσμάτων.

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	2347,43	0,56	0,86
Μέση Τιμή		2347,43	0,56	0,86
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		2347,43	0,56	0,86
Μέγιστο		2347,43	0,56	0,86
Έυρος		0	0	0

Διάγραμμα 6.11.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

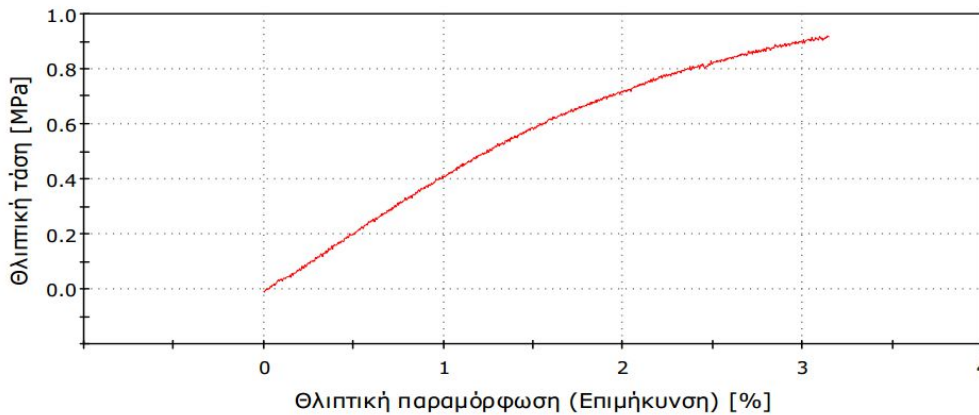
Δοκίμιο 1 έως 1



Πίνακας 6.12: Πίνακας αποτελεσμάτων

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	2516,63	0,66	0,92
Μέση Τιμή		2516,63	0,66	0,92
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		2516,63	0,66	0,92
Μέγιστο		2516,63	0,66	0,92
Έυρος		0	0	0

Δοκίμιο 1 έως 1



Διάγραμμα

6.12.1

Διάγραμμα

δοκιμίου

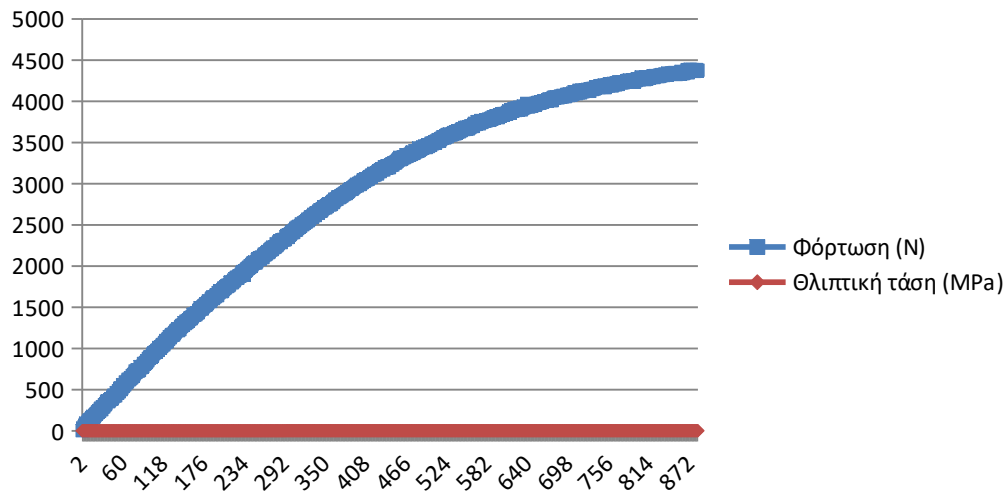
θλιπτικής

τάσης με

θλιπτική

παραμόρφωση.

Διάγραμμα 6.12.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου



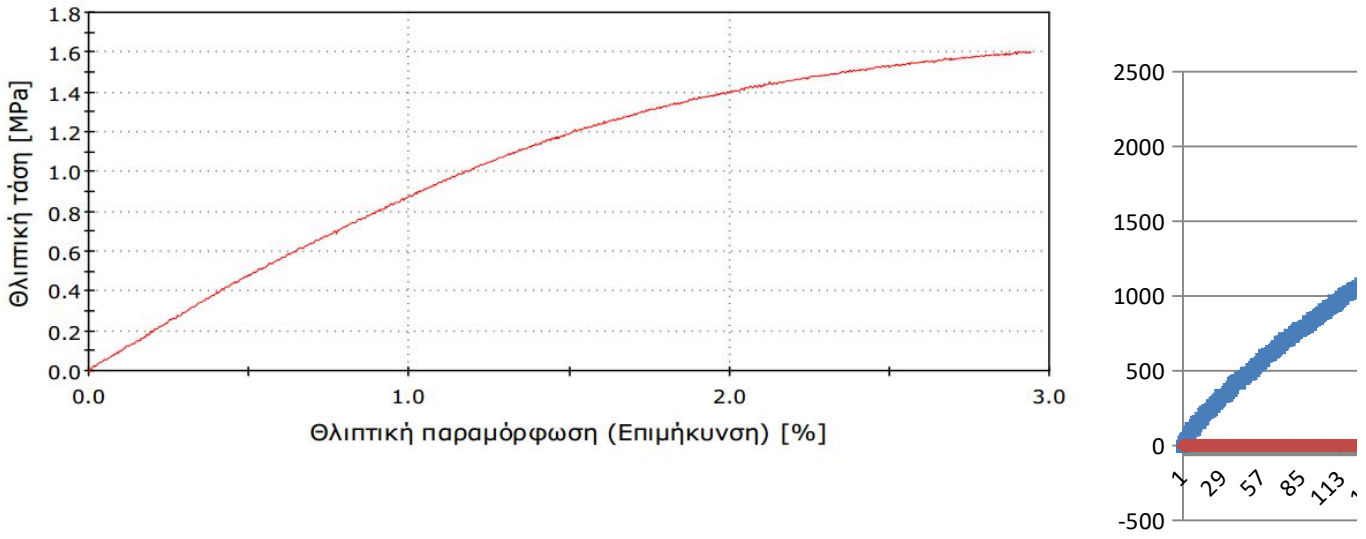
1,5% Betonite – 1,5% Μπετονίτης

Πίνακας 6.13: Πίνακας αποτελεσμάτων

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	4388,09	1,1	1,61
Μέση Τιμή		4388,09	1,1	1,61
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		4388,09	1,1	1,61
Μέγιστο		4388,09	1,1	1,61
Έυρος		0	0	0

Διάγραμμα 6.13.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

Δοκίμιο 1 έως 1

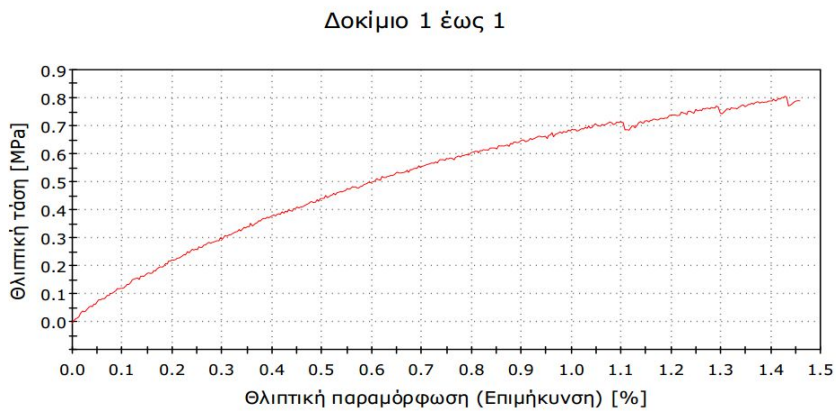


Διάγραμμα 6.13.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.

Πίνακας 6.14: Πίνακας αποτελεσμάτων

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength 0,81
	1	2202,62	0,58	0,81
Μέση Τιμή		2202,62	0,58	0,81
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		2202,62	0,58	0,81
Μέγιστο		2202,62	0,58	0,81
Έυρος		0	0	0

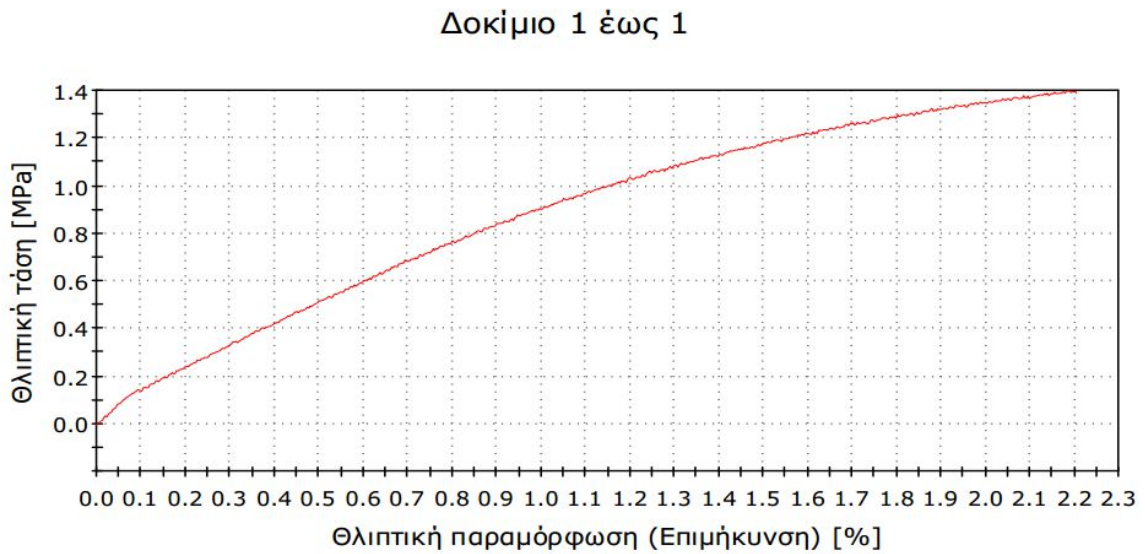
Διάγραμμα 6.14.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.



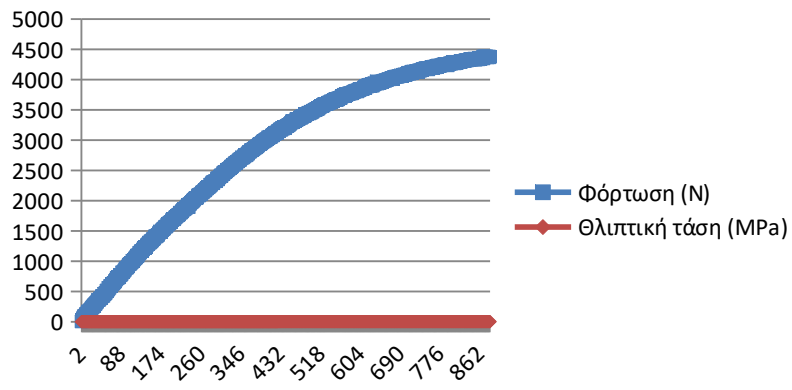
Πίνακας 6.15: Πίνακας αποτελεσμάτων

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	3817,79	1,03	1,4
Μέση Τιμή		3817,79	1,03	1,4
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		3817,79	1,03	1,4
Μέγιστο		3817,79	1,03	1,4
Ευρος		0	0	0

Διάγραμμα 6.15.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.



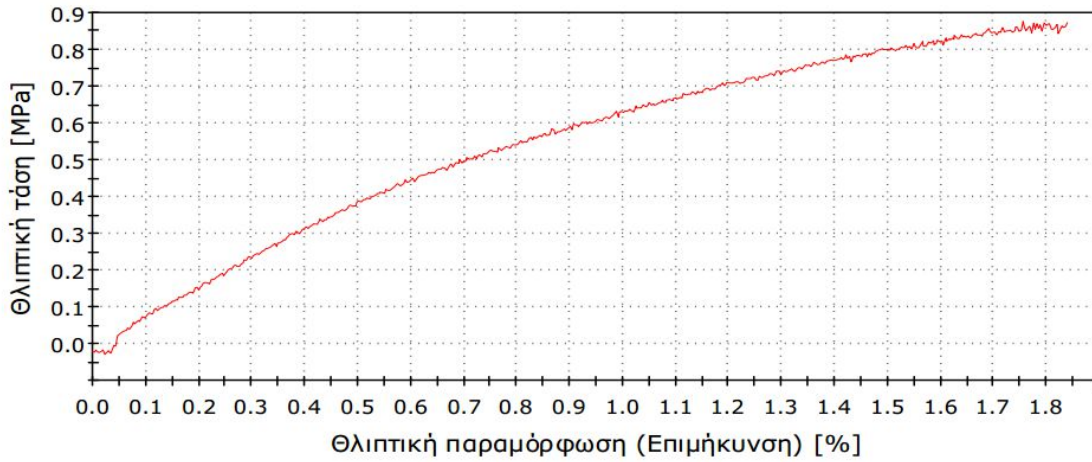
Διάγραμμα 6.15.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.



2,5% Betonite – 2,5% Μπετονίτης

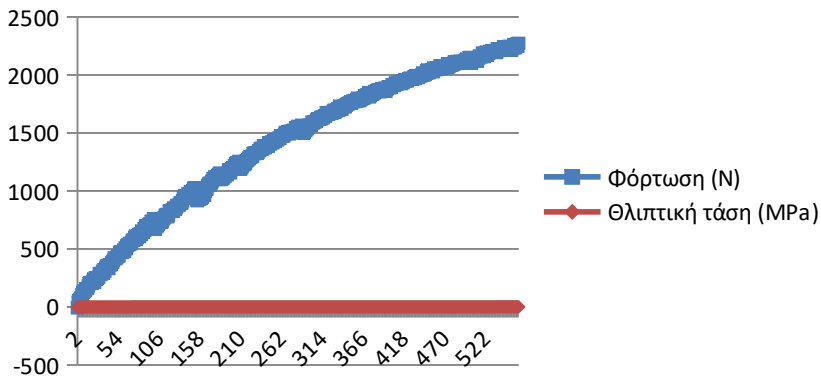
	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	2395,68	0,61	0,88
Μέση Τιμή		2395,68	0,61	0,88
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		2395,68	0,61	0,88
Μέγιστο		2395,68	0,61	0,88
Έυρος		0	0	0

Δοκίμιο 1 έως 1



Πίνακας 6.16: Πίνακας αποτελεσμάτων

Διάγραμμα 6.16.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.



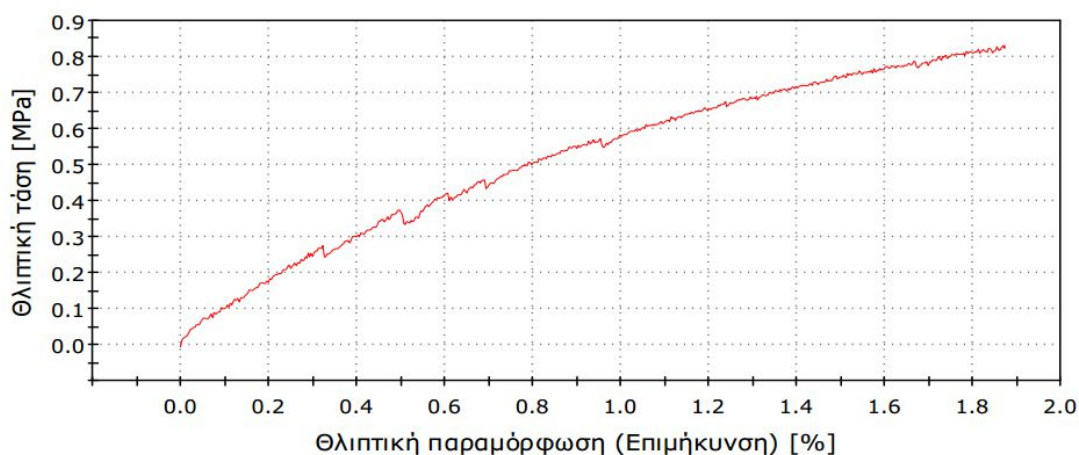
Διάγραμμα 6.16.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	2272,88	0,53	0,83
Μέση Τιμή		2272,88	0,53	0,83
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		2272,88	0,53	0,83
Μέγιστο		2272,88	0,53	0,83
Έυρος		0	0	0

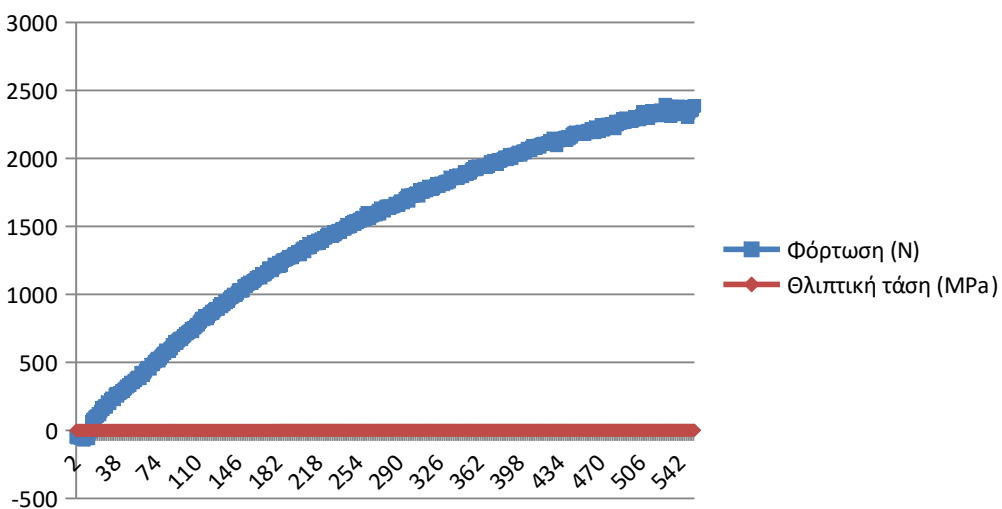
Πίνακας 6.17: Πίνακας αποτελεσμάτων

Διάγραμμα 6.17.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

Δοκίμιο 1 έως 1



Διάγραμμα 6.17.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.

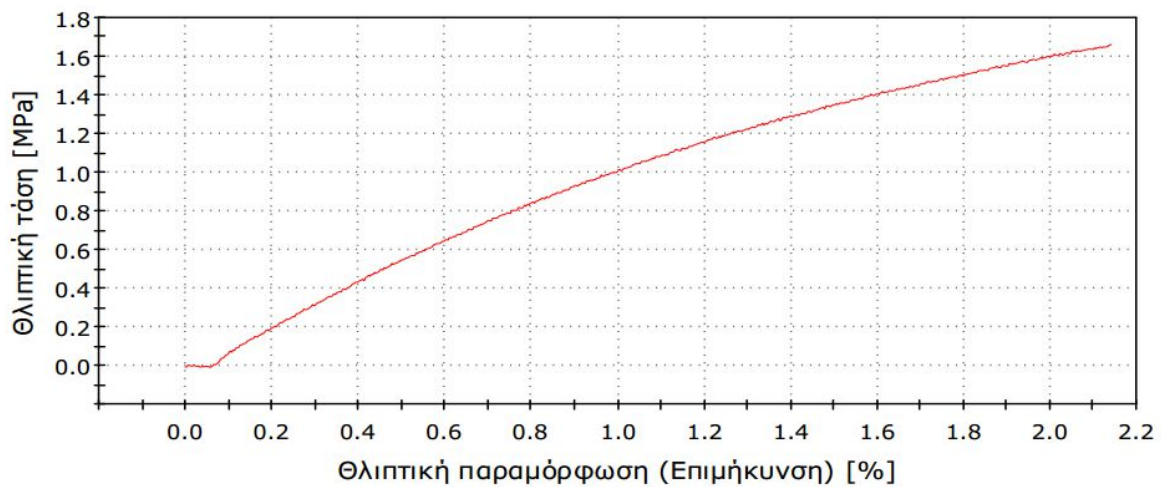


	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	4541,46	1,14	1,66
Μέση Τιμή		4541,46	1,14	1,66
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		4541,46	1,14	1,66
Μέγιστο		4541,46	1,14	1,66
Έυρος		0	0	0

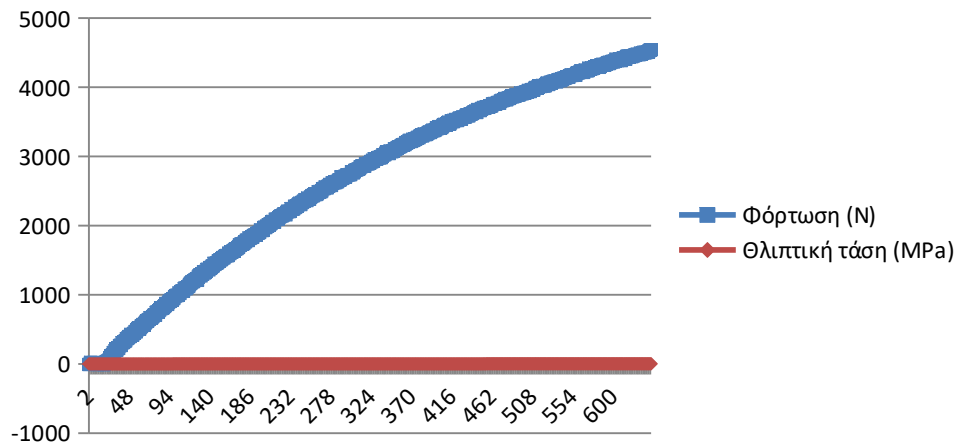
Πίνακας 6.18: Πίνακας αποτελεσμάτων

Διάγραμμα 6.18.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

Δοκίμιο 1 έως 1



Διάγραμμα 6.18.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.



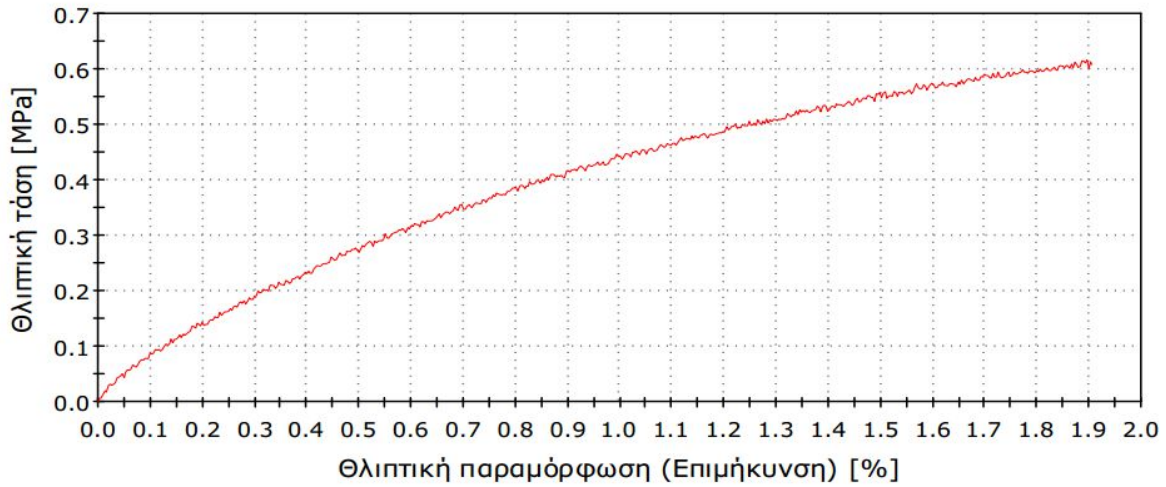
5% Betonite – 5% Μπετονίτης

Πίνακας 6.19: Πίνακας αποτελεσμάτων

	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	1684,57	0,4	0,62
Μέση Τιμή		1684,57	0,4	0,62
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		1684,57	0,4	0,62
Μέγιστο		1684,57	0,4	0,62
Έυρος		0	0	0

Διάγραμμα 6.19.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

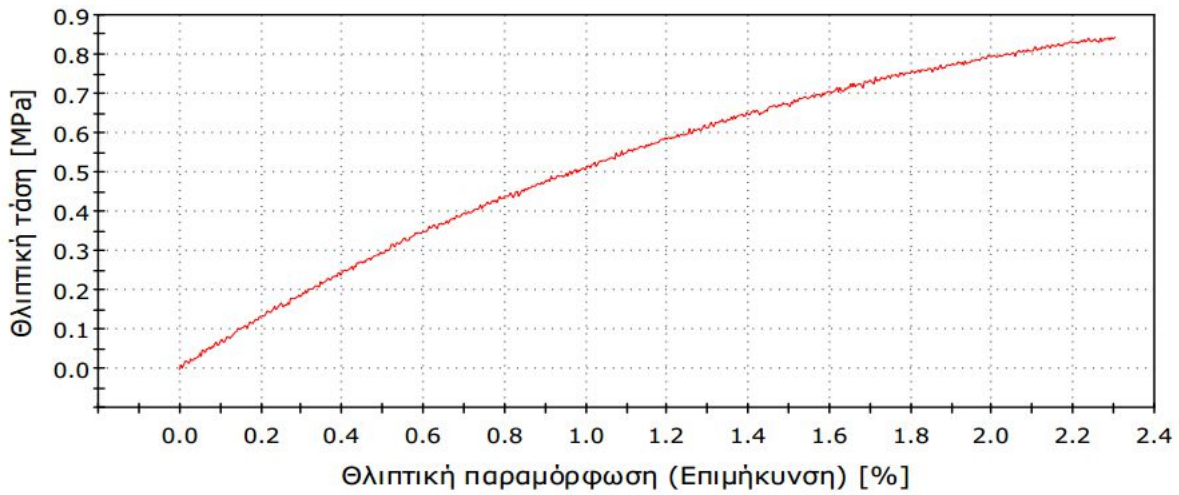
Δοκίμιο 1 έως 1



Διάγραμμα 6.19.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.

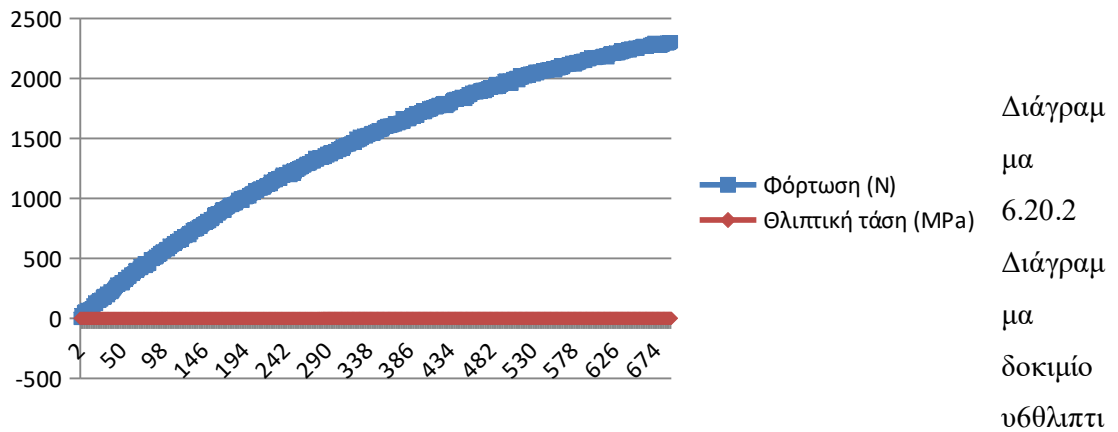
	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	2305,63	0,53	0,84
Μέση Τιμή		2305,63	0,53	0,84
Τυπική απόκλιση		.....	.....	.....
Ελάχιστο		2305,63	0,53	0,84
Μέγιστο		2305,63	0,53	0,84
Έυρος		0	0	0

Δοκίμιο 1 έως 1



Πίνακας 6.20: Πίνακας αποτελεσμάτων

Διάγραμμα 6.20.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.



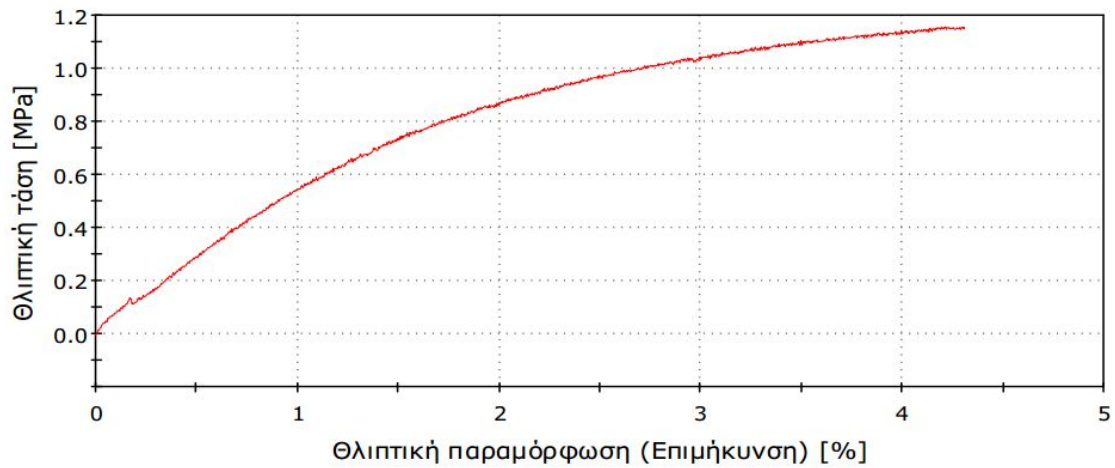
κής τάσης και φορτίου.

Πίνακας 6.21: Πίνακας αποτελεσμάτων

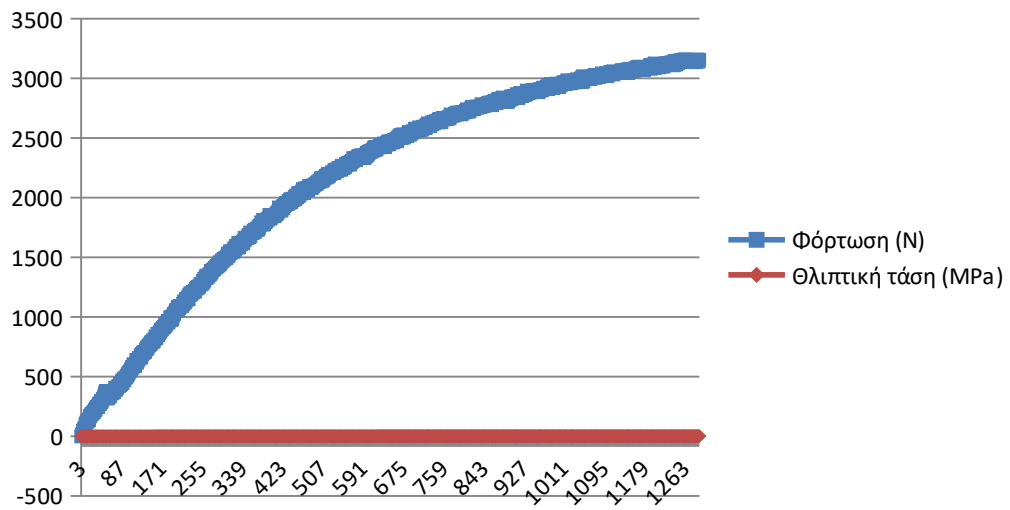
	Ετικέτα δοκιμίου	Maximum Load (N)	Yield Strength (Offset 0,2%) (Mpa)	Compressive Strength (Mpa)
	1	3160,56	0,75	1,16
Μέση Τιμή		3160,56	0,75	1,16
Τυπική απόκλιση		-----	-----	-----
Ελάχιστο		3160,56	0,75	1,16
Μέγιστο		3160,56	0,75	1,16
Ευρος		0	0	0

νΔιάγραμμα 6.21.1 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης με θλιπτική παραμόρφωση.

Δοκίμιο 1 έως 1



Διάγραμμα 6.21.2 Διάγραμμα δοκιμίου θλιπτικής τάσης και φορτίου.



Συγκεντρωτικός πίνακας μέγιστης αντοχής (σ_1) δοκιμίων τριαξονικής θλίψης για χρόνο σκλήρυνσης 7, 28, 90 ημέρες, για αναλογίες ER/W = 1/2, 1/1, 1.5/1 και 2/1 με πλευρική πίεση $\sigma_3=1, 2$ και 3 MPa

Αντοχή σε Τριαξονική Φόρτιση (MPa)				
Ημέρες Σκλήρυνσης	0%B	1.5%B	2.5%B	5%B
7	0.487	0.795	0.813	0.609
30	0.847	1.376	0.867	0.833
90	1.585	1.589	1.636	1.148

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στον συγκεντρωτικό πίνακα παρατηρούμε ότι τα όλα δοκίμια με χρόνο σκλήρυνσης 7 ημερών παρουσιάζουν χαμηλή σχετικά αντοχή σε τριαξονική θλίψη. Αυτά με ποσοστό 2.5%B είναι τα πιο ανθεκτικά. Τα δοκίμια με χρόνο σκλήρυνσης 30 ημερών έχουν διάφορες διακυμάνσεις αφού παρατηρούμε ότι τα δοκίμια με ποσοστό 0% και 1.5% αυξήσανε την αντοχή τους σχεδόν στο διπλάσιο, αυτά με ποσοστό 2.5% και 5% παρουσίασαν σχεδόν την ίδια αντοχή. Τέλος στα δοκίμια με χρόνο σκλήρυνσης 90 ημερών παρατηρούμε ότι η αντοχή τους σε σχέση με αυτά των 7 ημερών έχει διπλασιαστεί σε όλα τα ποσοστά μπετονίτη εκτός από αυτά με 0% τα οποία σχεδόν τριπλασιάσανε την αντοχή τους. Συνεπώς το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα δοκίμια φτάνουν στην πλήρη αντοχή τους στις 90 ημέρες σκλήρυνσης.

Όλα τα χωμάτινα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν παρουσίασαν ίδια συμπεριφορά μετά το όριο θραύσης τους. Η αντοχή των δοκιμίων μετά το όριο θραύσης δεν ήταν απότομη αλλά σταδιακή και κυμαινόταν σε υψηλά επίπεδα. Μάλιστα πολλά από τα δοκίμια δεν παρουσίαζαν εμφανείς ρωγμές.

Βιβλιογραφία

Ελληνικά συγγράματα

Μιχάλης Ι. Καββαδάς: “Στοιχεία εδαφομηχανικής” Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2009.

Κωσταντίνος και Μιχάλης Γεωργιάδης “Στοιχεία εδαφομηχανικής” Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα 2011.

Παπαχαρίσης και Γραματικόπουλος “Γεωτεχνική μηχανική” Β’ Έκδοση, Εκδόσεις Ν. Μάνου – Ανδρεάδη, Αθήνα 2010.

Ξενόγλωσσα συγγράματα:

R.F. Craing: “Soil Mechanics”, Van Nostrand Reinhold, 1974. And

R.D. Holtz and W.W.D. Kovacs: “An Introuction to Geotechnical Engineering”, Prentice-Hall, 1981.

T.W. Lambe and R.V. Whitman: “Soil Mechanics”, J. Wiley and Sons, 1969.

Ιστοσελίδες:

- http://library.tee.gr/digital/m2546/m2546_anagnostopoulos1.pdf
- <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/759/1/kontos.pdf>
- <file:///PDF.html>
- <http://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/56-mpedonitis>
- <http://translate.google.gr>
- <http://composite.about.com/od/Resins/a/Epoxy-Resin.htm>
- <http://www.civilplus.gr>
- <http://www.epoxy-info.co.uk/epoxyhistory.htm>