



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Μελέτη της επίδρασης φορτίου κρυσταλλικής δομής σμεκτιτών στο δείκτη διόγκωσης και στο όριο υδαρότητας μπεντονιτικών αργίλων »

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Π. ΜΠΟΥΚΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Γεώργιος Χρηστίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)

Βασίλειος Περδικάτσης, Καθηγητής

Δρ. Εμμανουήλ Στειακάκης

Χανιά
Μάρτιος, 2008

**Στους γονείς μου &
στη μνήμη της γιαγιάς μου Μαρίας**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας & Οργανικής Πετρογραφίας, στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και στο εργαστήριο Εμπλουτισμού υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Γεωργίου Χρηστίδη και είχε διάρκεια περίπου ένα χρόνο.

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης του φορτίου σμεκτιτών στο δείκτη διόγκωσης και στο όριο υδαρότητας μπεντονιτικών αργίλων.

Η διαδικασία που ακολούθησε, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του φορτίου στο δείκτη διόγκωσης και στο όριο υδαρότητας περιελάμβανε:

- Συγκέντρωση 19 τύπων διαφορετικών δειγμάτων μπεντονίτη
- Λειοτρίβηση των δειγμάτων στο εργαστήριο Εμπλουτισμού
- Προσδιορισμός του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων στο εργαστήριο Γεωχημείας
- Προσδιορισμός του ορίου υδαρότητας των δειγμάτων με δύο διαφορετικές μεθόδους (Casagrande & Κώνου) στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας
- Επεξεργασία αποτελεσμάτων και συσχέτιση φορτίου σμεκτιτών με δείκτες διόγκωσης και όρια υδαρότητας

Τα δείγματα μπεντονίτη που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του δείκτη διόγκωσης και του ορίου υδαρότητας, ελήφθησαν από το λατομείο της Μήλου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γεώργιο Χρηστίδη για την πολύτιμη βοήθειά του και το ενδιαφέρον που επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών καθώς και της συγγραφής της.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Εμμανουήλ Στειακάκη για της χρήσιμες συμβουλές του σε ένα μεγάλο μέρος των πειραματικών δοκιμών και τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Περδικάτη για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους πάνω στο κείμενο και τον πολύτιμο χρόνο τους για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Οφείλω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην Παγώνα Μακρή για την ανεκτίμητη βοήθεια της προκειμένου να ολοκληρωθεί με επιτυχία ένα μεγάλο μέρος των δοκιμών όσο και κατά τη διάρκεια τη συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για της χρήσιμες συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Υποχρέωσή μου είναι να ευχαριστήσω τη Βασιλική Χατζηστάμου για τις χρήσιμες συμβουλές της και για το ενδιαφέρον που επέδειξε τόσο κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών όσο και κατά τη διάρκεια τη συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κ. Παντελάκη Όλγα για την πολύτιμη βοήθειά της στο αρχικό μέρος των πειραματικών δοκιμών, τον κ. Αλέξη Πρατικάκη για τις πολύτιμες συμβουλές του και τον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Ηλία Σταμπολιάδη για την παραχώρηση τμήματος του εργαστηρίου Εμπλουτισμού. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Γαμβρούδη για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια μέρους των πειραματικών δοκιμών και την κ. Χρυσή Αποστολάκη για τις χρήσιμες συμβουλές της.

Τελειώνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και ιδιαίτερα τον πατέρα μου για τη στήριξή τους, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην αείμνηστη γιαγιά μου Μαρία για την στήριξή της κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iv
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	v
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΕΣ	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Ταξινόμηση μπεντονιτών.....	2
1.3 Γένεση μπεντονιτών.....	4
1.3.1 Εξαλλοίωση ηφαιστειακής τέφρας ή τόφφων	4
1.3.2 Υδροθερμική εξαλλοίωση μπεντονιτών	6
1.3.3 Δευτερογενής εξαλλοίωση πυριγενών υλικών	6
1.3.4 Άλλοι μηχανισμοί γένεσης των μπεντονιτών	7
1.4 Ιδιότητες μπεντονιτών	8
1.4.1 Ικανότητα διόγκωσης.....	9
1.4.2 Ενεργοποίηση	9
1.4.2.1 Ενεργοποίηση με οργανικές ενώσεις.....	9
1.4.2.2 Όξινη Ενεργοποίηση.....	10
1.4.2.3 Αλκαλική Ενεργοποίηση	11
1.4.3 Ειδική επιφάνεια - Μέγεθος κρυστάλλων	11
1.4.4 Ιοντοεναλλακτική ικανότητα	12
1.4.5 Ρεολογικές ιδιότητες.....	13
1.4.6 Θιξοτροπία	14
1.5 Εφαρμογές μπεντονιτών	15
1.5.1 Βιομηχανία χαρτιού	16
1.5.2 Πολλοί γεωτρήσεων	16
1.5.3 Σφαιροποίηση σιδήρου	17
1.5.4 Φαρμακευτικά είδη, καλλυντικά και ιατρικές εφαρμογές.....	18
1.5.5 Βιομηχανία χρωμάτων	18
1.5.6 Άμμοι υγιεινής	19
1.5.7 Χυτήρια.....	19
1.5.8 Γεωργία και ζωοτροφές	19
1.5.9 Περιβάλλον	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	22
ΣΜΕΚΤΙΤΕΣ	22
2.1 Γενικά.....	22
2.2 Δομή σμεκτίτη	23
2.2.1 Χημικός τύπος μοντμοριλλονίτη	26
2.3 Ιδιότητες υλικών πλούσιων σε σμεκτίτη	28
2.4 Φορτίο κρυσταλλικής δομής.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	32
ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΩΝ	32
3.1 Πλαστικότητα	32
3.1.1 Γενικά.....	32
3.1.2 Όριο Πλαστικότητας.....	33

3.1.3 Δείκτης Πλαστικότητα	34
3.2 Διόγκωση μπεντονιτών	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	38
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ	38
4.1 Γενικά	38
4.2 Αρχή μεθόδου μέτρησης ελεύθερης διόγκωσης	38
4.2.1 Προετοιμασία δειγμάτων	39
4.2.2 Επεξεργασία δειγμάτων	39
4.2.3 Δοκιμή διόγκωσης B	43
4.3 Αρχή μεθόδου μέτρησης ορίων υδαρότητας	44
4.3.1 Προετοιμασία δειγμάτων	45
4.3.2 Επεξεργασία δειγμάτων	45
4.3.3 Μέθοδος Casagrande	47
4.3.4 Μέθοδος Κώνου	49
4.4 Περιθλασίμετρο ακτίνων – X (XRD)	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	53
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ – ΟΡΙΩΝ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	53
5.1 Γενικά	53
5.2 Αποτελέσματα ελεύθερης διόγκωσης	53
5.3 Αποτελέσματα ορίων υδαρότητας	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	58
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΜΕΚΤΙΤΗ % ΤΩΝ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EVA	58
6.1 Γενικά	58
6.2 Προσδιορισμός περιεκτικότητας ορυκτών κάθε τύπου μπεντονίτη	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	63
ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	63
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
7.1 Συσχέτιση αποτελεσμάτων	63
7.2 Συμπεράσματα	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	74

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1.1	Δημιουργία κολλοειδών αιωρημάτων νατριούχων σμεκτιτών.....	14
1.2	Υγειονομική ταφή απορριμμάτων όπου ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως υλικό στεγανοποίησης [www.geoservice.gr].....	21
2.1	Μοντέλο σμεκτίτη [www.smianalytical.com].....	22
2.2	Δομή του μοντοριλλονίτη [pubs.usgs.gov].....	25
2.3	Αεροφωτογραφία λατομείου Μήλου [www.daniilidis.gr].....	26
2.4	Κοιτάσματα μπεντονίτη στο νησί της Μήλου [Νικητάκη, 2004].....	27
2.5	α) τετράεδρο πυριτίου, β) οκτάεδρο αργιλίου.....	30
2.6	Ενδοστρωματικά κατιόντα	30
4.1	Ομογενοποίηση δειγμάτων με το περιβάλλον σε ύαλους ωρολογίου.....	40
4.2	Ογκομετρικοί κύλινδροι με δείγμα μπεντονίτη και ύδωρ μετά την προσθήκη Na_2CO_3	41
4.3	Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση των ορίων υδαρότητας..	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

3.1	Σχέση φυσικής κατάστασης και Ορίου Πλαστικότητας (PL).....	33
3.2	Σχέσεις φυσικής κατάστασης και όγκου με τα όρια υδαρότητας.....	35
4.1	Γράφημα αριθμού κτύπων ($\log_{10}$) – Υγρασίας % ενός τυχαίου δείγματος...	48
4.2	Γράφημα βάθους διείσδυσης κώνου (mm) – Υγρασίας % ενός τυχαίου δείγματος.....	50
5.1	Δείκτης διόγκωσης διάφορων τύπων μπεντονίτη (α).....	56
5.2	Δείκτης διόγκωσης διάφορων τύπων μπεντονίτη (β).....	56
6.1	Ακτινογραφήματα μπεντονιτών ΑΕ 1.2, ΑΕ 1.6, ΑΕ 1.7, ΑΕ 2.5, ΑΕ 2.6.....	61
6.2	Ακτινογραφήματα μπεντονιτών ΑΕ 2.8, ΑΕ 2.11, ΑΕ 3.2, ΑΕ 3.5, ΑΕ 3.6...	61
6.3	Ακτινογραφήματα μπεντονιτών ΑΕ 3.9, ΑΕ 4.4, ΑΕ 5.2, ΑΕ 5.3, ΑΕ 5.11...	62
6.4	Ακτινογραφήματα μπεντονιτών ΑΕ 6.5, ΑΕ 8.8, ΑΕ 9.6, ΑΕ 9.9.....	62
7.1	Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Casagrande – Κώνου.....	67
7.2	Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Casagrande – Δείκτης διόγκωσης B.....	67
7.3	Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Κώνου – Δείκτης διόγκωσης B.....	68
7.4	Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Casagrande – Φορτία μπεντονιτών.....	68
7.5	Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Κώνου – Φορτία μπεντονιτών.....	69
7.6	Συσχέτιση δείκτη διόγκωσης B – Φορτία μπεντονιτών.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

2.1	Δομή των σμεκτιτών, [Χρηστίδης 2003].....	23
2.2	Ορολογία που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό υλικών πλούσιο σε σμεκτίτη [Χρηστίδης 2005].....	28
3.1	Βαθμός πλαστικότητας των εδαφών [Ε. Στειακάκης, 2005].....	35
4.1	Ποσότητες Na_2CO_3 που προστέθηκαν σε κάθε ύαλο.....	39
4.2	Ποσοστά Na_2CO_3 που προστέθηκαν σε κάθε ύαλο.....	41
4.3	Δελτίο προσδιορισμού δείκτη διόγκωσης του μπεντονίτη Α.Ε. 5.3.....	42
4.4	Αντιστοιχία αριθμού κτύπων- Υγρασίας % ενός τυχαίου δείγματος.....	48
4.5	Αντιστοιχία βάθους διείσδυσης - Υγρασίας % ενός τυχαίου δείγματος.....	50
5.1	Αποτελέσματα διόγκωσης μετά από 24 h (swelling).....	54
5.2	Αποτελέσματα δείκτη διόγκωσης μετά από 24 h.....	55
5.3	Αποτελέσματα ορίων υδαρότητας LL.....	57
6.1	Ποιοτική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων μπεντονίτη.....	59
6.1	(συνέχεια) Ποιοτική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων μπεντονίτη.....	60
7.1	Αποτελέσματα μετρήσεων διόγκωσης και ορίων υδαρότητας.....	64
7.2	Αναγόμενα αποτελέσματα διόγκωσης και ορίων υδαρότητας όπως.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΕΣ

1.1 Γενικά

Ο όρος μπεντονίτης χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1895 για να περιγράψει μια άργιλο της περιοχής Fort Benton των Η.Π.Α. Το βασικό του συστατικό, το οποίο είναι ο παράγοντας που καθορίζει τις ιδιότητες του μπεντονίτη είναι το αργιλικό ορυκτό μοντμοριλλονίτης ο οποίος έχει πάρει την ονομασία του από μια εμφάνιση στο Montmorillon της Γαλλίας.

Ανάλογα με τον τρόπο γένεσης τους (που θα εξετάσουμε παρακάτω) οι μπεντονίτες περιέχουν ποικίλα σύνδρομα ορυκτά όπως χαλαζία, άστριο, οπάλιο^{-CT} και γύψο. Η παρουσία των σύνδρομων αυτών ορυκτών μπορεί να επηρεάσει την βιομηχανική αξία του κοιτάσματος θετικά ή αρνητικά ανάλογα με τη χρήση.

Ο μπεντονίτης έχει κάποια κύρια χαρακτηριστικά τα οποία είναι πολύ σημαντικά για τον λόγο ότι τον καθιστούν πολύτιμο υλικό για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων:

- Κολλοειδείς ιδιότητες που εμφανίζει κατά την επαφή του με το νερό δημιουργώντας ένα πηκτώδες και ιξώδες ρευστό. Τις περισσότερες φορές ο όγκος του κατά την επαφή του με το νερό αυξάνεται
- Θερμική του συμπεριφορά
- Μορφολογία και μέγεθος των κρυσταλλιτών

Ο μπεντονίτης αποτελεί επίσης μία πολύτιμη πρώτη ύλη λόγω των ιδιοτήτων του που αφορούν την:

- Προσρόφηση ύδατος
- Ενυδάτωση
- Διόγκωση
- Ιξώδες &
- Θιξοτροπία

Ο εξορυσσόμενος μπεντονίτης περιέχει υγρασία σε ποσοστό περίπου 30%. Μετά από τις διαδικασίες εξόρυξης, το υλικό λειοτριβείται, ομογενοποιείται και μεταφέρεται σε ξηραντήριο σε καθορισμένη κοκκομετρία ώσπου η υγρασία να μειωθεί.

Καθ' όλη τη διάρκεια των διαδικασιών της άλεσης και της κοσκίνισης λαμβάνονται δείγματα σε τακτά χρονικά διαστήματα που αναλύονται στο εργαστήριο από το οποίο εξάγονται σημαντικά και χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την εφαρμογή που θα βρίσκει κάθε τύπος μπεντονίτη.

Για να χρησιμοποιήσουμε τον μπεντονίτη σε ειδικές εφαρμογές:

- Αφαιρούμε τα σύνδρομα αδρανή ορυκτά
- Τον ενεργοποιούμε με οξέα ώστε να παραχθεί ο όξινος - ενεργοποιημένος μπεντονίτης)
- Τον επεξεργαζόμαστε με οργανικές ουσίες για να παραχθούν οργανόφιλες άργιλοι.

Πολλές φορές εναλλακτικά, όταν είναι απαραίτητο ο μπεντονίτης ενεργοποιείται με την προσθήκη ανθρακικού νατρίου Na_2CO_3 .

Τέλος, μετά την επεξεργασία το υλικό οδηγείται σε σιλό αποθήκευσης για περαιτέρω μεταφορά ή τοποθέτησή του σε σάκους. [www.swiftco.com.au]

1.2 Ταξινόμηση μπεντονιτών

Ο μοντμοριλλονίτης όπως γνωρίζουμε είναι το σημαντικότερο συστατικό των μπεντονιτών. Συχνά σε διαφορετικές θέσεις μέσα στο ίδιο κοίτασμα οι μοντμοριλλονίτες είναι διαφορετικοί όσον αφορά τη χημική σύσταση και την κατανομή φορτίου του σμεκτίτη. Έτσι, οι μπεντονίτες διακρίνονται: [**Grim & Guven 1978**]

- ως προς τη γένεσή τους
- με βάση το βαθμό διόγκωσής τους

Ως προς τη γένεσή τους:

α) Ηφαιστειογενείς - Ιζηματογενείς:

Οι μπεντονίτες αυτοί προέρχονται από επί τόπου εξαλλοίωση ηφαιστειακής τέφρας ή τόφφων.

β) Ηφαιστειογενείς - Υδροθερμικοί:

Οι μπεντονίτες αυτοί προκύπτουν από υδροθερμική εξαλλοίωση πυριγενών πετρωμάτων. Πρόκειται για μικρά κοιτάσματα με πολύ καλή ποιότητα.

γ) Κοιτάσματα μπεντονίτη τα οποία προέρχονται από αποσάθρωση επί τόπου

Οι μπεντονίτες αυτοί προέρχονται από δευτερογενή εξαλλοίωση μπεντονιτών.

δ) Μπεντονίτες που προέρχονται από έκπλυση ζωνών αποσάθρωσης μεταφοράς και απόθεση του υλικού. Τα κοιτάσματα των οποίων είναι πολύ καλής ποιότητας.

Με βάση το βαθμό διόγκωσής τους:

α) Νατριούχους ή διογκούμενους: οι μπεντονίτες αυτοί διογκώνονται σχηματίζοντας ένα είδος πηκτώματος όταν υπάρχει περίσσεια νερού. Κύριο ανταλλάξιμο ιόν τους είναι το Na^+ .

β) Ασβεστούχους ή μη διογκούμενους : αυτοί δεν διογκώνονται όπως οι νατριούχοι και όταν βρεθούν σε περίσσεια νερού καθιζάνουν γρήγορα. Κύριο ανταλλάξιμο ιόν τους είναι το Ca^{2+} ή το Mg^{2+} . [Κοκκίδης, 2006]

1.3 Γένεση μπεντονιτών

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι από τους οποίους μπορούν να δημιουργηθούν οι μπεντονίτες : [Grim & Guven 1978]

1.3.1 Εξαλλοίωση ηφαιστειακής τέφρας ή τόφφων

Αποτελεί τον πιο συνηθισμένο τρόπο γένεσης των μπεντονιτών. Το χαρακτηριστικό αυτών των μπεντονιτών είναι η παρουσία τεμαχίων ηφαιστειακού γυαλιού και χαρακτηριστικά μη αργιλικά ορυκτά πυριγενούς προέλευσης.

Τα σημαντικότερα κοιτάσματα μπεντονιτών τα οποία δημιουργήθηκαν από επί τόπου εξαλλοίωση ηφαιστειακής τέφρας είναι αυτά της Κρητιδικής περιόδου στην περιοχή Montana των Η.Π.Α. Άλλες περιοχές όπου εμφανίζονται τέτοια κοιτάσματα βρίσκονται στο Τέξας και στη Καλιφόρνια, στην Ιαπωνία, στην Αργεντινή και από την απέναντι μεριά του Ατλαντικού υπάρχουν στη Γερμανία την πρώην ΕΣΣΔ την Αγγλία την πρώην Γιουγκοσλαβία την Ουγγαρία και την Ελλάδα.

Αν και όλοι αυτοί οι μπεντονίτες, έχουν τον ίδιο τρόπο γένεσης, παρουσιάζουν σημαντικές και χαρακτηριστικές παραλλαγές:

- στον τύπο του σμεκτίτη από τον οποίο αποτελούνται
- στη χημική σύσταση
- στην περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά

Οι παραλλαγές αυτές οδηγούν σε διαφορές:

- στην ικανότητα διόγκωσης
- στις ρεολογικές ιδιότητες
- καθώς και στις φυσικές ιδιότητες

Η εξαλλοίωση λαμβάνει χώρα συνήθως σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον, έτσι όπως προκύπτει στους μπεντονίτες του Τέξας, της Αγγλίας και της Γερμανίας.

Η εξαλλοίωση σε γλυκό νερό είναι σπανιότερη και εμφανίζεται στους μπεντονίτες της Ρουμανίας, της Νέας Ζηλανδίας της Τσεχοσλοβακίας και της Σουηδίας.

Στους μπεντονίτες της Αυστραλίας και του Καναδά η εναλλαγή του μπεντονίτη με γαιάνθρακες δείχνει ότι η εξαλλοίωση της τέφρας ή του τόφφου μπορεί να γίνει σε περιβάλλον σχηματισμού γαιανθράκων.

Στην Αίγυπτο και το Πακιστάν οι λιμνοθάλασσες και οι εκβολές ποταμών περιγράφονται ως οι πλέον συχνότερες περιοχές σχηματισμού κοιτασμάτων μπεντονιτών.

Σε ορισμένες περιοχές όπως στην Αργεντινή και τον Καναδά, οι μπεντονίτες βρίσκονται σε ενότητες που περιέχουν θαλάσσια και μη θαλάσσια ιζήματα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι το περιβάλλον δημιουργίας δεν είναι καθοριστικής σημασίας.

Η διαδικασία της εξαλλοίωσης δεν ευνοείται από την παρουσία του SiO_2 και ειδικά σε περιεκτικότητα που υπερβαίνει το 70% ,ενώ η παρουσία της MgO σε περιεκτικότητα 5 -10 % είναι πολύ σημαντική. Σα συνέπεια έχουμε τη δημιουργία σαπωνίτη από τέφρα βασάλτη.

Επίσης γνωρίζουμε ότι η εξαλλοίωση ευνοείται από την υψηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο. Η ηφαιστειακή τέφρα δεν εξαλλοιώνεται πάντα σε μπεντονίτη, όπως φαίνεται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει εναλλαγή τέφρας και μπεντονίτη, όπως στην Αργεντινή. Επίσης γνωρίζουμε ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η υγρή τέφρα να ευνοεί τη δημιουργία κοιτασμάτων μπεντονίτη.

Η διαδικασία αφύελωσης πραγματοποιείται γενικά στο νερό και δεν μπορεί να θεωρηθεί αποτέλεσμα επιφανειακής διάβρωσης. Απόδειξη της έλλειψης διάβρωσης αποτελεί η ομοιομορφία της ορυκτολογικής σύστασης. Υπάρχουν και μερικές εξαιρέσεις, όπως κάποιοι από τους μπεντονίτες της Αργεντινής και της Αυστρίας που πιθανώς έχουν σχηματιστεί με αποσάθρωση. [Grim & Guven 1978]

1.3.2 Υδροθερμική εξαλλοίωση μπεντονιτών

Τα κοιτάσματα που προκύπτουν από υδροθερμική εξαλλοίωση απαντώνται σε πληθώρα στη φύση. Χαρακτηριστικά κοιτάσματα εμφανίζονται στην Αλγερία, την Ισπανία, στην Ουγγαρία και την Ελλάδα. Ο σμεκτίτης αποτελεί το κύριο προϊόν της εξαλλοίωσης. [Grim & Guven 1978]

Είναι εξακριβωμένο, ότι μέσω της υδροθερμικής εξαλλοίωσης σε μεταμορφωμένα, πυριγενή ή ιζηματογενή πετρώματα, σχηματίζονται διάφορα αργιλικά ορυκτά.

Κατά τη διαδικασία της υδροθερμικής εξαλλοίωσης, δημιουργείται μία αλληλουχία αργιλικών ορυκτών με αύξηση της απόστασης από την πηγή, όπως συμβαίνει στα κοιτάσματα βασικών μετάλλων στο Butte της Μοντάνα.

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις μπεντονιτών που δημιουργήθηκαν από υδροθερμική εξαλλοίωση όπως κοιτάσματα στο Lalla Maghnis κοντά στο Oran της Αλγερίας.

1.3.3 Δευτερογενής εξαλλοίωση πυριγενών υλικών

Οι μεταβολές που πραγματοποιούνται στα πυριγενή πετρώματα αμέσως μετά την τοποθέτησή τους λόγω της αντίδρασης των αερίων και των ατμών που βρίσκονται στην μάζα του περιγράφονται από τον όρο δευτερογενής εξαλλοίωση πυριγενών υλικών. Υπάρχουν μερικοί μπεντονίτες για τους οποίους η δευτερογενής εξαλλοίωση φαίνεται να είναι ο μοναδικός τρόπος γένεσης. Παρακάτω έχουμε μερικά παραδείγματα δευτερογενών εξαλλοιώσεων πυριγενών πετρωμάτων: Ιταλικοί μπεντονίτες οι οποίοι θεωρείται ότι έχουν σχηματιστεί από τη διείδυση μάγματος που ψύχεται γρήγορα από τη δράση των αερίων και των ατμών οι οποίοι βρίσκονται στο εσωτερικό του πετρώματος. Ένα άλλο παράδειγμα δευτερογενούς εξαλλοίωσης, υφίσταται σε μία υαλώδη περλιτική ρυολιθική λάβα σε μία ηφαιστειακή ακολουθία κοντά στην κορυφή των Σειρών Storberg του συστήματος Karoo Λιασίου ηλικίας, που εκτείνεται από την Μοζαμβίκη νότια μέσα στη χώρα των Ζουλού της πολιτείας Natal στη Νότιο Αφρική. Στην περίπτωση αυτή η εξαλλοίωση του περλίτη σε σμεκτίτη είναι εξαιρετικά πολύπλοκη.

Τέλος στη Γερμανία περιγράφεται ένα κοίτασμα μπεντονίτη στο κατώτερο τμήμα ενός νεοφελινικού βασανίτη που έχει προέλθει από δευτερογενή εξαλλοίωση. Αυτό το κοίτασμα αποτελεί την απόδειξη ότι η δευτερογενής εξαλλοίωση, δε συναντάται μόνο σε όξινα πυριγενή πετρώματα.

Την εξαλλοίωση τη συναντούμε περισσότερο σε περιοχές όπου τα αέρια και οι ατμοί βρίσκονται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση. [Grim & Guven 1978]

1.3.4 Άλλοι μηχανισμοί γένεσης των μπεντονιτών

Η απουσία ηφαιστειακής δραστηριότητας ή πυριγενών πετρωμάτων αποδεικνύει ότι υπάρχουν και άλλοι τρόποι προέλευσης μπεντονιτών εκτός από την επί τόπου εξαλλοίωση ηφαιστειακής τέφρας ή τόφφων, την υδροθερμική εξαλλοίωση μπεντονιτών καθώς και τη δευτερογενή εξαλλοίωση πυριγενών υλικών.

Για παράδειγμα ένας από τους τρόπους γένεσης που έχει προταθεί είναι εκείνος της αποσάθρωσης με τα πιο γνωστά κοιτάσματα αυτού του είδους να είναι της Αργεντινής. Επίσης, στην Ιαπωνία υπάρχει ένα κοίτασμα στο οποίο η επιφάνεια τόφφων της Τριτογενούς περιόδου έχει εξαλλοιωθεί ομοιόμορφα σε σμεκτίτη. Τα προϊόντα αποσάθρωσης στην Ιαπωνία αποτελούνται από μία ποικιλία αργιλικών ορυκτών, με τον αλλοϋσίτη να επικρατεί σαν το συνηθέστερο προϊόν αποσάθρωσης της ηφαιστειακής τέφρας. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και το κοίτασμα μπεντονίτη στην περιοχή Marcagee της Δυτικής Αυστραλίας. Πρόκειται για ένα κοίτασμα που αποτελείται από δύο στρώματα μπεντονίτη με πάχος περίπου 30,5cm το καθένα, που σχηματίστηκαν σε μια λιμναία λεκάνη στην έρημο. Παρόμοια περίπτωση αποτελεί και το κοίτασμα του μπεντονίτη στην Αίγυπτο. Σε καμία από τις παραπάνω περιπτώσεις δεν παρατηρείται ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Ο Millot (1970) αναφέρει ότι ο σμεκτίτης μπορεί να σχηματιστεί άμεσα (νεοσχηματισμός) σε ορισμένα ιζηματογενή περιβάλλοντα. Νεοσχηματισμός του μοντμοριλλονίτη, ιλλίτη και χλωρίτη έχει περιγραφεί στα ιζήματα του ηφαιστειακού αρχιπελάγους της Σαντορίνης.

Ο νεοσχηματισμός του σμεκτίτη σε ιζηματογενές περιβάλλον είναι πιθανός τρόπος γένεσης για μερικές εμφανίσεις, όπως για παράδειγμα στο Marchagee της Δυτικής

Αυστραλίας όπου δεν υπάρχει ένδειξη ηφαιστειακής δραστηριότητας. Νεοσχηματισμός σμεκτίτη προκύπτει και κατά την εξαλλοίωση ηφαιστειακής τέφρας. Τέλος έρευνες έδειξαν ότι πολλά αργιλικά ορυκτά, συμπεριλαμβανομένου των σμεκτιτών μπορεί να σχηματιστούν κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας από μίγματα των οξειδίων και υδροξειδίων τους. [Grim & Guven 1978]

1.4 Ιδιότητες μπεντονιτών

Οι κύριες ιδιότητες που παρουσιάζουν οι μπεντονίτες είναι οι εξής :

- **Ικανότητα διόγκωσης**
- **Ενεργοποίηση**
- **Συνδετική ικανότητα**
- **Ιοντοεναλλακτική ικανότητα**
- **Ρεολογικές ιδιότητες**
- **Θιξοτροπία**
- **Ειδική επιφάνεια – Μέγεθος κρυστάλλων**

1.4.1 Ικανότητα διόγκωσης

Οι μπεντονίτες και συγκεκριμένα οι σμεκτίτες εμφανίζουν τάσεις διόγκωσης κατά την επαφή τους με το νερό δηλαδή όταν βρεθούν σε υγρό περιβάλλον. Ανάλογα με την ποσότητα του H_2O που βρίσκεται μεταξύ των στρώσεων, οι κρύσταλλοι του σμεκτίτη τείνουν να αποχωριστούν προς την κατεύθυνση του κρυσταλλογραφικού άξονα c , ώστε να αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των δύο δομικών μονάδων 2:1. Οι περισσότερο διογκούμενοι μπεντονίτες είναι οι νατριούχοι και οι λιθιούχοι και λιγότερο οι ασβεστούχοι και οι μαγνησιούχοι, οι οποίοι όμως μπορούν να μετατραπούν σε διογκώσιμους με τη λεγόμενη αλκαλική ενεργοποίηση, δηλαδή με αντικατάσταση του Ca ή του Mg από Na . Οι φυσικοί νατριούχοι μπεντονίτες τις περισσότερες φορές εμφανίζουν καλύτερες φυσικές ιδιότητες από τους ανταλλάξιμους νατριούχους μπεντονίτες.

1.4.2 Ενεργοποίηση

1.4.2.1 Ενεργοποίηση με οργανικές ενώσεις

Η δυνατότητα αλληλεπίδρασης των σμεκτιτικών αργίλων με τις οργανικές ενώσεις βρίσκει εφαρμογή στην προσρόφηση διαφόρων οργανικών ρύπων. Οι σμεκτιτικές άργιλοι έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια ικανή για την προσρόφηση και την κατάλυση των οργανικών μορίων, λόγω του μικρού τους μεγέθους και της χημικής δράσης των ατόμων οξυγόνου, στις βασικές επιφάνειες της αρνητικά φορτισμένης 2:1 δομής.

Μεγάλος αριθμός οργανικών ενώσεων αλληλεπιδρούν με τις σμεκτιτικές αργίλους κυρίως με δημιουργία δεσμών μεταξύ των επιφανειών οξυγόνου και των οργανικών μορίων. [Mortland, 1970]

Παράδειγμα αντίδρασης μιας σμεκτιτικής αργίλου με μία οργανική ένωση, που χρησιμοποιείται ευρέως στον προσδιορισμό των σμεκτιτικών αργίλων, είναι η τεχνική της προσρόφησης γλυκερόλης ή αιθυλενογλυκόλης. Αυτές οι οργανικές ενώσεις αντικαθιστούν τα στρώματα νερού στις ενδοστρωματικές επιφάνειες και αυξάνουν την

απόσταση των ενδιάμεσων στρωμάτων διευκολύνοντας τον προσδιορισμό με περιθλασιμετρία ακτίνων-X. Μια σημαντική κατηγορία μπεντονιτών παράγεται από νατριούχους μπεντονίτες με αντικατάσταση του νατρίου από ενώσεις τετρα-αλκυλικού αμμωνίου. Με ανταλλαγή ιόντων σχηματίζονται οργανόφιλοι μπεντονίτες, οι οποίοι σε οργανικά υγρά και διαλυτικά μέσα σχηματίζουν πηκτώματα. Οργανόφιλοι μπεντονίτες μπορούν να παρασκευαστούν και από μπεντονίτες που περιέχουν εκτορίτη.

Σε βιομηχανική κλίμακα οι οργανόφιλοι μπεντονίτες παράγονται από αραιωμένα αιωρήματα νατριούχου ή ενεργοποιημένου μπεντονίτη με προσθήκη διαλυμάτων αλάτων αλκυλικού αμμωνίου. Μέσω αυτής της διαδικασίας ο μπεντονίτης γίνεται οργανόφιλος και απωθεί το νερό, κροκιδώνεται και καθιζάνει λόγω του διαχωρισμού του από το αιώρημα. Επιπλέον η ενεργοποίηση του μπεντονίτη επιτυγχάνεται ως ένα βαθμό με άλεσή του. Έτσι ανάλογα με την εφαρμογή του μπεντονίτη επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος ενεργοποίησης. [Κωστάκης, 1999]

1.4.2.2 Όξινη Ενεργοποίηση

Για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ειδικής επιφάνειας και ικανότητας προσρόφησης, ο μπεντονίτης υφίσταται επεξεργασία με οξέα. Με αυτό τον τρόπο αντικαθίστανται τα ανταλλάξιμα κατιόντα του μπεντονίτη από H^+ και ανάλογα με τις συνθήκες της αντίδρασης (συγκέντρωση οξέος, θερμοκρασία, πίεση και χρόνος), απομακρύνονται μερικώς τα ιόντα των οκταεδρικών στοιβάδων του μοντμοριλλονίτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται άμορφα προϊόντα, κυρίως άμορφο διοξείδιο του πυριτίου. Στα περιθώρια των πακέτων των φυλλοπυριτικών στρώσεων αποτίθεται διοξείδιο του πυριτίου, με αποτέλεσμα να απωθούνται μεταξύ τους οι στρώσεις των πακέτων και επίσης να μεταβάλλεται ο προσανατολισμός τους. Αυξάνοντας τη συγκέντρωση του οξέος αυξάνεται η ειδική επιφάνεια, δηλαδή ο όγκος των μικροπόρων, η ποσότητα $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ που απομακρύνεται από τον κρυσταλλικό πλέγμα και η περιεκτικότητα του ελεύθερου SiO_2 το οποίο είναι διαλυτό σε αραιωμένο διάλυμα ανθρακικού νατρίου. [Κωστάκης, 1999]

1.4.2.3 Αλκαλική Ενεργοποίηση

Από έναν ασβεστούχο μπεντονίτη, που έχει περιορισμένη ικανότητα διόγκωσης, μπορεί να παραχθεί ένας ενεργός μπεντονίτης μέσω της ανταλλαγής των ιόντων του ασβεστίου από ιόντα νατρίου. Σε βιομηχανική κλίμακα η αλκαλική ενεργοποίηση επιτυγχάνεται με ανάμειξη του ακατέργαστου μπεντονίτη (με τη φυσική του υγρασία, περίπου 35-40% κ.β. H₂O) με σόδα ή διάλυμα σόδας. Για βέλτιστη αλκαλική ενεργοποίηση πρέπει η ποσότητα της προστιθέμενης σόδας να αντιστοιχεί στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Στους συνηθισμένους μπεντονίτες του εμπορίου είναι περίπου 70-80 med /100 lt μπεντονίτη και σε αυτή αντιστοιχούν 3,7-4,2 % (επί του ξηρού μπεντονίτη) άνυδρη σόδα. Με την ανταλλαγή των ιόντων οι ήδη λεπτοί κρύσταλλοι του μοντμοριλλονίτη αποχωρίζονται σε ακόμα λεπτότερους κρυστάλλους. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει ένας «ενεργός» μπεντονίτης με πολύ υψηλότερη πλαστικότητα, υδατοαπορροφητικότητα, θιξοτροπική ικανότητα και πολύ ψηλότερο ιξώδες. [Κωστάκης, 1999]

1.4.3 Ειδική επιφάνεια - Μέγεθος κρυστάλλων

Ειδική επιφάνεια ενός κόκκου ορίζεται η σχέση της εξωτερικής επιφάνειας προς το βάρος του. Δηλαδή:

$$S_w = S / W = (f / \kappa * \rho) * 1 / d$$

- όπου S_w ειδική επιφάνεια του κόκκου,
- S εξωτερική επιφάνεια του κόκκου,
- W το βάρος του κόκκου,
- d η διάμετρός του,
- κ μία σταθερά ($\kappa = \pi / 6 = 0,524$ &
- ρ η πυκνότητα και $f = \pi = 3,14$

Το μέγεθος των σμεκτιτών κυμαίνεται μεταξύ 0.01μm - 2μm. [Grim & Güven, 1978]

Η κρυσταλλική μορφή και τα χαρακτηριστικά των συσσωματωμάτων επηρεάζουν σημαντικά τις φυσικές και ρεολογικές ιδιότητες των σμεκτιτικών αργίλων. Η ειδική επιφάνεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου του κόκκου. Όσο μικραίνει το μέγεθος κόκκου μεγαλώνει η ειδική επιφάνεια .

Όπως προαναφέραμε το **μέγεθος των σμεκτιτικών κρυστάλλων** κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2 μm με μέσο μέγεθος περίπου 0,5 μm . Από άποψη μορφολογίας, οι μεμονωμένοι κρύσταλλοι είναι ρομβικοί ή εξάγωνικοί , ελασματοειδείς ή ινώδεις.

Επίσης οι Grim & Güven (1978) ταξινομούν τους διάφορους τύπους των σμεκτιτικών συσσωματωμάτων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά ή τη μορφή των μεμονωμένων κρυσταλλιτών και τη διευθέτησή τους σε αυτά, στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Σφαιροειδή συσσωματώματα (τύπος-Otay) που αποτελούνται από μικροσκοπικά σφαιρίδια.
- Συσσωματώματα (τύπος-Cheto), που αποτελούνται από μεμονωμένους κρυσταλλίτες σμεκτίτη και μοιάζουν με εύκαμπτες ινώδεις μονάδες (mossy)
- Ελασματοειδή συσσωματώματα που αποτελούνται από σμεκτιτικούς κρυστάλλους.

1.4.4 Ιοντοεναλλακτική ικανότητα

Αποτελεί την πιο σημαντική ιδιότητα των μπεντονιτών. Περιλαμβάνει την παρουσία ανταλλάξιμων ιόντων, που αρχικά προσροφώνται στις ενδοστρωματικές επιφάνειες. Τα συνηθέστερα ανταλλάξιμα ιόντα είναι το ασβέστιο και το μαγνήσιο, ενώ σπανιότερα εμφανίζονται νάτριο κάλιο και υδρογόνο. Τα ενδοστρωματικά κατιόντα ενός σμεκτίτη, μπορούν να ανταλλαγούν από άλλα ανόργανα και οργανικά κατιόντα και η ιοντοεναλλακτική ικανότητα αυξάνεται ανάλογα με το ηλεκτροστατικό φορτίο των στρώσεων. Σύμφωνα με τους Weaver & Pollard (1973), η συνολική ικανότητα ανταλλαγής ιόντων των σμεκτιτικών αργίλων, οφείλεται κατά 80% περίπου στα φορτία που προκύπτουν από υποκαταστάσεις στο πλέγμα και κατά 20% στα φορτία που προέρχονται από θραυσμένους δεσμούς στα όρια των κρυστάλλων. Το νάτριο, εξαιτίας του σθένους του, αντικαθίσταται εύκολα από το ασβέστιο και το

μαγνήσιο, με αποτέλεσμα οι σμεκτιτικές άργιλοι να συρρικνώνονται. Με αυξανόμενο pH δημιουργούνται στα πλευρικά όρια ενός κρυστάλλου φυλλοπηριτικού ορυκτού, αρνητικά φορτία, τα οποία είναι ικανά να δεσμεύσουν κατιόντα .

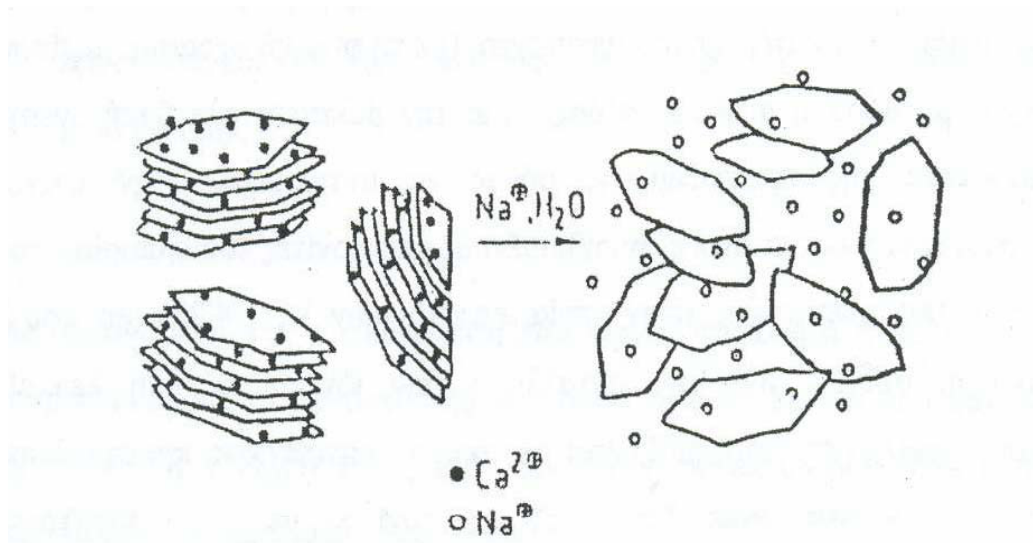
Ο ρόλος των ανταλλάξιμων ιόντων είναι καθοριστικός στις βιομηχανικές εφαρμογές των σμεκτιτικών αργίλων. Για παράδειγμα, οι σμεκτιτικές άργιλοι που έχουν ως ανταλλάξιμο ιόν το νάτριο εμφανίζουν υψηλή ικανότητα διόγκωσης και ρεολογικές ιδιότητες. Αυτό συμβαίνει γιατί το νάτριο οδηγεί σε ανάπτυξη πολλών προσανατολισμένων στρωμάτων νερού στις ενδοστρωματικές επιφάνειες. Η ενυδάτωση, μπορεί να προκαλέσει διόγκωση σε σημείο πλήρους διαχωρισμού των μεμονωμένων σμεκτιτικών κρυστάλλων και έτσι να οδηγήσει σε υψηλό βαθμό διασποράς και μέγιστη ανάπτυξη κολλοειδών ιδιοτήτων, δηλαδή υψηλό φυσικό ιξώδες. Αντίθετα, σμεκτίτες με παρόμοιο χημισμό, αλλά με ανταλλάξιμο ασβέστιο και μαγνήσιο ακόμα και σε πλήρη ενυδάτωση εμφανίζουν μικρό βαθμό διόγκωσης.

Ο ρόλος της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας στην εμπορική εκμετάλλευση των μπεντονιτών είναι καθοριστικός, με δεδομένο ότι άλλες ιδιότητες όπως η ικανότητα διόγκωσης και οι ρεολογικές ιδιότητες επηρεάζονται από αυτή. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού της ιοντοεναλλακτικής ικανότητας, βιομηχανικής ή εργαστηριακής κλίμακας όπως η μέθοδος κυανού του μεθυλενίου και του κορεσμού με οξικό αμμώνιο.

1.4.5 Ρεολογικές ιδιότητες

Η δυνατότητα της ανάπτυξης μεγάλου ιξώδους και θιξοτροπίας οφείλονται στις μεγάλες ποσότητες ανταλλάξιμου νατρίου.[Κωστάκης, 1999] Η ανάπτυξη ηλεκτρικού δυναμικού έχει ως συνέπεια την απώθηση των κρυστάλλων και τη δυνατότητα αιώρησής τους στο υγρό, δημιουργώντας έτσι ένα κολλοειδές σύστημα.

Ακόμη, η ενυδάτωση και οι χημικές ιδιότητες των μπεντονιτών προκαλούν διαχωρισμό και διασκορπισμό των κρυστάλλων.



Εικ. 1.1 Δημιουργία κολλοειδών αιωρημάτων νατριούχων σμεκτιτών [Κοκκίδης, 2006]

1.4.6 Θιξοτροπία

Όταν ο μπεντονίτης προστεθεί στο νερό τότε κάτω από προϋποθέσεις δημιουργεί αιώρημα με θιξοτροπική συμπεριφορά. Η θιξοτροπία είναι η ιδιότητα εκείνη που έχουν κάποια υλικά, όπως ο μπεντονίτης, να μεταπίπτουν από κατάσταση πηκτώματος (gel) σε κατάσταση αιωρήματος (sol). Η ιδιότητα αυτή, δηλαδή η θιξοτροπία παρατηρείται στους φυσικούς νατριούχους μπεντονίτες, καθώς και σε ορισμένους μπεντονίτες που έχουν ενεργοποιηθεί με νάτριο. Η θιξοτροπία είναι απαραίτητη ιδιότητα για μπεντονίτες που χρησιμοποιούνται σε πολφούς γεωτρήσεων.

1.5 Εφαρμογές μπεντονιτών

Ο μπεντονίτης αναφέρεται και σαν άργιλος με τις χίλιες χρήσεις, λόγω του ότι χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. [Grim & Guven 1978, Κωστάκης 1999]

Η αξία του οφείλεται:

- στις ορυκτολογικές του ιδιότητες
- την ιοντοεναλλακτική του ικανότητα
- αλλά και τις προσροφητικές του ιδιότητες

Οι κυριότερες εφαρμογές του είναι:

- Χυτήρια
- Πολφοί γεωτρήσεων
- Σφαιροποίηση σιδήρου
- Γεωργία Ζωοτροφές & Περιβάλλον
- Άμμοι υγιεινής
- Φαρμακευτικά είδη, καλλυντικά και ιατρικές εφαρμογές
- Βιομηχανία χρωμάτων
- Βιομηχανία χαρτιού

1.5.1 Βιομηχανία χαρτιού

Οι άργιλοι και κυρίως ο καολινίτης, χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά υλικά στη βιομηχανία χαρτιού.

Ο μπεντονίτης προστίθεται σε ποσοστό περίπου 1%. Η προσθήκη αυτή βελτιώνει την αποδοτικότητα της μετατροπής του πολτού σε χαρτί, διότι αποτρέπει τη συσσώρευση των λεπτών μορίων της πίσσας και του ρητινούχου υλικού που προκαλούν ατέλειες στο φύλλο. Επίσης σε συνδυασμό με πολυμερή, μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της συνοχής των συστατικών του πολφού και στον καθαρισμό του κυκλώματος του νερού. Όπως είναι γνωστό το ποσοστό αυτό συμβάλλει στην αύξηση της συνοχής των χρωστικών ουσιών και στην ομοιομορφία της κατανομής της χρωστικής ουσίας σε όλο το χαρτί. Εκτός όμως από την κατασκευή του χαρτιού, ο μπεντονίτης χρησιμεύει και στην ανακύκλωση του χαρτιού, αφού έχει την ιδιότητα να το αποχρωματίζει.

1.5.2 Πολφοί γεωτρήσεων

Η τεχνολογία των πολφών γεωτρήσεων, αναπτύχθηκε κυρίως λόγω των ιδιαίτερα καλών ρεολογικών ιδιοτήτων του μπεντονίτη. Η αποκλειστική ιδιότητα αυτής της αργίλου είναι ότι σχηματίζει λεπτά στρώματα πάχους $10-100\text{\AA}^0$ και επιφάνειας περίπου $100-100\text{\AA}^{02}$ όταν αναμειχθεί με νερό. Αυτά τα λεπτότατα στρώματα, δίνουν ένα αιώρημα 5-10% στο νερό, που είναι ότι καλύτερο για το ρευστό από πλευράς ελέγχου του ιξώδους, του κολλοειδούς και των απωλειών του ρευστού. Έτσι κατά κύριο λόγο ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως λειαντικό στα γεωτρύπανα και ως υποστήριξη των τοιχωμάτων της γεώτρησης.

Ειδικότερα η προσθήκη μπεντονίτη έχει τις εξής ιδιότητες:

- Αύξηση της ικανότητας καθαρισμού του φρέατος.

Αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες λειτουργίες των διατρητικών ρευστών.

- Δημιουργία λεπτού υποστρώματος στα τοιχώματα.

Κατά τη διάνοιξη μιας γεώτρησης το νερό διαπερνά τη μεμβράνη και εισέρχεται στους πόρους του πετρώματος. Αυτό πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο, οπότε το ρευστό διαμορφώνεται έτσι ώστε να δημιουργείται ένα λεπτό υπόστρωμα στα τοιχώματα του φρέατος που δεν θα επιτρέπει τη διαφυγή και τη διήθηση υγρού στους πόρους των πετρωμάτων.

- Αιωρούμενα στερεά και απελευθέρωσή τους στην επιφάνεια- σταθεροποίηση των τοιχωμάτων.

Κατά τη διάνοιξη μιας γεώτρησης, η διάτρηση δεν είναι συνεχής. Όταν λοιπόν η λειτουργία του κοπτικού έχει σταματήσει, θα πρέπει να δημιουργείται ένα είδος πηκτώματος έτσι ώστε να μην καθιζάνουν τα θραύσματα.. Επίσης η πυκνότητα του ρευστού της γεώτρησης, θα πρέπει να ρυθμίζεται, για να παρέχεται ικανή υδροστατική πίεση που να μην είναι υψηλή ώστε να προκαλέσει θραύση των πετρωμάτων.

1.5.3 Σφαιροποίηση σιδήρου

Ο μπεντονίτης αποτελεί κύριο συνδετικό υλικό για την κατασκευή σφαιριδίων σιδηρομεταλλευμάτων. Τα σφαιρίδια αυτά έχουν υψηλή μηχανική αντοχή και καλή συμπεριφορά σε θερμική καταπόνηση. Συνήθως χρησιμοποιούνται νατριούχοι μπεντονίτες, που προσδίδουν στα σφαιρίδια υψηλή μηχανική αντοχή και καλή συμπεριφορά σε θερμική καταπόνηση.

Επειδή ο σίδηρος μετά από τον εμπλουτισμό, περιέχει υγρασία σκοπός του μπεντονίτη είναι να δεσμεύει το πλεονάζον νερό. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιούνται μπεντονίτες με υψηλό σημείο Eslin (μέτρο για την προσρόφηση του νερού από τον μπεντονίτη). Τέλος, το σιδηρομετάλλευμα κατά τη σφαιροποίηση θα πρέπει να είναι σε μορφή κόνεως ώστε να είναι δυνατός ο διαχωρισμός των προσμίξεων από το σίδηρο.

1.5.4 Φαρμακευτικά είδη, καλλυντικά και ιατρικές εφαρμογές

Τα τελευταία χρόνια επικρατεί μια αυξανόμενη τάση για χρήση νατριούχων μπεντονιτών στα φάρμακα και τα καλλυντικά. Οι μπεντονίτες λειτουργούν ως υλικά πλήρωσης στα φαρμακευτικά είδη εξαιτίας των ιδιοτήτων προσρόφησης και απορρόφησης.

- Οι χρήσεις του μπεντονίτη στα καλλυντικά είναι:

Ο πολφός βρίσκει βιομηχανική εφαρμογή σε λοσιόν, σε μάσκες προσώπου καθώς και σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας

- Οι χρήσεις του μπεντονίτη όσον αφορά την ιατρική γενικότερα είναι:

- αντίδοτο δηλητηρίασης από βαριά μέταλλα και ουσίες όπως η μορφίνη και η κοκαΐνη
- στον καθαρισμό των φαρμακευτικών μιγμάτων και βιταμινών

1.5.5 Βιομηχανία χρωμάτων

Οι μπεντονίτες που έχουν ενεργοποιηθεί με αμίνες χρησιμοποιούνται ως προσθετικά σε μπογιές. Οι θιξοτροπικές τους ιδιότητες βοηθούν στην πύκνωση του υλικού στο οποίο προστίθενται και παρεμποδίζουν την καθίζηση. Η προσθήκη 0.5-2% μπεντονίτη σε βαριές χρωστικές ουσίες όπως η σκόνη ψευδαργύρου, βελτιώνει τη σταθερότητα της σύστασής τους και την ικανότητά τους να δημιουργούν επικαλύψεις.

1.5.6 Άμμοι υγιεινής

Ένας τομέας όπου οι μπεντονίτες βρίσκουν σημαντική εφαρμογή, είναι οι άμμοι υγιεινής. Κύριο χαρακτηριστικό τους, είναι η μεγάλη ικανότητα προσρόφησης. Το μέγεθός τους, είναι από 10-30 mesh. Οι άργιλοι που χρησιμοποιούνται, θερμαίνονται σε θερμοκρασίες 100°C-1000°C για να αναπτύξουν προσροφητικές ικανότητες και για να παραχθεί υλικό το οποίο δεν διασπάται σε μικρότερα τμήματα. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι άμμοι είναι οι scoopable και clumping.

Για να ρυθμιστεί ο έλεγχος της οσμής και να εξασφαλιστούν οι και οι εντομοαπωθητικές ιδιότητες οι άμμοι αναμειγνύονται με διάφορα χημικά.

1.5.7 Χυτήρια

Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται σε μίγματα προϊόντων που περιέχουν ανθρακικά υλικά και άλλα πρόσθετα στην μέθοδο της άμμου καλουπιών χυτηρίων, για την παραγωγή σιδήρου και χάλυβα. Η αναλογία που αναμειγνύονται οι σμεκτιτικοί άργιλοι με χαλαζιακή άμμο και νερό είναι από 5-10%.

Σκοπός της ανάμειξης αυτής, είναι να αποκτήσει η άμμος πλαστικότητα και συνεκτικότητα, ώστε να είναι δυνατή η μορφοποίησή της σε καλούπια.

Ο μπεντονίτης προσδίδει στην άμμο αρκετή σταθερότητα ώστε να διατηρεί το σχήμα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την χύτευση του ρευστοποιημένου μετάλλου στο καλούπι. Οι ιδιότητες των μετάλλων που είναι σημαντικές για την χύτευση είναι:

- η θερμική σταθερότητα
- η καλή ικανότητα ροής και συμπύκνωσης
- και η μεγάλη διάρκεια ζωής

Ο τομέας της αυτοκινητοβιομηχανίας χρησιμοποιεί σε μεγάλο εύρος τα προϊόντα των χυτηρίων.

1.5.8 Γεωργία και ζωοτροφές

Η ικανότητα του μπεντονίτη της κατακράτησης διαφόρων ιχνοστοιχείων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της βλάστησης τον καθιστά χρήσιμο για την τροποποίηση εδαφών λόγω της ιοντοεναλλακτικής του ικανότητας.

Συνήθως για την γεωργία χρησιμοποιούνται οι ασβεστούχοι μπεντονίτες, οι οποίοι θεωρούνται πηγές ασβεστίου που είναι χρήσιμοι για την ανάπτυξη των φυτών. Ακόμη οι μπεντονίτες μπορούν να διατηρούν την οργανική ύλη ώστε να προστατεύεται από αποσάθρωση και οξείδωση. Επίσης, οι μπεντονίτες, ασβεστούχοι ή νατριούχοι, προστίθενται στις ζωοτροφές σε ποσοστό 2% περίπου, ώστε να αυξηθεί η θρεπτική τους αξία.

1.5.9 Περιβάλλον

Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως υλικό στεγανοποίησης στην κατασκευή χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (XYTA). Το υλικό τοποθετείται σε στρώσεις και συμπυκνώνεται. Η χαμηλή του διαπερατότητα χρησιμεύει στην επικάλυψη των XYTA καθώς επίσης και στην κατασκευή περιφερειακών κάθετων τοιχωμάτων που λειτουργούν ως διαφράγματα. Έτσι διασφαλίζεται η μακροχρόνια προστασία των υπόγειων υδάτων από επικίνδυνους ρυπαντές. Οι προσροφητικές ικανότητες του μπεντονίτη χρησιμεύουν και για την αφαίρεση ανεπιθύμητων χημικών ενώσεων από το νερό, όπως:

- οργανικά παραπροϊόντα απολύμανσης
- τα συνθετικά οργανικά
- τα φυτοφάρμακα &
- γενικά τα διαλυμένα οργανικά που είναι δυνατό να υπάρχουν στο νερό

Αν και αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο ενεργός άνθρακας λόγω της υψηλής ικανότητας προσρόφησης οργανικών ρυπαντών, γρήγορα αντικαταστάθηκε λόγω του υψηλού του κόστους, οπότε άρχισε να γίνεται χρήση υποκατάστατων. Οι μπεντονίτες ανήκουν στα υποκατάστατα αυτά και χρησιμοποιούνται κυρίως για την απομάκρυνση χρωμάτων και μεταλλικών ιόντων.



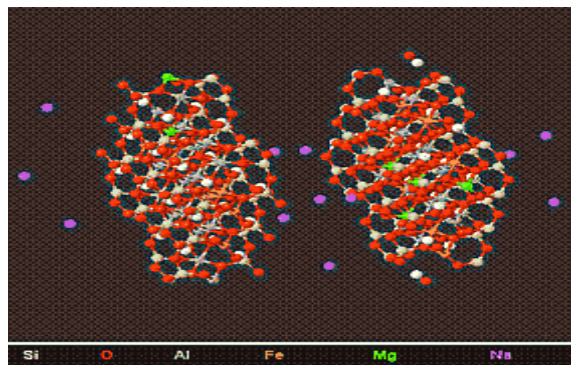
Εικ. 1.2 Υγειονομική ταφή απορριμμάτων όπου ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως υλικό στεγανοποίησης [www.geoservice.gr]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΜΕΚΤΙΤΕΣ

2.1 Γενικά

Οι μπεντονίτες είναι άργιλοι πλούσιοι στα ορυκτά της ομάδας του σμεκτίτη ανεξάρτητα με το τρόπο γένεσης και εμφάνισης τους. Ο πιο συνηθισμένος σμεκτίτης είναι ο μοντμοριλονίτης. Η ποικιλία της χημικής σύστασης των σμεκτιτών επιδρά στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των μπεντονιτών. Οι σημαντικοί για την τεχνική μπεντονίτες περιέχουν σμεκτίτη τουλάχιστον 60 – 80%. [Christidis & Dunham, 1997]



Εικ. 2.1 Μοντέλο σμεκτίτη [www.smianalytical.com]

Η ομάδα των σμεκτιτών εκτός από μοντμοριλλονίτη περιλαμβάνει και τα ορυκτά:

- Βειδελλίτη
- Νοτρονίτη
- Σαπωνίτη
- Εκτορίτη και
- Στιβενσσίτη.

2.2 Δομή σμεκτίτη

Οι σμεκτίτες αποτελούνται από μεμονωμένους κρυσταλλίτες, οι περισσότεροι από τους οποίους είναι της τάξης $< 2\mu\text{m}$ στην μεγαλύτερή τους διάσταση.

Τα ορυκτά της ομάδας του σμεκτίτη χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη μιας οκταεδρικής στοιβάδας μεταξύ δύο τετραεδρικών στοιβάδων.

Πίνακας 2.1: Δομή των σμεκτιτών [Χρηστίδης 2003]

Σμεκτίτες	Δομή	Z	X	Y
Μοντμοριλλονίτης	Διοκταεδρικός	Si ₈	Al _{3.3} Mg _{0.7}	(1/2 Ca, Na) _{0.7}
Βειδελλίτης	Διοκταεδρικός	Si _{7.3} Al _{0.7}	Al ₄	(1/2 Ca, Na) _{0.7}
Νοντρονίτης	Διοκταεδρικός	Si _{7.3} Al _{0.7}	Fe ⁺³ ₄	(1/2 Ca, Na) _{0.7}
Σαπωνίτης	Τριοκταεδρικός	Si _{7.2} Al _{0.7}	Mg ₆	(1/2 Ca, Na) _{0.8}
Εκτορίτης	Τριοκταεδρικός	Si ₈	Mg _{5.3} Li _{0.7}	(1/2 Ca, Na) _{0.7}

- η οκταεδρική στοιβάδα είναι τύπου γκιψίτη δηλαδή αποτελείται από: θετικά φορτισμένα ιόντα αργιλίου (Al³⁺), αρνητικά ιόντα οξυγόνου (O₂) και υδροξύλια (OH⁻). Τα αρνητικά ιόντα διευθετούνται με τέτοιο τρόπο γύρω από το κατιόν του αργιλίου ώστε να σχηματίζονται οκτάεδρα.
- οι τετραεδρικές στοιβάδες αποτελούνται από τετράεδρα πυριτίου τα οποία καταλαμβάνουν το κέντρο του τετραέδρου, ενώ αρνητικά φορτισμένα ιόντα οξυγόνου καταλαμβάνουν τις κορυφές του τετραέδρου.

Οι σμεκτίτες ανάλογα με το βαθμό πλήρωσης της οκταεδρικής στοιβάδας διακρίνονται σε διοκταεδρικούς και τριοκταεδρικούς. Στη συνέχεια περιγράφεται η δομή των διοκταεδρικών και των τριοκταεδρικών σμεκτιτών:

- Η δομή των διοκταεδρικών σμεκτιτών είναι ανάλογη με αυτή του πυροφυλλίτη, με μόνη διαφορά ότι το οκταεδρικό Al³⁺ μπορεί να αντικατασταθεί από

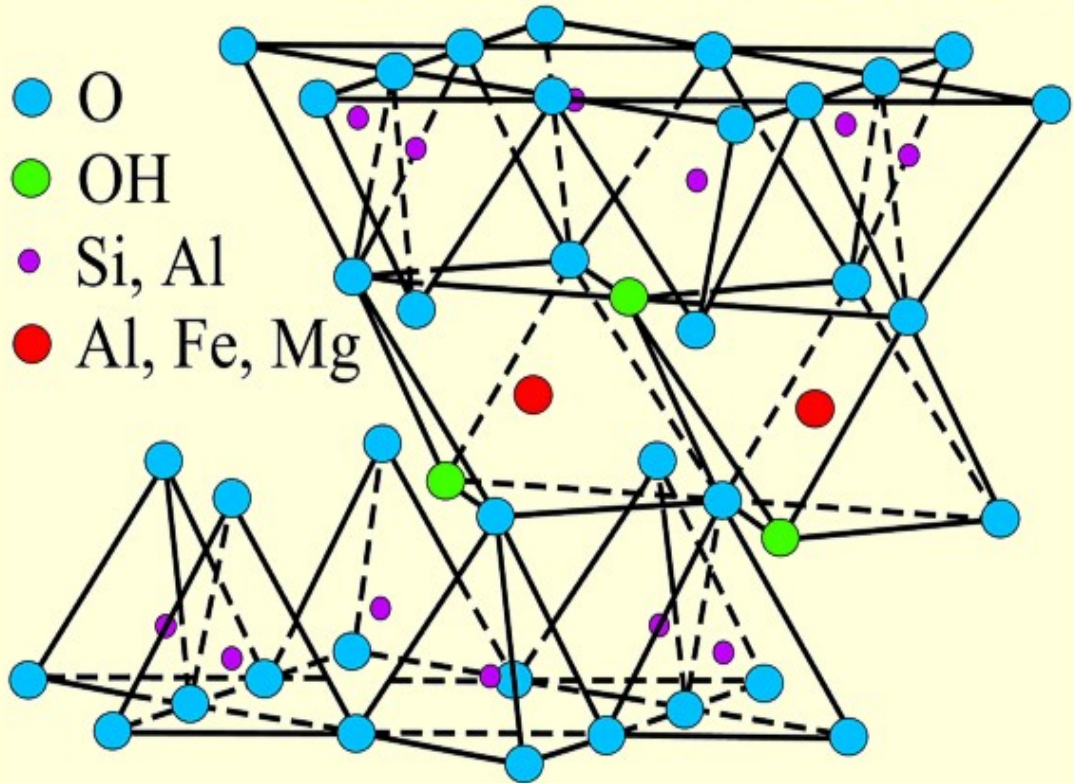
ορισμένα κατιόντα όπως Mg^{+2} , Fe^{+2} και Fe^{+3} , ενώ το τετραεδρικό Si^{+4} από Al^{3+} . Για τους πυροφυλλίτες οι αποστάσεις μεταξύ δύο στρώσεων, d_{001} είναι $8.9 \text{ \AA}$, ενώ για τους σμεκτίτες η βασική απόσταση είναι τις περισσότερες φορές $9.6 \text{ \AA}$.

- Η δομή των τριοκταεδρικών σμεκτιτών είναι ανάλογη με αυτή του τάλκη, με τη διαφορά ότι το κατιόν του μαγνησίου (Mg^{+2}) μπορεί να αντικατασταθεί από τα κατιόντα λιθίου (Li^{+}) και σιδήρου (Fe^{+2}). Επίσης το ιόν του Si^{4+} μπορεί να αντικατασταθεί από Al^{3+} στις τετραεδρικές θέσεις.

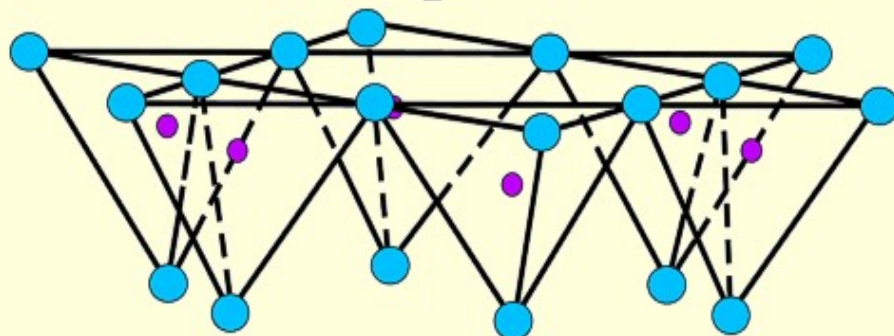
Οι αντικαταστάσεις ιόντων στη δομή του σμεκτίτη δημιουργούν έλλειμμα φορτίου, του φορτίου κρυσταλλικής δομής. Το έλλειμμα αυτό εξισορροπείται από κατιόντα, τα οποία εισέρχονται στον ενδοστρωματικό χώρο και τα οποία είναι ανταλλάξιμα και ενυδατώνονται.

Ο βαθμός της ενυδάτωσης των ανταλλάξιμων κατιόντων είναι πολύ σημαντικός και παίζει ιδιαίτερο ρόλο στην ενδοκρυσταλλική διόγκωση. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα συνεισφέρουν ιοντοεναλλακτική ικανότητα. [www.webmineral.com]

STRUCTURE OF MONTMORILLONITE



EXCHANGEABLE CATIONS
 $n \text{ H}_2\text{O}$

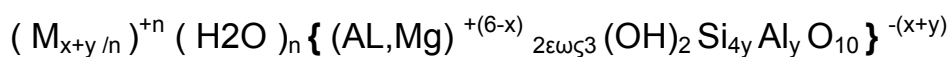


MODIFIED FROM GRIM (1962)

Εικ. 2.2 Δομή του μοντμοριλλονίτη [pubs.usgs.gov/]

2.2.1 Χημικός τύπος μοντμοριλλονίτη

Ο γενικός χημικός τύπος του μοντμοριλλονίτη έχει την μορφή: [Κωστάκης, 1999]



Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, οι μοντμοριλλονίτες με $(x+y)=0,3$ είναι συνήθως τα κύρια ορυκτά των μπεντονιτών. Ανάλογα με την ποσότητα των μορίων του νερού που βρίσκονται μεταξύ των κρυσταλλιτών των τριών στρώσεων, διογκώνεται η δομή του μοντμοριλλονίτη παράλληλα προς την κατεύθυνση του κρυσταλλογραφικού άξονα c , πράγμα που οδηγεί στην αύξηση της απόστασης μεταξύ δύο φύλλων. Αντίθετα, κατά την απομάκρυνση των μορίων του νερού που βρίσκονται μεταξύ των πακέτων, προκαλείται συρρίκνωση παράλληλα προς την κατεύθυνση c . Το φορτίο των στοιβάδων των σμεκτιτών εξουδετερώνεται από τα ανταλλάξιμα ιόντα στις ενδοστρωματικές θέσεις. Τα κατιόντα (στη φυσική τους μορφή, κυρίως τα ιόντα Ca^{2+} , Mg^{2+} ή Na^{+}) προσροφώνται σε αυτήν την περιοχή με το ένυδρο περίβλημά τους. Ο βαθμός της ενυδάτωσης των κατιόντων συνεισφέρει στην ενδοκρυσταλλική διόγκωση.



Εικ. 2.3 Αεροφωτογραφία λατομείου Μήλου [www.daniilidis.gr]



Εικ. 2.4: Κοιτάσματα μπεντονίτη στο νησί της Μήλου [Νικητάκη, 2004]

2.3 Ιδιότητες ορυκτών πλούσιων σε σμεκτίτη

Πίνακας 2.2: Ορολογία που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό γεωολικών πλούσιων σε σμεκτίτη [Χρηστίδης 2005]

ΟΡΥΚΤΟ	ΣΥΝΩΝΥΜΟΙ ΟΡΟΙ	ΤΟΠΙΚΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑ
Νατριούχος σμεκτίτης	Νατριούχος μπεντονίτης Συνθετικός μπεντονίτης Διογκούμενος μπεντονίτης Ενεργοποιημένος με Na μπεντονίτης Μπεντονίτης με ανταλλάξιμο Na	Μπεντονίτης Δυτικών Πολιτειών (ΗΠΑ) Μπεντονίτης του Wyoming (ΗΠΑ) Μπεντονίτης Μεγάλης Βρετανίας
Ασβεστούχος σμεκτίτης	Ασβεστούχος μπεντονίτης Υπομπεντονίτης Μη διογκούμενος μπεντονίτης	Μπεντονίτης Νότιων Πολιτειών (ΗΠΑ) Μπεντονίτης του Τέξας (ΗΠΑ) Fuller's Earth (Μεγάλη Βρετανία)
Μαγνησιούχος σμεκτίτης	Σαπωνίτης Αρμαγκοζίτης	
Καλιούχος σμεκτίτης	Μετα-μπεντονίτης Καλιούχος μπεντονίτης	
Λιθιούχος – Μαγνησιούχος	Εκτορίτης	

Το ποσοστό της διόγκωσης ενός μπεντονίτη εξαρτάται τόσο από την ποιότητα αυτού, όσο και από την περιεκτικότητά του σε σμεκτίτη. Η παράμετρος της περιεκτικότητας σχετίζεται με τις προσμίξεις, δηλαδή με τα μη διογκώσιμα ορυκτά. Η ποιότητα εξαρτάται από το είδος του σμεκτίτη που απαντάται και σχετίζεται με τα κρυσταλλοχημικά χαρακτηριστικά του.

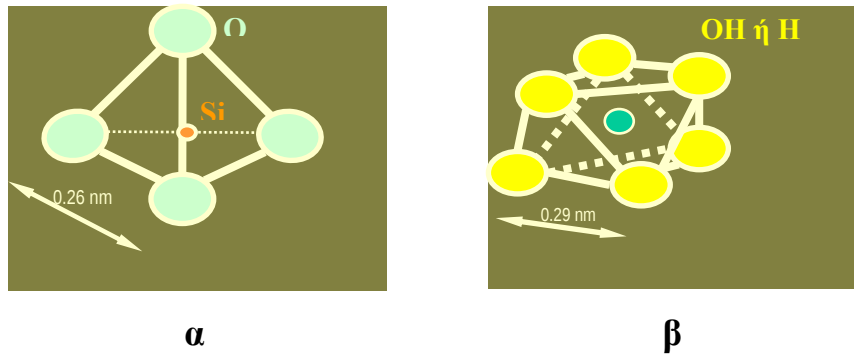
Επίσης επηρεάζεται και από δευτερογενείς διαδικασίες, όπως η μείωση στο pH του πηκτώματος του μπεντονίτη, ή ο σχηματισμός σμεκτίτη με χαμηλότερο ή υψηλότερο φορτίο κρυσταλλικής δομής. Οι χαμηλότερες τιμές του pH των πηκτωμάτων οφείλονται στην δράση όξινων υδροθερμικών ή άλλων ρευστών επί του κοιτάσματος μπεντονίτη. Η επίδραση όξινων υδροθερμικών διαλυμάτων επηρεάζει την αλκαλική ενεργοποίηση διότι πρέπει να υπάρξει αρχικά εξουδετέρωση του οξέως έτσι ώστε η ενεργοποίηση να είναι επιτυχής. Δηλαδή τόσο η ποιότητα όσο και η περιεκτικότητα σε σμεκτίτη επηρεάζονται από την επίδραση της υδροθερμικής εξαλλοίωσης του μπεντονίτη η οποία μεταβάλλει τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του, μειώνοντας παράλληλα την περιεκτικότητα σε σμεκτίτη και η ύπαρξη λεπτοδιαμερισμένων φάσεων πυριτίου (οπάλιος - CT, χριστοβαλίτης) και ο τρόπος σύμφυσης τους με τον σμεκτίτη επιδρά αρνητικά στις ιδιότητες του μπεντονίτη. Η ύπαρξη σμεκτιτών με διαφορετικά κρυσταλλοχημικά χαρακτηριστικά οι οποίοι προκύπτουν από εξαλλοίωση ηφαιστειακού γυαλιού, ποικίλης σύστασης ή δομής επιδρά αρνητικά στην ποιότητα του υλικού. [Christidis & Scott 1993]

2.4 Φορτίο κρυσταλλικής δομής

Το φορτίο κρυσταλλικής δομής είναι μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους των σμεκτιτών αργίλου. Η κατανομή του φορτίου επηρεάζει την πρακτική εφαρμογή των μπεντονιτών και ο προσδιορισμός του πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε όλες τις τεχνολογικές έρευνες. Αυτή η ιδιότητα πρέπει επίσης να εξετάζεται στις έρευνες για το σχηματισμό των μοντμοριλλονιτών και τη γεωλογία των κοιτασμάτων μπεντονιτών. Το κρυσταλλικό φορτίο καθορίζει τις ιδιότητες οι οποίες είναι σημαντικές για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτές είναι κυρίως οι ρεολογικές ιδιότητες, ιδιότητες διόγκωσης, συρρίκνωσης, η ικανότητα δέσμευσης των ανταλλάξιμων κατιόντων και οι ιδιότητες των ενεργοποιημένων αργίλων. [Lagaly & Weiss, 1975]

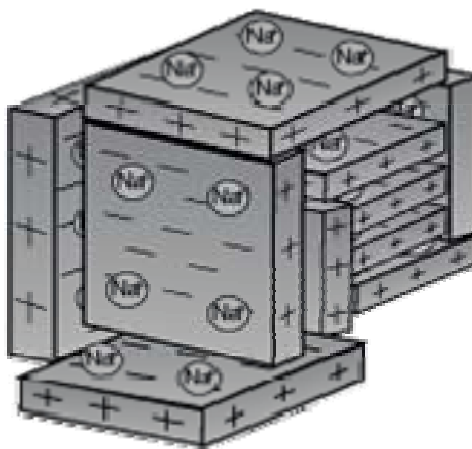
Το κρυσταλλικό φορτίο είναι το αρνητικό φορτίο των αργιλικών στρωμάτων που εμφανίζουν οι σμεκτίτες λόγω υποκαταστάσεων στην τετραεδρική και οκταεδρική στοιβάδα του πλέγματός τους.

Π.χ: Η αντικατάσταση του τετραεδρικού Si^{+4} από το Al^{3+} και η αντικατάσταση του οκταεδρικού Al^{3+} από ορισμένα κατιόντα όπως Mg^{+2} , Fe^{+2} συμβάλλουν στην αύξηση του κρυσταλλικού φορτίου κατά ένα ηλεκτρόνιο στα στρώματα.



Εικ. 2.5 α) τετράεδρο πυριτίου, β) οκτάεδρο αργιλίου

Το αρνητικό φορτίο εξισορροπείται από τα κατιόντα που παρεμβάλλονται μεταξύ των δομικών μονάδων στις ενδοστρωματικές θέσεις. Τα κατιόντα αυτά που είναι συνήθως μέταλλα των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών και είναι ενυδατωμένα, όπως ενυδατωμένη είναι και η επιφάνεια των ενδοστρωματικών θέσεων, μπορούν να ανταλλάγουν και να συνεισφέρουν στην ιοντοεναλλακτική ικανότητα. Έτσι όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο των στρωμάτων ενός σμεκτίτη, τόσο μεγαλύτερη είναι η ιοντοεναλλακτική του ικανότητα. [Laird / et al, 1987]



Εικ. 2.6 Ενδοστρωματικά κατιόντα

Διακρίνουμε δύο τύπους φορτίου ανάλογα με τον τρόπο προέλευσής του. Το μόνιμο και το μεταβλητό εξαρτώνται από το PH. Το μόνιμο προκύπτει από αντικαταστάσεις στον κρύσταλλο, σχετίζεται με τη δομή του ορυκτού και τη σύνθεσή του και δεν επηρεάζεται από το PH. Το μεταβλητό φορτίο προέρχεται από θραυσμένους δεσμούς στα άκρα των κρυστάλλων. Για τους σμεκτίτες το μόνιμο φορτίο είναι πολύ υψηλότερο από το μεταβλητό φορτίο.

Υπάρχουν μερικές μέθοδοι οι οποίες είναι κατάλληλες για τον προσδιορισμό του κρυσταλλικού φορτίου. Μια μέθοδος που εφαρμόζεται σήμερα για τον προσδιορισμό του κρυσταλλικού φορτίου των στρωμάτων των αργίλων είναι η μέθοδος αλκυλαμμωνίου. Οι πρώτες προσπάθειες για την εκτίμηση της πυκνότητας του φορτίου πραγματοποιήθηκαν από τους Weiss και Kantner (1960). Σύμφωνα με τους Lagaly & Weiss (1969), η μέθοδος αλκυλαμμωνίου συγκρινόμενη με τη μέθοδο χημικού τύπου, επιτρέπει προσδιορισμό του φορτίου των φύλλων ακόμη και στην περίπτωση παρουσίας προσμίξεων. Η μέθοδος αλκυλαμμωνίου απαιτεί την προετοιμασία και την ανάλυση XRD μιας σειράς δειγμάτων που υφίστανται κορεσμό με κατιόντα αλκυλαμμωνίου με γραμμικές αλυσίδες αλκυλίων και μεταβλητά μήκη αλυσίδων. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι είναι χρονοβόρα. Η καταλληλότητα της μεθόδου του αλκυλαμμωνίου για τον προσδιορισμό του κρυσταλλικού φορτίου παραμένει ένα ανοικτό πρόβλημα και απαιτούνται περαιτέρω μελέτες. **[Laird et al, 1987].**

Ακόμη το κρυσταλλικό φορτίο μπορεί να εκτιμηθεί από τους στοιχειομετρικούς συντελεστές στους χημικούς τύπους που προκύπτουν από χημικές αναλύσεις σμεκτιτών. Οι χημικοί τύποι που υπολογίζονται από την ανάλυση των αναλυτικών δεδομένων κατανέμουν τα στοιχεία στα τετραεδρικές και οκταεδρικές στοιβάδες.

Τέλος μια μέθοδος προσδιορισμού του φορτίου των στρωμάτων είναι η μέθοδος των Christidis & Eberl (2003), η οποία χρησιμοποιεί σμεκτίτες που έχουν προηγουμένως κορεστεί με K και εκτεθεί σε περιβάλλον αιθυλενογλυκόλης. **[Νικητάκη, 2007]**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ – ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΩΝ

3.1 Πλαστικότητα

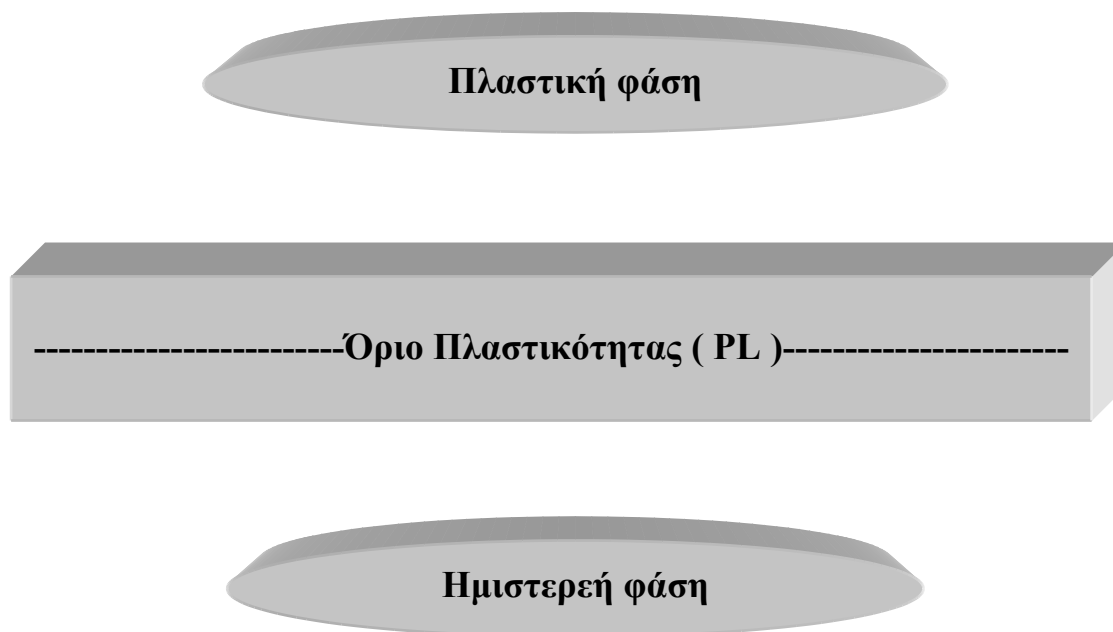
3.1.1 Γενικά

Οι φυσικές ιδιότητες και η συμπεριφορά των λεπτόκοκκων και οργανικών εδαφών επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταβολή της περιεχόμενης σε αυτά υγρασίας. Ο όρος συνεκτικότητα χρησιμοποιείται συχνά για την περιγραφή της κατάστασης κάποιου εδάφους, ως προς την περιεχόμενη υγρασία και αναφέρεται στην αντίδραση προς την πλαστική ροή του εδάφους. Χαρακτηριστική ιδιότητα στα συνεκτικά εδάφη είναι η ικανότητά τους να δέχονται μεγάλες παραμορφώσεις χωρίς θραύση. Η ιδιότητα αυτή λέγεται πλαστικότητα και οφείλεται αποκλειστικά στα αργιλικά ορυκτά με τάξη μεγέθους κάτω από τα κολλοειδή. Αργιλικά ορυκτά με μέγεθος κόκκου μεγαλύτερο από το μέγεθος κολλοειδούς κόκκου δεν εμφανίζουν πλαστικότητα όπως για παράδειγμα, πολύ λεπτή σκόνη χαλαζία Έχει διαπιστωθεί ότι οι μηχανικές ιδιότητες στα εδάφη μεταβάλλονται με τη συνεκτικότητα τους όπως η διατμητική αντοχή και η φέρουσα ικανότητά τους. Με την ίδια περιεκτικότητα σε νερό, μια άργιλος είναι δυνατόν να είναι σχετικά μαλακή, ενώ μία άλλη άργιλος είναι δυνατόν να είναι σκληρή. Επομένως, μόνο του, το περιεχόμενο σε νερό δεν είναι επαρκής δείκτης της συνεκτικότητας. Ο Atterberg εισήγαγε σύστημα για την τυποποίηση της κατάταξης στα πλαστικά εδάφη σε σχέση με τη συνεκτικότητα. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό έχουν καθοριστεί αυθαίρετα για τα λεπτόκοκκα εδάφη τέσσερις καταστάσεις συνεκτικότητας οι οποίες είναι οι εξής:

- Ρευστή
- Πλαστική
- Ημιστερεά & Στερεά

3.1.2 Όριο Πλαστικότητας

Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική κατάσταση στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm χωρίς αυτός να θραύεται.



Σχήμα 3.1: Σχέση φυσικής κατάστασης και Ορίου Πλαστικότητας (PL)

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20 gr από υλικό διερχομένου από το κόσκινο Νο 40. Το δείγμα αναμιγνύεται καλά με απιονισμένο νερό μέχρι που η μάζα να καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται σε βώλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος αυτού βάρους περίπου 8 gr. Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της γυάλινης πλάκας με την ακριβώς απαιτούμενη πίεση ώστε να διαμορφωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφου διαμέτρου.

3.1.3 Δείκτης Πλαστικότητας

Ορίζεται ως η περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας ($PI = LL - PL$), όπου το υλικό είναι εύπλαστο. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο ο δείκτης πλαστικότητας είναι μεγαλύτερος) και από την πετρογραφική τους σύσταση. Με ελαττούμενη σε νερό περιεκτικότητα τα εδάφη αυτά μεταβαίνουν από την υδαρή διά μέσου της πλαστικής στην στερεή κατάσταση. Εξαίρεση αποτελούν οι εξής περιπτώσεις:

Όταν το LL ή το PL δεν μπορούν να προσδιοριστούν, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό)

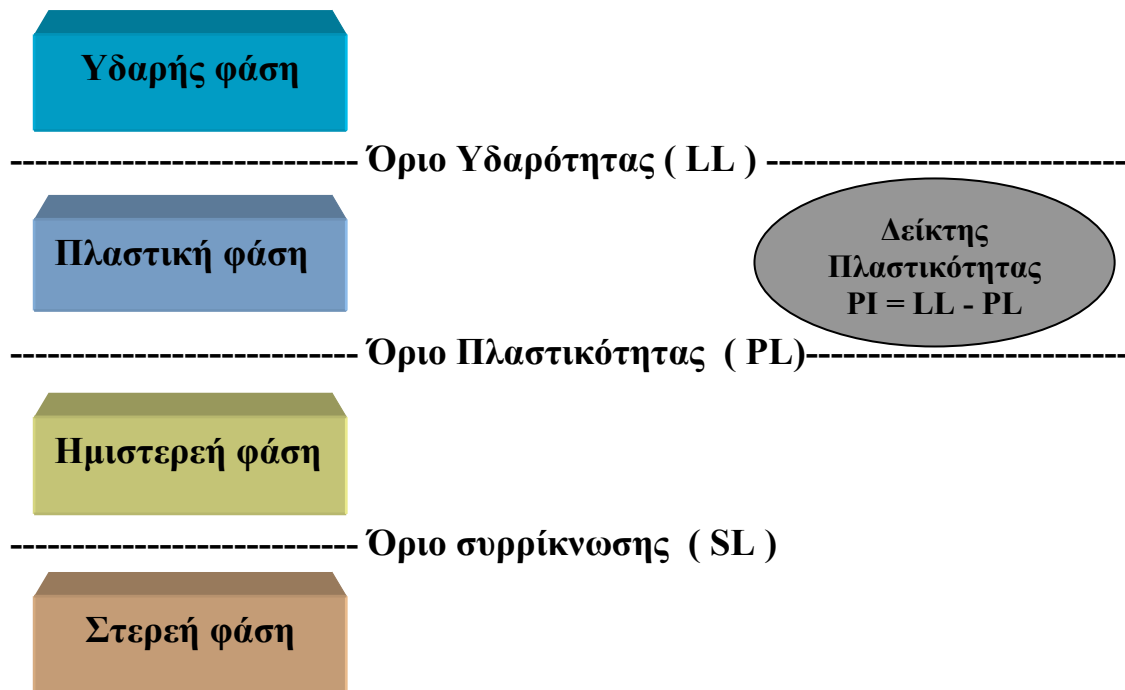
Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το όριο πλαστικότητας δε μπορεί να προσδιοριστεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό)

Όταν το όριο πλαστικότητας είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο υδαρότητας, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP. [Χρηστάρας, 2002]

Ανάλογα με τον δείκτη πλαστικότητας το έδαφος χαρακτηρίζεται όπως υποδεικνύει ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 3.1: Βαθμός πλαστικότητας των εδαφών [Ε. Στειακάκης, 2005]

Δείκτης πλαστικότητας (PI)	Χαρακτηρισμός
0 - 5	Μη Πλαστικό
5 - 15	Λίγο Πλαστικό
15 – 40	Πλαστικό
> 40	Πολύ πλαστικό



Σχήμα 3.2: Σχέσεις φυσικής κατάστασης και όγκου με τα όρια Atterberg

3.2 Διόγκωση μπεντονιτών

Ο όρος ενδοστρωματική διόγκωση αναφέρεται στην ενυδάτωση των ενδοστρωματικών επιφανειών των σμεκτιτικών αργίλων η οποία πραγματοποιείται κατά στάδια.

Η ενδοστρωματική διόγκωση οδηγεί στο διπλασιασμό του όγκου της ξηρής αργίλου όταν προσροφώνται τέσσερα στρώματα νερού. Όταν η διόγκωση είναι μεγαλύτερη οφείλεται σε άλλη λειτουργία η οποία ονομάζεται ωσμοτική διόγκωση. [Odom, 1984]

Ο μηχανισμός της ενδοστρωματικής διόγκωσης είναι αρκετά πολύπλοκος διότι εκτός από τις ελκτικές δυνάμεις Van der Waals και την ενέργεια ενυδάτωσης, είναι ορθό να λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση της ισορροπίας των δυνάμεων που καθορίζουν το διαχωρισμό των στρωμάτων, η ηλεκτροστατική ενέργεια μεταξύ των φορτισμένων στρωμάτων και των ενδοστρωματικών κατιόντων τους. Σε κάποιες αργίλους και για συγκεκριμένα είδη ανταλλάξιμων κατιόντων η ενυδάτωση των ιόντων επηρεάζει την

ενδοστρωματική διόγκωση αν και άμεσες αποδείξεις των μηχανισμών που λαμβάνουν χώρα δεν υπάρχουν.

Η σημασία της παρουσίας των ενδοστρωματικών κατιόντων στη διαδικασία διόγκωσης μπορεί να αποδειχθεί από τη μείωση του φορτίου επιφανείας. Με θέρμανση των διοκταεδρικών μοντμοριλλονιτών, που έχουν κορεστεί με Li, τα ιόντα του λιθίου διαχέονται διαμέσου των στρωμάτων και καταλαμβάνουν ελεύθερες οκταεδρικές θέσεις με αποτέλεσμα τη μείωση του φορτίου κρυσταλλικής δομής. Σε αυτήν την περίπτωση τα ορυκτά χάνουν την ικανότητα διόγκωσής τους και τα στρώματα καταρρέουν. [Νικητάκη, 2007]

Σε αποξηραμένες σμεκτιτικές αργίλους με ανταλλάξιμο ασβέστιο και μαγνήσιο, πραγματοποιείται αρχικά μια σύντομη προσρόφηση νερού μέχρι ή λίγο περισσότερο από το όριο υδαρότητας. Όταν οι άργιλοι έχουν ως προσροφημένα ιόντα νάτριο και λίθιο το νερό μπορεί συνεχίζει να προσροφάται αρκετά περισσότερο από το όριο υδαρότητας. Στους φυσικούς σμεκτίτες η υψηλή ικανότητα προσρόφησης νερού δε συνδέεται άμεσα με την υψηλή περιεκτικότητα σε νάτριο. Μερικές φορές η υψηλή προσρόφηση εμφανίζεται όταν περίπου το ένα τέταρτο η το ένα πέμπτο των συνολικών ανταλλάξιμων ιόντων είναι ασβέστιο και μαγνήσιο. Αυτή η σχέση δείχνει ότι το ασβέστιο και το μαγνήσιο μπορούν να ενισχύσουν τη δομή των στρωμάτων νερού, που βρίσκονται κοντά στις πυριτικές στοιβάδες. Οι πυριτικές αυτές στοιβάδες επιτρέπουν στη συνέχεια σε μεγάλο αριθμό άκαμπτων στρωμάτων νερού να ενισχύονται από ιόντα νατρίου έτσι ώστε να αναπτυχθούν.

Οι φυσικοί σμεκτιτικοί άργιλοι, ανάλογα με το είδος και την αναλογία των ανταλλάξιμων κατιόντων Ca και Mg, διακρίνονται σε αργίλους με υψηλή και χαμηλή ικανότητα διόγκωσης. Οι περισσότεροι σμεκτιτικοί άργιλοι έχουν ως κύρια ανταλλάξιμα κατιόντα ασβέστιο και μαγνήσιο και κατατάσσονται στις αργίλους με χαμηλή ικανότητα διόγκωσης. Σε άλλες περιπτώσεις μερικοί σμεκτίτες με ανταλλάξιμο νάτριο και λίθιο είναι άργιλοι υψηλής ικανότητας διόγκωσης. Ο προσδιορισμός της ενυδάτωσης είναι απαραίτητος για την αξιολόγηση των μπεντονιτών, δεδομένου ότι πολλές βιομηχανικές εφαρμογές τους εξαρτώνται από την ιδιότητα αυτή.

Η μετατροπή των ασβεστο-μαγνησιούχων σμεκτιτών σε νατριούχους, είναι κοινή πρακτική στη βιομηχανία, ειδικά στην Ευρώπη, όπου τα κοιτάσματα φυσικών νατριούχων σμεκτιτών είναι σπάνια. Η ανταλλαγή ιόντων πραγματοποιείται συνήθως κατά τη μίξη ένυδρου ανθρακικού άλατος με ακατέργαστη υγρή άργιλο, που επιτυγχάνεται με διάφορες μηχανικές μεθόδους. Μόλις προστεθεί το ένυδρο ανθρακικό

νάτριο, η άργιλος συσσωρεύεται για αρκετές ημέρες έτσι ώστε να γίνει η μέγιστη δυνατή ανταλλαγή. Στην Ευρώπη, οι σμεκτιτικές άργιλοι συχνά ενεργοποιούνται μέσω διαφόρων μορφών εξώθησης. Εκτός από τη μίξη με ένυδρο ανθρακικό νάτριο, η εξώθηση επηρεάζει σημαντικά τη δύναμη συνάφειας της αργίλου, που καθιστά τις περισσότερες ενδοστρωματικές επιφάνειες προσιτές σε ανταλλαγή. Βασικοί στόχοι της ενεργοποίησης είναι η αύξηση της ενυδάτωσης και της διόγκωσης, της αντοχής σε εφελκυσμό εν υγρώ και της θερμικής αντοχής. Καλύτερη ενυδάτωση επιτυγχάνεται συνήθως όταν το νάτριο αποτελεί περίπου το 75 % των φυσικών ανταλλάξιμων ιόντων. **[Odom, 1984]**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

4.1 Γενικά

Οι πειραματικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τη μέθοδο μέτρησης ελεύθερης διόγκωσης και η δεύτερη κατηγορία αφορά τη μέθοδο προσδιορισμού ορίων με τις μεθόδους Casagrande και Κώνου.

4.2 Αρχή μεθόδου μέτρησης ελεύθερης διόγκωσης

Η μέθοδος μέτρησης ελεύθερης διόγκωσης πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωχημείας του τμήματος Μηχ.Ο.Π. Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι ο προσδιορισμός του κατάλληλου ποσοστού Na_2CO_3 % το οποίο προκαλεί με την προσθήκη του τη μέγιστη διόγκωση σε κάθε τύπο μπεντονίτη. Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιήθηκαν:

- δεκαεννέα (19) διαφορετικοί τύποι δειγμάτων μπεντονίτη 200 gr τον καθένα
- σκεύη θέρμανσης (πορσελάνες και ταψιά)
- ογκομετρικοί κύλινδροι των 100 ml
- ύαλοι ωρολογίου
- σπάτουλες
- πλανητικός σφαιρόμυλος
- κόσκινο 63 μm

4.2.1 Προετοιμασία δειγμάτων

Στην αρχή τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πορσελάνες. Αμέσως μετά τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο για την απομάκρυνση της υγρασίας στους 105 ° C για 24 h.Επειδή τα υλικά ήταν αδρόκοκκα, για τη χρησιμοποίησή τους στις μετρήσεις ελεύθερης διόγκωσης ήταν απαραίτητο να λειοτριβηθούν, έτσι ώστε η κοκκομετρία τους να είναι μικρότερη ή ίση από 63 μm. Η λειοτρίβηση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια πλανητικού σφαιρόμυλου. Αφού λειοτριβήθηκαν τα υλικά, διήλθαν από κόσκινο με άνοιγμα 63 μm έτσι ώστε να προκύψει υλικό με κοκκομετρία της τάξης των 63 μm.

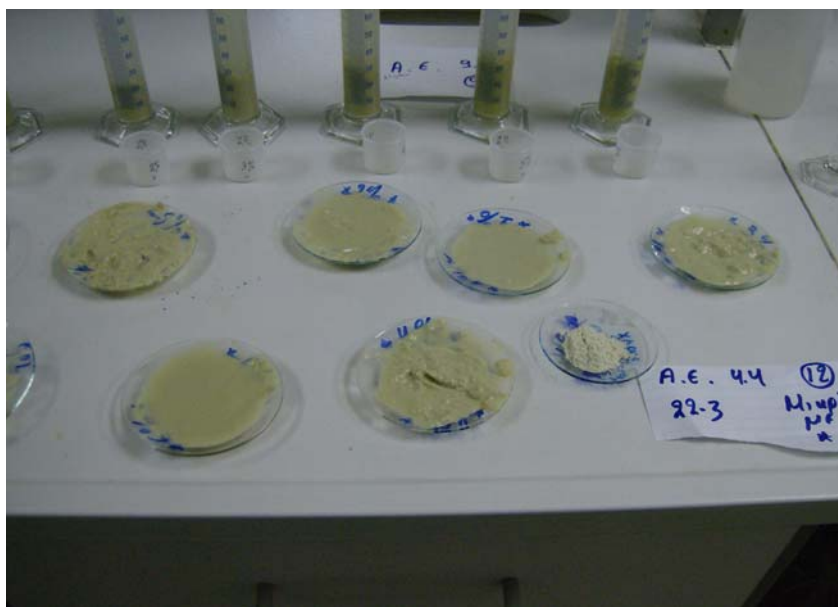
4.2.2 Επεξεργασία δειγμάτων

Από κάθε δείγμα μπεντονίτη ελήφθη ποσότητα δείγματος της τάξης των 20 gr περίπου. Αμέσως μετά η συγκεκριμένη ποσότητα, χωρίστηκε σε 7 μέρη (2,5 gr το κάθε μέρος) και τοποθετήθηκαν σε 7 υάλους ωρολογίου αντίστοιχα. Σε κάθε υάλο ωρολογίου, προστέθηκε 1-6 % κατά βάρος Na_2CO_3 όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1: Ποσότητες Na_2CO_3 που προστέθηκαν σε κάθε υάλο

No υάλου	Ποσοστό % Na_2CO_3 κατά βάρος των 2 gr μπεντονίτη	Ποσότητα Na_2CO_3 σε gr που προστέθηκε στα 2,5 gr μπεντονίτη
1	0	0,0125
2	1	0,0250
3	2	0,0500
4	3	0,0750
5	4	0,1000
6	5	0,1250
7	6	0,1500

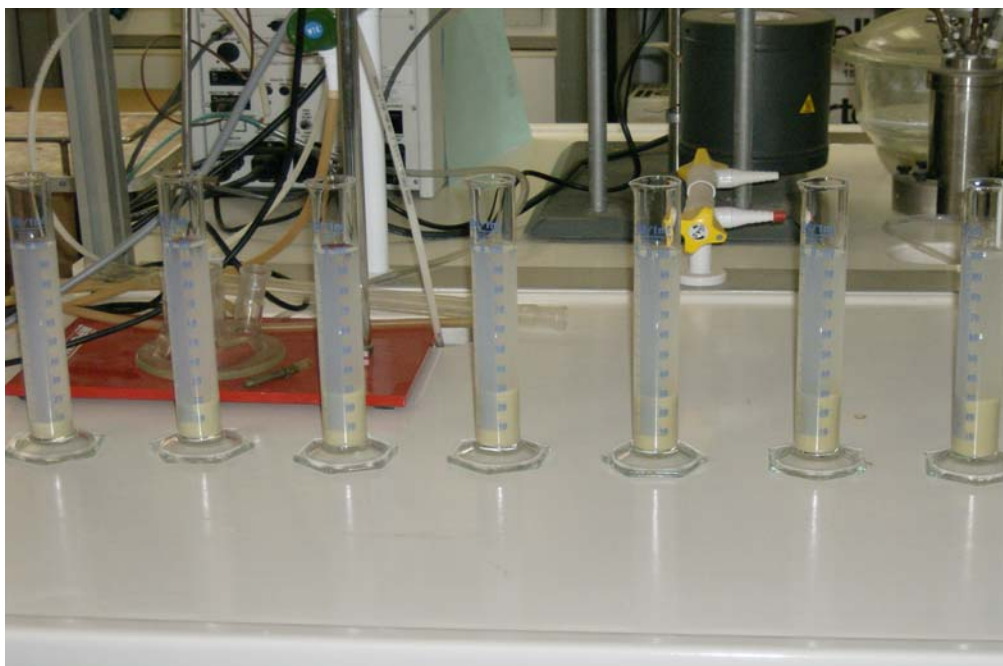
Ύστερα, τα 2,5 gr μπεντονίτη με την ποσότητα Na_2CO_3 που είχε προστεθεί αναδεύτηκαν, με τη βοήθεια σπάτουλας, σε κάθε ύαλο. Αμέσως μετά προστέθηκαν 5 ml (περίπου) απιονισμένου νερού και έγινε μια δεύτερη ανάδευση ώστε το μείγμα να γίνει όσο το δυνατό περισσότερο ομοιογενές. Ύστερα τα δείγματα παρέμειναν για 24 h έτσι ώστε να επιτευχθεί ενεργοποίηση των μπεντονιτών.



Εικ. 4.1 Ομογενοποίηση δειγμάτων με το περιβάλλον σε ύαλους ωρολογίου

Αφού πέρασαν 24 h τοποθετήθηκαν στο φούρνο θέρμανσης για 3 ώρες για απομάκρυνση της υγρασίας και λειοτριβήθηκαν σε γουδί αχάτη μέχρι όπου να φτάσουν σε μια ικανοποιητική κοκκομετρία. Αμέσως μετά ελήφθησαν 2g ενεργοποιημένου μπεντονίτη και ακολούθησε η εξής διαδικασία:

Πάνω στον πάγκο εργασίας ήταν τοποθετημένοι 7 ογκομετρικοί κύλινδροι των 100 ml οι οποίοι περιείχαν απιονισμένο νερό 100 ml. Το δείγμα της κάθε ύαλου χωρίστηκε σε δέκα μέρη περίπου και με προσεκτικές και αργές κινήσεις προστέθηκε σε κάθε έναν ογκομετρικό αντίστοιχα όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2.



Εικ. 4.2 Ογκομετρικοί κύλινδροι (100 ml) μετά την προσθήκη Na_2CO_3

Πίνακας 4.2: Ποσοστά Na_2CO_3 που προστέθηκαν σε κάθε υάλο

No ογκομετρικού κυλίνδρου	No υάλου	Ποσοστό % Na_2CO_3 κατά βάρος των 2 gr μπεντονίτη
1	1	0
2	2	1
3	3	2
4	4	3
5	5	4
6	6	5
7	7	6

Τα δείγματα παρέμειναν στους ογκομετρικούς κυλίνδρους για 24 h .Μετά την πάροδο 24 h μετρήθηκε η διόγκωση των δειγμάτων. Σε κάθε ογκομετρικό κύλινδρο παρατηρήθηκε διαφορετικού βαθμού διόγκωση εξαιτίας της προσθήκης διαφορετικού

ποσοστού Na_2CO_3 . Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεσμάτων διόγκωσης που υπέστη ένας τύπος μπεντονίτη. Αναλυτικότερα όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα, για το μπεντονίτη τύπου Α.Ε. 5.3, εμφανίζεται μέγιστη διόγκωση (**37 ml**) μετά από προσθήκη **5,5 %** Na_2CO_3 κατά βάρος. Τα αποτελέσματα όλων των τύπων μπεντονίτη παρατίθενται σε επόμενη παράγραφο του κεφαλαίου αυτού.

Πίνακας 4.3: Δελτίο προσδιορισμού δείκτη διόγκωσης του μπεντονίτη Α.Ε. 5.3

Κωδικός δείγματος	A.E. 5.3
Μέγιστη διογκωσιμότητα (37 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 7 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5,5 % κατά βάρος Na_2CO_3	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	Δείγμα: 2,5 g μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
-----------------------------------	---	---

1 ^{ος}	0	10
2 ^{ος}	1	14
3 ^{ος}	2	18
4 ^{ος}	3	25
5 ^{ος}	4	30
6 ^{ος}	5	27
7 ^{ος}	5,5	37
8 ^{ος}	6	34

4.2.3 Δοκιμή διόγκωσης B

Η ελεύθερη διόγκωση των μπεντονιτών προσδιορίστηκε και με δεύτερη μέθοδο. Η μέθοδος περιελάμβανε προσδιορισμό του δείκτη διόγκωσης σε μπεντονίτες που είχαν ενεργοποιηθεί κατά τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας. Η διαδικασία της δεύτερης δοκιμής διόγκωσης είχε ως εξής:

Λήφθηκαν 2,5 gr υλικού από κάθε ένα δείγμα μπεντονίτη τα οποία ήταν ενεργοποιημένα με το κατάλληλο ποσοστό Na_2CO_3 κατά βάρος, όπως προσδιορίστηκε από την πρώτη δοκιμή διόγκωσης (βλ. παράγραφο 4.2). Αμέσως μετά τοποθετήθηκαν σε ύαλους ωρολογίου και στη συνέχεια στο ξηραντήριο για 3 ώρες στους 105°C . Ακολούθησε λειοτρίβιση σε γουδί αχάτη, (τα οποία το καθένα είναι 2,5 gr) μέχρι να φτάσει σε μια ικανοποιητική κοκκομετρία, και ελήφθησαν 2g για τις δοκιμές διόγκωσης.

Πάνω στον πάγκο εργασίας ήταν τοποθετημένοι 19 ογκομετρικοί κύλινδροι των 100 ml οι οποίοι περιείχαν απιοντισμένο νερό 100 ml. Το δείγμα της κάθε ύαλου χωρίστηκε σε δέκα μέρη περίπου και με προσεκτικές και αργές κινήσεις με τη βοήθεια σπάτουλας προστέθηκε σε κάθε έναν ογκομετρικό κύλινδρο αντίστοιχα.

4.3 Αρχή μεθόδου μέτρησης ορίων υδαρότητας

Όριο υδαρότητας (LL) ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά τη χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση. Ο προσδιορισμός των ορίων υδαρότητας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας. Σκοπός της μεθόδου αυτής είναι ο προσδιορισμός των ορίων υδαρότητας (LL) με τις πειραματικές τεχνικές **Casagrande** και **Κώνου**. Όμως για να ήταν δυνατή η χρησιμοποίηση των δειγμάτων μπεντονίτη στις πειραματικές τεχνικές Casagrande και Κώνου έπρεπε να υποστούν κάποια προετοιμασία που περιγράφεται αμέσως μετά.



Εικ. 4.3 Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση των ορίων υδαρότητας. Στα αριστερά το πρώτο σκεύος χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική τεχνική Casagrande ενώ τα υπόλοιπα δύο στην πειραματική τεχνική του Κώνου

4.3.1 Προετοιμασία δειγμάτων

Στην αρχή πραγματοποιήθηκε ενεργοποίηση ολόκληρης της ποσότητας και των 19 δειγμάτων μπεντονίτη προσθέτοντας κατάλληλες ποσότητες Na_2CO_3 όπως αυτές προέκυψαν από τις δοκιμές διόγκωσης.

Π.χ. το δείγμα με κωδικό Α.Ε. 5.3 το οποίο ήταν π.χ. 150 gr και το ποσοστό επί % Na_2CO_3 κατά βάρος που προκάλεσε τη μέγιστη διογκωσιμότητα ήταν 5,5 % τότε η ποσότητα Na_2CO_3 που προστέθηκε στο δείγμα ήταν 8,25 gr. Ύστερα από την προσθήκη ποσότητας Na_2CO_3 προστέθηκαν 450 ml νερού ώστε να γίνει ανάδευση ποσότητας μπεντονίτη , ποσότητας Na_2CO_3 και νερού. Ύστερα από την ανάδευση αφέθηκαν στον για 24 ώρες ώστε να ομογενοποιηθούν. Μετά από 24 h τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κάψες πορσελάνης και μεταφέρθηκαν σε φούρνο θέρμανσης μέχρι την πλήρη απομάκρυνση της υγρασίας έτσι ώστε να είναι δυνατή η λειοτριβήσή τους στον πλανητικό σφαιρόμυλο. Αφού λειοτριβήθηκαν, το υλικό διήλθε από κόσκινο με άνοιγμα 75 μm , και ολοκληρώθηκε η προετοιμασία τους για δοκιμές Casagrande και Κώνου.

Στην αρχή τοποθετήθηκαν τα δείγματα μπεντονίτη σε λεκάνες. Σε κάθε λεκάνη προστέθηκαν 500 ml νερού περίπου και έγινε ανάδευση με τη βοήθεια μιας σπάτουλας. Αμέσως μετά την ανάδευση οι λεκάνες καλύφθηκαν με μεμβράνη και τοποθετήθηκαν στον πάγκο εργασίας του εργαστηρίου για 24 h ώστε τα δείγματα να ομογενοποιηθούν.

4.3.2 Επεξεργασία δειγμάτων

Αφού παρέμεινε το υλικό στη λεκάνη για 24 h και ομογενοποιήθηκε έγινε λήψη ποσότητας υλικού η οποία χρησιμοποιήθηκε για την πρώτη μέτρηση της τεχνικής Casagrande. Ακολούθησε και δεύτερη λήψη ποσότητας υλικού για την πρώτη μέτρηση της τεχνικής του Κώνου.

Μετά το πέρας των μετρήσεων με τις πειραματικές τεχνικές Casagrande και Κώνου δείγμα περίπου 10 gr από την ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε για την πρώτη πειραματική τεχνική τοποθετήθηκε σε μία κάψα η οποία με τη σειρά της ζυγίστηκε και τοποθετήθηκε σε ένα φούρνο θέρμανσης για 24 h έως ότου απομακρυνθεί η υγρασία

και την καταγράψουμε (με διαφορά βάρους). Επίσης ελήφθη δείγμα περίπου 10 gr από την ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε για τη δεύτερη πειραματική τεχνική και τοποθετήθηκε σε μία κάψα η οποία με τη σειρά της ζυγίστηκε και τοποθετήθηκε σε ένα φούρνο θέρμανσης για 24 h έως ότου απομακρυνθεί η υγρασία και την καταγράψουμε (**1^η μέτρηση**).

Αφού πέρασαν 24 h η υγρασία μειώθηκε στη λεκάνη, ακολούθησε ξανά η ίδια διαδικασία και έγινε επανάληψη των πειραμάτων και ελήφθη ξανά δείγμα και τοποθετήθηκε στο φούρνο θέρμανσης για να καταγραφεί μετά από 24 h η υγρασία των δειγμάτων. (**2^η μέτρηση**) .

Με την ίδια λογική και διαδικασία σε κάθε δείγμα καταγράφηκαν 4 (τέσσερις) μετρήσεις υγρασίας % για κάθε 1 (μία) πειραματική τεχνική.

Στη συνέχεια μετά την καταγραφή της υγρασίας % και των 19 δειγμάτων και μετά την γραφική επεξεργασία τους προέκυψε για κάθε μία πειραματική τεχνική ένα όριο υδαρότητας LL σε κάθε δείγμα. Δηλαδή για κάθε δείγμα προέκυψαν 2 όρια υδαρότητας λόγω 2 διαφορετικών πειραματικών τεχνικών (τα οποία αριθμητικά ήταν παρόμοια) .

Τα αποτελέσματα των ορίων υδαρότητας παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο και η λεπτομερής καταγραφή των υγρασιών % και του βάρους των δειγμάτων δίνονται αναλυτικά στα παραρτήματα.

4.3.3 Μέθοδος Casagrande

Η μέθοδος Casagrande χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας (LL) των εδαφών. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική τεχνική του Κώνου είναι τα εξής:

- Συσκευή Casagrande
- Όργανο χάραξης
- Σπάτουλα
- Κάψες γυάλινες
- Λεκάνες
- Ηλεκτρικός ζυγός ακριβείας
- Φούρνος
- Κόσκινο 72 μm
- Απιονισμένο νερό
- Μεμβράνη

Από την πλαστική μάζα δείγματος λαμβάνονται 50-55 gr περίπου και τοποθετούνται σε στρώση μέγιστου βάθους 1cm (στο σημείο επαφής κυπέλλου βάσης) , μέσα στο κύπελλο της συσκευής με προσοχή για αποφυγή εγκλεισμού φυσαλίδων αέρος μέσα στη μάζα του. Με το όργανο χάραξης διαχωρίζεται το δείγμα σε δύο τμήματα.

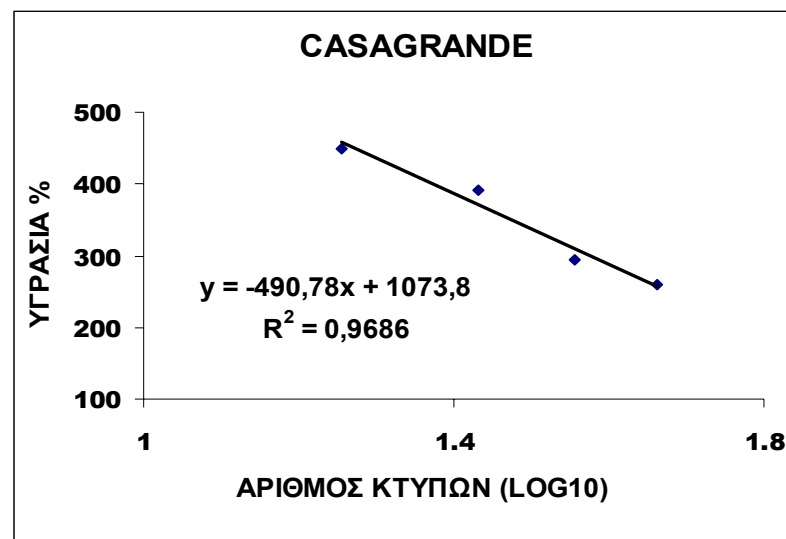
Αμέσως μετά περιστρέφεται ο στρόφαλος της συσκευής με συχνότητα 2 κτύπους ανά δευτερόλεπτο μέχρι που τα χείλη της χαραγής στη βάση να έρθουν σε επαφή κατά 12,5mm περίπου σε μήκος. Ταυτόχρονα καταγράφεται ο αριθμός των κτύπων μέχρι και τη συνένωση.

Ύστερα από εκείνο το σημείο της συνένωσης γίνεται λήψη δείγματος όπου τοποθετείται σε κάψα και με τη σειρά της στο ξηραντήριο όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στη συνέχεια θα γίνουν 4 δοκιμές και μετρήσεις με την πειραματική τεχνική Casagrande για κάθε ένα από τα 19 δείγματα. Για να είναι αποδεκτές οι δοκιμές της συγκεκριμένης πειραματικής τεχνικής θα πρέπει καταρχήν ο αριθμός των κτύπων να μην ξεπερνά τους 50. Το ιδανικότερο είναι οι κτύποι των 2 πρώτων δοκιμών να είναι κάτω από 25 και οι κτύποι των 2 επόμενων δοκιμών πάνω από 25.

Στη συνέχεια αφού υπάρξει καταγραφή 4 διαφορετικών υγρασιών % (με τον τρόπο που αναφέρθηκε προηγουμένως) και η καταγραφή 4 διαφορετικών αριθμών κτύπων σε αντιστοιχία με τις υγρασίες % κατασκευάζεται ένα διάγραμμα όπου στον άξονα x υπάρχουν οι δεκαδικοί λογάριθμοι των 4 τιμών κτύπων και στον άξονα y οι 4 υγρασίες %. Η υγρασία % η οποία αντιστοιχεί στο log25 των κτύπων αποτελεί το όριο υδαρότητας. [Παπαχαρίσης / Μάνου - Ανδρεάκη / Γραμματικόπουλος, 2003]

Πίνακας 4.4: Αντιστοιχία αριθμού κτύπων- Υγρασίας % ενός τυχαίου δείγματος

ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ (LOG10)
450	18	1.25
392	27	1.43
295	36	1.55
260	46	1.66



Σχήμα 4.1: Γράφημα αριθμού κτύπων (log10) – Υγρασίας % ενός τυχαίου δείγματος

4.3.4 Μέθοδος Κώνου

Η μέθοδος του Κώνου βασίζεται στα Βρετανικά πρότυπα για τον προσδιορισμό του ορίου υδαρότητας (LL) των εδαφών. Συνήθως χρησιμοποιείται για λεπτόκοκκα εδάφη. Βασίζεται στη μέτρηση της διείσδυσης στο έδαφος ενός τυποποιημένου κώνου. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική τεχνική του Κώνου είναι τα εξής: [Head, 1985]

- Συσκευή Κώνου (ο κώνος διείσδυσης για τη μέτρηση πρέπει να είναι ανοξείδωτος, να έχει ομαλή και γυαλισμένη επιφάνεια , το μήκος του να είναι περίπου 35mm, η γωνία του να είναι 30° και η μάζα του μαζί με τη μάζα του άξονα να είναι 80gr +- 0,1 gr).
- Μεταλλικό κύπελλο κράματος ορείχαλκου ή αλουμινίου διαμέτρου 55mm και βάθους 40mm
- Κάψες γυάλινες
- Λεκάνες
- Ηλεκτρικός ζυγός ακριβείας
- Φούρνος
- Κόσκινο 72 μm
- Απιοντισμένο νερό
- Μεμβράνη & σπάτουλα

Από τη λεκάνη με την πλαστική μάζα δείγματος γίνεται λήψη 90-95 gr περίπου και τοποθετείται στο μεταλλικό κύπελλο μέχρι να καλυφθεί τελείως με προσοχή για αποφυγή εγκλεισμού φυσαλίδων αέρος μέσα στη μάζα του. Έστερα το κύπελλο τοποθετείται στη βάση της συσκευής του κώνου. Στη συνέχεια μετακινείται ο κώνος έως ότου να εφάπτεται στο πάνω μέρος του υποδοχέα έτσι ώστε να υπάρχει μέγιστη απόσταση 1mm μεταξύ του κώνου και του υποδοχέα το οποίο είναι γεμάτο με ενεργοποιημένο δείγμα μπεντονίτη. Έστερα μηδενίζεται το πενετόμετρο και με το πάτημα ενός κουμπιού ενεργοποιείται η πτώση του κώνου και επακόλουθα η διείσδυσή του στο υλικό ενώ ταυτόχρονα καταγράφονται στο πενετόμετρο τα mm που διείσδυσε

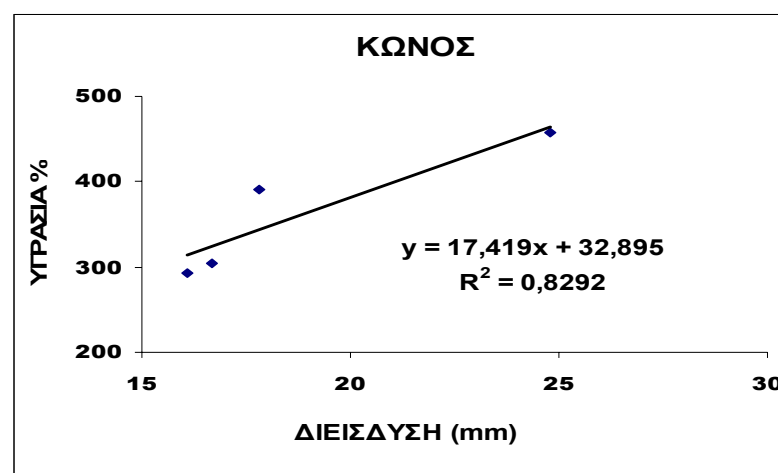
ο κώνος στο κύπελλο. Στη συνέχεια γίνονται 4 δοκιμές και μετρήσεις με την πειραματική τεχνική του Κώνου για κάθε ένα από τα 19 δείγματα.

Για να είναι αποδεκτές οι δοκιμές της συγκεκριμένης πειραματικής τεχνικής θα πρέπει καταρχήν το βάθος διείσδυσης να μη φτάνει τα 40mm. Το ιδανικότερο είναι το βάθος διείσδυσης των 2 πρώτων δοκιμών να είναι λιγότερο από 20mm και το βάθος διείσδυσης των 2 επόμενων δοκιμών να είναι περισσότερο από 20mm. Στη συνέχεια αφού υπάρξει καταγραφή 4 διαφορετικών υγρασιών % (με τον τρόπο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποπαράγραφο), και καταγραφή 4 διαφορετικών βαθών διεισδύσεων σε αντιστοιχία με τις υγρασίες % κατασκευάζεται ένα διάγραμμα όπου στον άξονα x υπάρχουν οι 4 τιμές βάθους διείσδυσης σε mm και στον άξονα y οι αντίστοιχες υγρασίες %. Η υγρασία % η οποία αντιστοιχεί στο βάθος διείσδυσης 20mm αποτελεί το όριο υδαρότητας.

Π.χ. τα 20mm αντιστοιχούν σε υγρασία 382 % άρα το όριο υδαρότητας (LL) του συγκεκριμένου δείγματος με την πειραματική τεχνική του Κώνου είναι 382 %.

Πίνακας 4.5:Αντιστοιχία βάθους διείσδυσης - Υγρασίας % ενός δείγματος

ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (mm)
457	24,8
390	17,8
305	16,7
293	16,1



Σχήμα 4.2: Γράφημα βάθους διείσδυσης κώνου (mm) – Υγρασίας % ενός τυχαίου δείγματος

4.4 Περιθλασίμετρο ακτίνων – X (XRD)

Η ορυκτολογική ανάλυση των 19 δειγμάτων μπεντονίτη με σκοπό τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των μπεντονιτών σε διάφορα ορυκτά και κυρίως του μοντμοριλλονίτη πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Σαν ακτίνες – X εννοούνται συνήθως οι ακτίνες εκείνες που καλύπτουν το μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που βρίσκεται μεταξύ 0,1 και 100 οΑ. Το περιθλασίμετρο ακτίνων – X που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου D - 500 Siemens.

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου είναι δυνατή η μέτρηση των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων – X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Οι βασικές μονάδες οι οποίες συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο είναι οι εξής:

- Μονάδα παραγωγή υψηλής τάσης
- Η λυχνία των ακτίνων X
- Το γωνιόμετρο
- Ο απαριθμητής των ακτίνων X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων
- και τέλος η μονάδα του μικροπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξέταση του δείγματος

Το προς ανάλυση δείγμα ευρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός μεταλλικού ή πλαστικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών cm² έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζας δείγματος της τάξης του 1g, την οποία κατανέμουμε έτσι στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. Το επίπεδο αυτό παρασκεύασμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο του κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων X. Ο απαριθμητής περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα 2θ/min ενώ το ενώ το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min. Αυτό συμβαίνει διότι με τη σύγχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και την περιστροφή του δείγματος σκόπιμο είναι

ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος, όπως και με το σημείο εξόδου των ακτίνων X της λυχνίας.

Αφού έγινε ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων μπεντονίτη, προέκυψαν διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X. τα διαγράμματα αυτά αξιολογήθηκαν με ειδικό λογισμικό της εταιρείας SOCABIM, το EVA. Το λογισμικό προσδιορίζει αυτόματα τις γωνίες περίθλασης με τις αντίστοιχες εντάσεις. **[Αποστολάκη 2005]**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ – ΟΡΙΩΝ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ

5.1 Γενικά

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν 2 πειραματικές τεχνικές για την ίδια μέτρηση.

Η πρώτη κατηγορία πειραματικών τεχνικών αφορά τη μέτρηση ελεύθερης διόγκωσης και η δεύτερη κατηγορία αφορά την αρχή μεθόδου μέτρησης ορίων υδαρότητας όπου χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι Casagrande και Κώνου.

Η πρώτη κατηγορία πειραματικών μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο *εφαρμοσμένης Γεωχημείας* και η δεύτερη κατηγορία πειραματικών τεχνικών στο εργαστήριο *εφαρμοσμένης Γεωλογίας*. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατίθενται στην αμέσως επόμενη παράγραφο.

5.2 Αποτελέσματα ελεύθερης διόγκωσης

Τα αποτελέσματα της μεθόδου μέτρησης ελεύθερης διόγκωσης παρουσιάζονται στους πίνακες 5.1 και 5.2 .

Στον **πίνακα 5.1** εκτός από τους κωδικούς των δειγμάτων και τα ποσοστά (%)

Na_2CO_3 κατά βάρος που προκάλεσαν τη διόγκωση κάθε δείγματος φαίνονται και οι όγκοι των διογκωμένων δειγμάτων (σε ml) μετά από 24 h. Στον **πίνακα 5.2** είναι καταγεγραμμένοι οι κωδικοί των δειγμάτων καθώς και το ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος που προκάλεσαν τη μέγιστη διόγκωση κάθε δείγματος και μόνο ο όγκος της μέγιστης διογκωσιμότητας (ml) κάθε δείγματος.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα διόγκωσης μετά από 24 h (swelling)

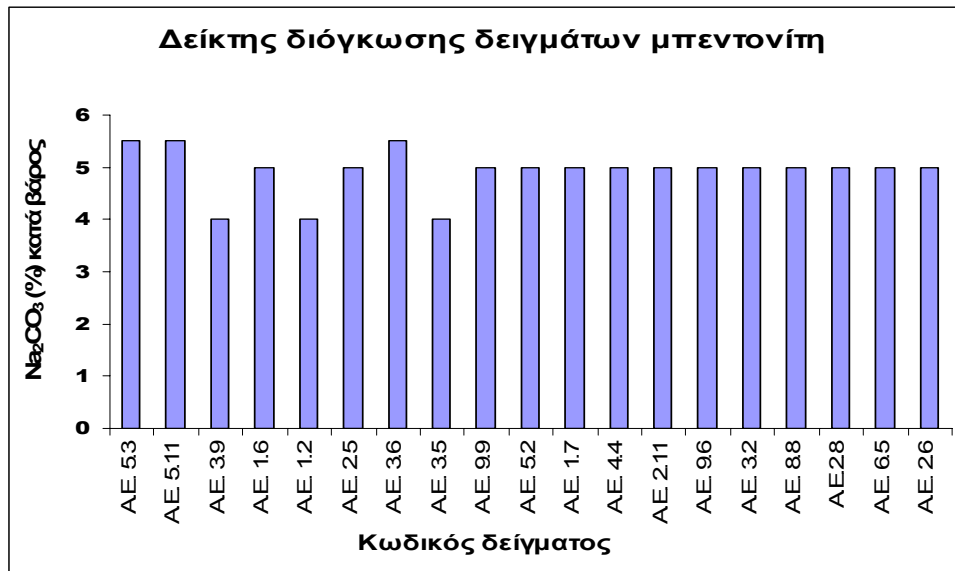
Κωδικός Δείγματος	Δείγμα: 2 gr μπεντονίτης + ποσοστό (%) Na₂CO₃ κατά βάρος							
	0	1	2	3	4	5	5,5	6
A.E. 5.3	10	14	18	25	30	27	37	34
A.E. 5.11	9	17,5	18,5	21	27	27,5	33	28
A.E. 3.9	7	14	23,5	28	29	28	-	26,5
A.E. 1.6	9	19	29	29	29,5	30	-	29,5
A.E. 1.2	7	11	23	22	24	21,5	-	20
A.E. 2.5	8	14	24	26	25	28	-	26
A.E. 3.6	9	19	27	28,5	28	32	33	32
A.E. 3.5	8	20	27	32,5	37	35,5	-	36,5
A.E. 9.9	9	16	25	29	33	37	31	39
A.E. 5.2	5	14	24	28	31	33	-	31
A.E. 1.7	8	14	27	30	31	32	-	31
A.E. 4.4	10	22	28	29	31	34	-	32
A.E. 2.11	8	16	24	30	30	32,5	-	31
A.E. 9.6	10	12	20	27	33	41	37	42
A.E. 3.2	6	17	25	26	28	29	-	25
A.E. 8.8	8	14	23	24	27	32	-	29
A.E. 2.8	9	13	25	27	26	31	-	28,5
A.E. 6.5	7	17	27	34	32	37	-	35,5
A.E. 2.6	10	13	18	17	26	29	-	27

ΟΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (ml) ΜΕΤΑ ΑΠΟ 24 h

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα δείκτη διόγκωσης μετά από 24 h

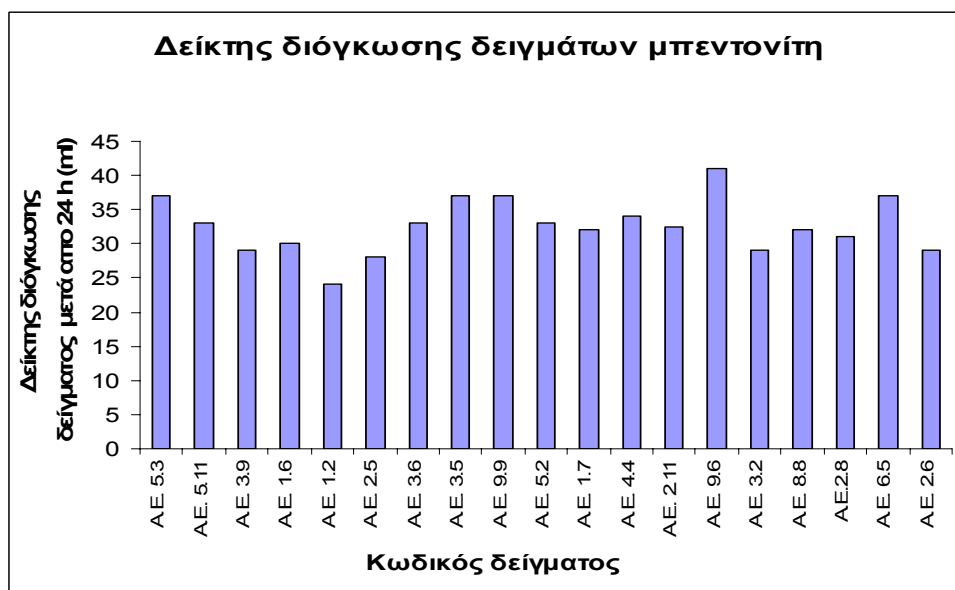
Κωδικός Δείγματος	<u>Δείγμα:</u> 2,5 gr μπεντονίτης + <u>ποσοστό (%) Na₂CO₃</u> μέγιστης διογκωσιμότητας κατά βάρος	Μέγιστη διογκωσιμότητα δείγματος (ml)
A.E. 5.3	5,5	37
A.E. 5.11	5,5	33
A.E. 3.9	4	29
A.E. 1.6	5	30
A.E. 1.2	4	24
A.E. 2.5	5	28
A.E. 3.6	5,5	33
A.E. 3.5	4	37
A.E. 9.9	5	37
A.E. 5.2	5	33
A.E. 1.7	5	32
A.E. 4.4	5	34
A.E. 2.11	5	32,5
A.E. 9.6	5	41
A.E. 3.2	5	29
A.E. 8.8	5	32
A.E. 2.8	5	31
A.E. 6.5	5	37
A.E. 2.6	5	29

Στο σχήμα 5.1 που ακολουθεί φαίνεται το ποσοστό % Na_2CO_3 κατά βάρος που προκάλεσε τη μέγιστη διόγκωση κάθε δείγματος.



Σχήμα 5.1

Στο σχήμα 5.2 που ακολουθεί φαίνεται ο δείκτης διόγκωσης κάθε δείγματος (ml).



Σχήμα 5.2

5.3 Αποτελέσματα ορίων υδαρότητας

Τα αποτελέσματα της μέτρησης ορίου υδαρότητας παρουσιάζονται στον πίνακα 5.3. Στον **πίνακα 5.3** υπάρχουν 3 στήλες. Στην πρώτη στήλη φαίνονται οι κωδικοί των δειγμάτων , στη δεύτερη στήλη τα όρια υδαρότητας (LL) που προέκυψαν από την πειραματική τεχνική Casagrande και στην τρίτη στήλη τα όρια υδαρότητας (LL) που προέκυψαν από την πειραματική τεχνική του Κώνου.

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ορίων υδαρότητας LL

Κωδικός Δείγματος	LL % με Casagrande	LL % με Κώνο
A.E. 5.3	397	381
A.E. 5.11	342	334
A.E. 3.9	463	452
A.E. 1.6	511	499
A.E. 1.2	333	330
A.E. 2.5	367	377
A.E. 3.6	428	411
A.E. 3.5	438	432
A.E. 9.9	398	392
A.E. 5.2	393	399
A.E. 1.7	377	372
A.E. 4.4	351	353
A.E. 2.11	359	358
A.E. 9.6	489	490
A.E. 3.2	299	295
A.E. 8.8	342	346
A.E. 2.8	354	351
A.E. 6.5	332	330
A.E. 2.6	497	489

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΜΕΚΤΙΤΗ % ΤΩΝ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ EVA

6.1 Γενικά

Οι μετρήσεις οι οποίες καταγράφηκαν από τις πειραματικές δοκιμές της παρούσας εργασίας δεν μπορούν να εξάγουν σωστά συμπεράσματα όσον αφορά την επίδραση του φορτίου στο δείκτη διόγκωσης και στο όριο υδαρότητας των μπεντονιτών, για το λόγο ότι ο μπεντονίτης δεν περιέχει 100% σμεκτίτη και οι τιμές του δείκτη διόγκωσης και του ορίου υδαρότητας που καταγράφηκαν αντιστοιχούν στο ποσοστό σμεκτίτη που περιέχει ο μπεντονίτης. Άρα όπως προκύπτει, για να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα όσον αφορά την επίδραση του φορτίου θα πρέπει να γίνει αναγωγή των αποτελεσμάτων διόγκωσης και ορίων υδαρότητας στο 100% του.

Όπως γίνεται κατανοητό έπρεπε να προσδιοριστεί το ποσοστό % σμεκτίτη που περιείχε κάθε τύπος μπεντονίτη. Ο προσδιορισμός του ποσοστού % σμεκτίτη πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος EVA. Το πρόγραμμα EVA προσδιορίζει το περιεχόμενο του μπεντονίτη σε διάφορα ορυκτά.

6.2 Προσδιορισμός περιεκτικότητας ορυκτών κάθε τύπου μπεντονίτη

Με τη βοήθεια του XRD προέκυψαν τα ακτινοδιαγράμματα για κάθε τύπο μπεντονίτη όπως αυτά καταγράφονται στο τέλος του κεφαλαίου. Με την επεξεργασία του κάθε ακτινοδιαγράμματος στο πρόγραμμα EVA, προέκυψαν οι περιεκτικότητες % των ορυκτών που περιέχει ο κάθε τύπος μπεντονίτη όπως φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 6.1: Ποιοτική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων μπεντονίτη

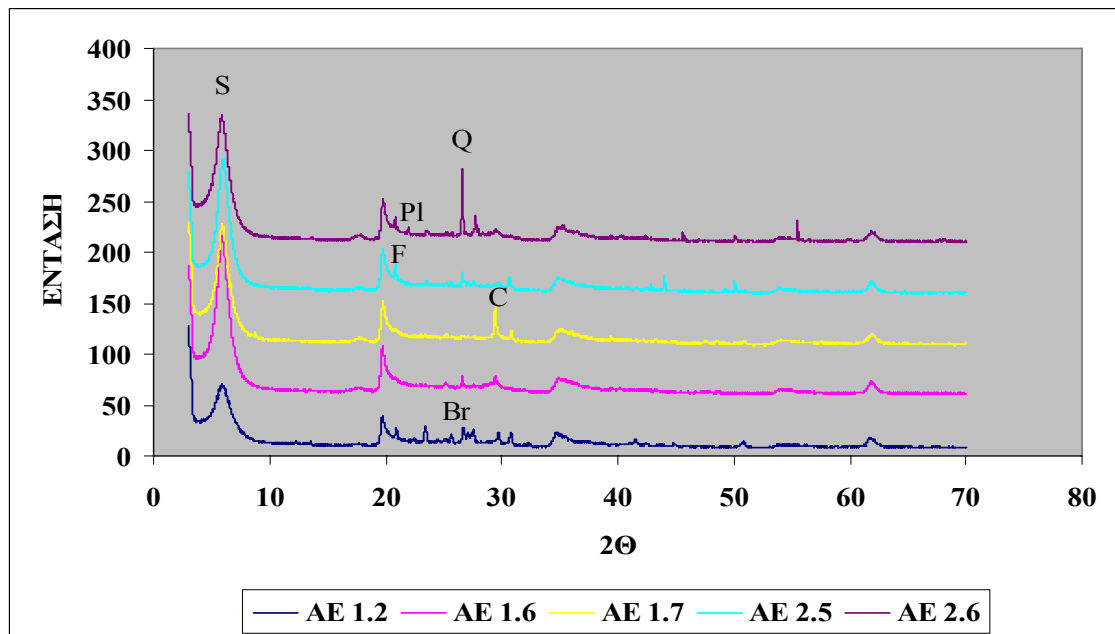
	A.E. 5.3	A.E. 5.11	A.E. 3.9	A.E. 1.6	A.E. 1.2	A.E. 2.5	A.E. 3.6	A.E. 3.5	A.E. 9.9	A.E. 5.2
Σμεκτίτης (Μοντμοριλλονίτης)	95,0	91,5	92,2	93,8	83,7	93,0	94,6	90,1	95,1	92,2
Χαλαζίας	0,4	0,8	0,6	1,1	-	0,4	0,7	0,7	0,5	1,0
Σανίδινο	4,6	-	1,9	2,9	11	4,8	3,7	2,8	4,1	6,8
Μπρουκίτης- Ανατάσης	-	-	-	-	0,5	0,4	-	0,3	0,3	-
Σιδηροπυρίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Πλαγιόκλαστα (Ανορθίτης)	-	2,8	1,9	-	-	-	1,9	1,3	-	-
Σιδηρίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ασβεστίτης	-	-	-	2,2	-	-	-	2,6	-	-
Αιματίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δολομίτης	-	3,9	2,5	-	0,5	1,2	-	2,2	-	-
Χριστοβαλίτης	-	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-
Ανκερίτης	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-
Μοσχοβίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σιδηρίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Καολινίτης	-	-	-	-	4,3	-	-	-	-	-
Τριδυμίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 6.1 (συνέχεια): Ποιοτική ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων μπετονίτη

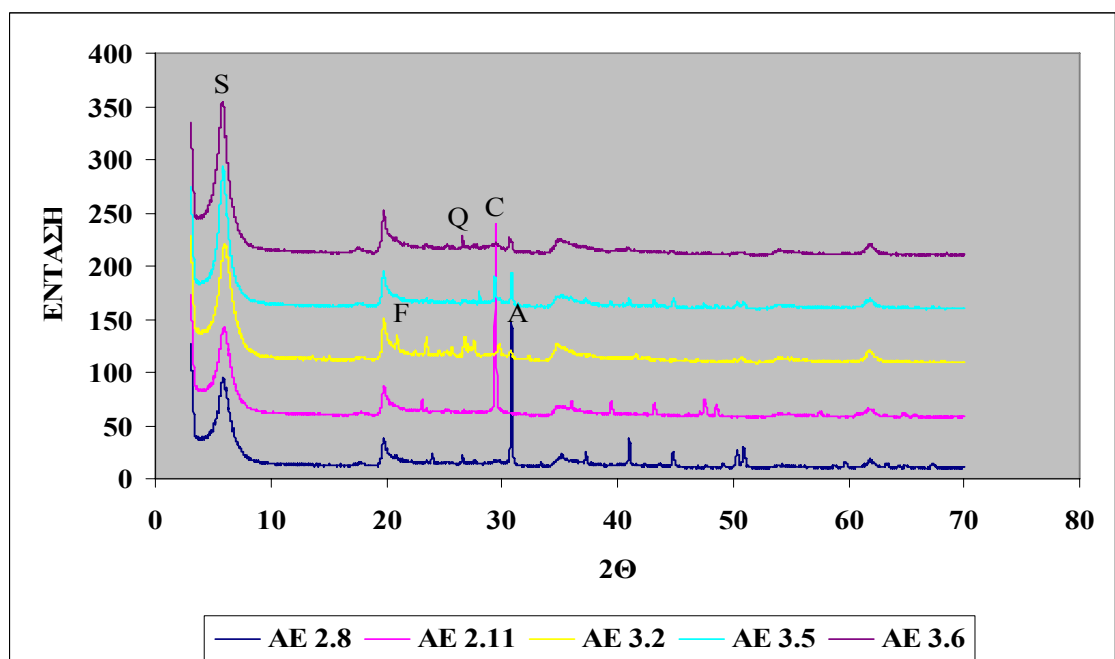
	A.E. 1.7	A.E. 4.4	A.E. 2.11	A.E. 9.6	A.E. 3.2	A.E. 8.8	A.E. 2.8	A.E. 6.5	A.E. 2.6
Σμεκτίτης (Μοντοριλλονίτης)	91,9	77,7	86,9	97,2	91,9	85,0	69,4	97,0	89,4
Χαλαζίας	0,4	1,5	-	0,6	0,7	1,2	1,6	1,2	2,1
Σανίδινο	3,2	-	4,5	2,1	7,1	-	-	-	-
Μπρουκίτης- Ανατάσης	0,4	0,6	0,5	0,1	0,3	-	-	-	1,0
Σιδηροπυρίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Πλαγιόκλαστα (Ανορθίτης)	-	-	-	-	-	-	2,0	1,8	4,4
Σιδηρίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ασβεστίτης	3,0	4,1	8,1	-	-	-	1,0	-	2,0
Αιματίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Δολομίτης	1,1	-	-	-	-	-	-	-	1,1
Χριστοβαλίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ανκερίτης	-	-	-	-	-	-	26,0	-	-
Μοσχοβίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σιδηρίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Καολινίτης	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Τριδυμίτης	-	16,1	-	-	-	13,0	-	-	-

Οι περιεκτικότητες σε σμεκτίτη % θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο κεφάλαιο για την αναγωγή των αποτελεσμάτων ορίων υδαρότητας και δεικτών διόγκωσης σε 100 % σμεκτίτη.

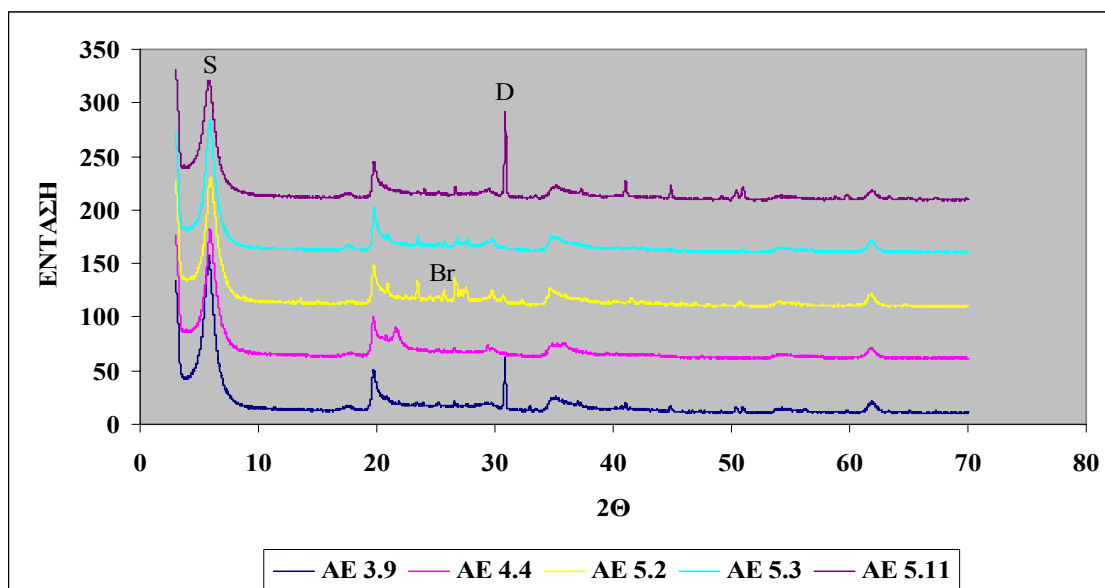
Παρακάτω φαίνονται τα ακτινογραφήματα των δειγμάτων μπεντονίτη που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.



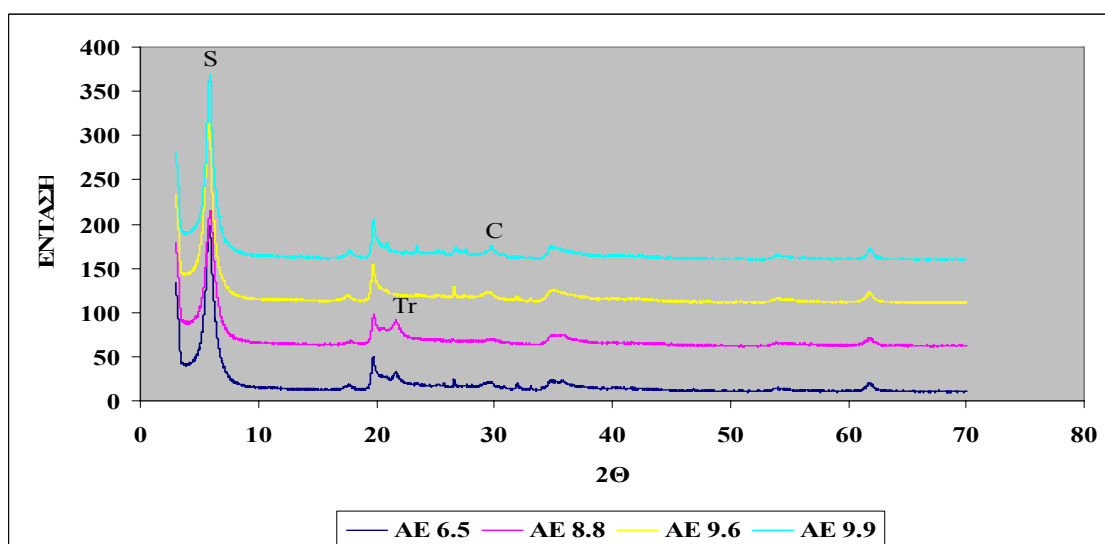
Σχήμα 6.1: Ακτινογραφήματα μπεντονιτών AE 1.2, AE 1.6, AE 1.7, AE 2.5, AE 2.6



Σχήμα 6.2: Ακτινογραφήματα μπεντονιτών AE 2.8, AE 2.11, AE 3.2, AE 3.5, AE 3.6



Σχήμα 6.3: Ακτινογραφήματα μπεντονιτών AE 3.9, AE 4.4, AE 5.2, AE 5.3, AE 5.11



Σχήμα 6.4: Ακτινογραφήματα μπεντονιτών AE 6.5, AE 8.8, AE 9.6, AE 9.9

S = Σμεκτίτης

Q = Χαλαζίας

C = Ασβεστίτης

Tr = Τριδυμίτης

F = Σανίδινο

D = Δολομίτης

A = Ανκερίτης

PL = Πλαγιόκλαστα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Σύσχετιση αποτελεσμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την επίδραση φορτίου κρυσταλλικής δομής σμεκτιτών στο δείκτη διόγκωσης και το όριο υδαρότητας μπεντονιτικών αργίλων .

Στον **πίνακα 7.1** παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν για να φανεί η επίδραση του φορτίου των σμεκτιτών στο δείκτη διόγκωσης και στο όριο υδαρότητας διαφόρων τύπων μπεντονίτη.

Στην τρίτη στήλη του πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα όρια υδαρότητας που προέκυψαν από την πειραματική τεχνική Casagrande, στην τέταρτη στήλη τα όρια υδαρότητας που προέκυψαν από την πειραματική τεχνική του Κώνου, στην πέμπτη στήλη το φορτίο του σμεκτίτη κάθε τύπου μπεντονίτη, στην έκτη στήλη ο δείκτης διόγκωσης (ml) που προέκυψε με την πρώτη μέθοδο και στην έβδομη στήλη παρουσιάζεται ο δείκτης διόγκωσης που προέκυψε με τη δεύτερη μέθοδο μετά την ενεργοποίηση ολόκληρης της ποσότητας των δειγμάτων μπεντονίτη όπως προαναφέρθηκε αναλυτικά στο 4^ο κεφάλαιο.

Ο δείκτης διόγκωσης της δεύτερης δοκιμής διόγκωσης προσφέρεται για άμεσες συγκρίσεις με τα όρια υδαρότητας, αφού τα δείγματα ενεργοποιήθηκαν με τον ίδιο τρόπο.

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα μετρήσεων διόγκωσης και ορίων υδαρότητας

A/A	Δείγμα Μπεντονίτη	LL με Casagrande	LL με Κόνο	Φορτίο Γρ / 0,5 κυψ	Δείκτης διόγκωσης Α	Δείκτης διόγκωσης Β
1	A.E. 5.3	388	381	0,42	37	29
2	A.E. 5.11	338	334	0,45	33	26,5
3	A.E. 3.9	454	452	0,43	29	29
4	A.E. 1.6	502	498	0,43	30	32
5	A.E. 1.2	322	330	0,57	24	22
6	A.E. 2.5	369	377	0,56	28	23
7	A.E. 3.6	420	411	0,54	33	28
8	A.E. 3.5	431	432	0,53	37	27,5
9	A.E. 9.9	394	392	0,45	37	28
10	A.E. 5.2	393	399	0,56	33	27
11	A.E. 1.7	375	372	0,45	32	25
12	A.E. 4.4	351	353	0,56	34	27
13	A.E. 2.11	359	358	0,53	32,5	29
14	A.E. 9.6	489	490	0,44	41	33
15	A.E. 3.2	299	295	0,51	29	25
16	A.E. 8.8	342	346	0,44	32	25
17	A.E. 2.8	354	351	0,43	31	25
18	A.E. 6.5	332	330	0,43	37	24
19	A.E. 2.6	497	489	0,42	29	32

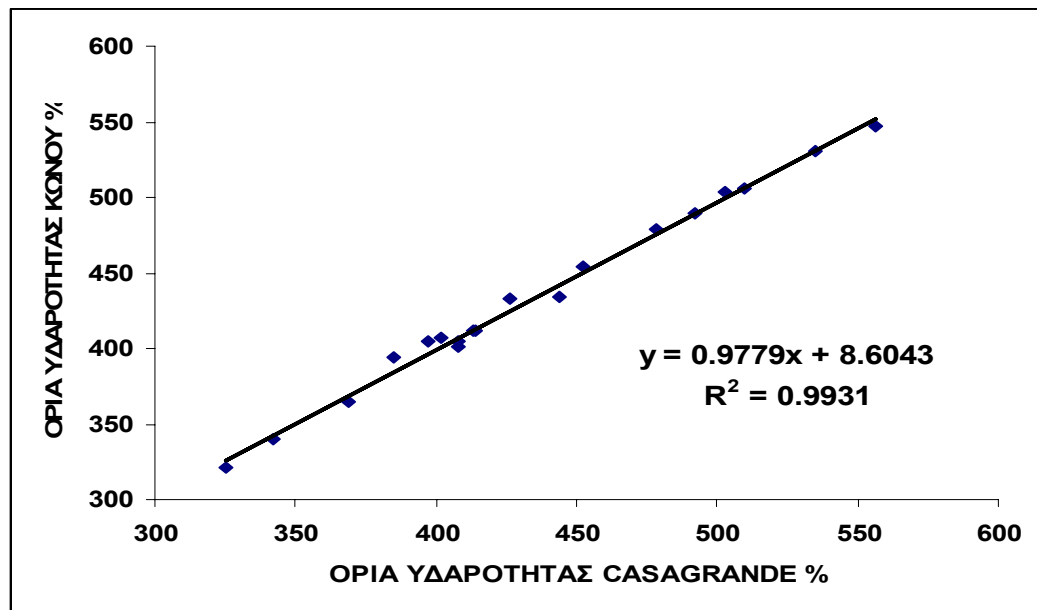
Όμως από τις μετρήσεις του πίνακα 7.1 οι οποίες καταγράφηκαν από τις πειραματικές δοκιμές της παρούσας εργασίας δεν μπορούν να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα όσον αφορά την επίδραση του φορτίου στο δείκτη διόγκωσης και στο όριο υδαρότητας των μπεντονιτών, για το λόγο ότι ο μπεντονίτης δεν περιέχει 100% σμεκτίτη και οι τιμές του δείκτη διόγκωσης και του ορίου υδαρότητας που καταγράφηκαν αντιστοιχούν στο ποσοστό σμεκτίτη που περιέχει ο μπεντονίτης. Αντίθετα το φορτίο κρυσταλλική δομής αναφέρεται σε καθαρό σμεκτίτη. Για να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα όσον αφορά την επίδραση του φορτίου θα πρέπει να γίνει αναγωγή των αποτελεσμάτων διόγκωσης και ορίων υδαρότητας σε ποσοστό 100%

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αναγόμενα σε 100% σμεκτίτη παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2

Πίνακας 7.2: Αναγόμενα αποτελέσματα διόγκωσης και ορίων υδαρότητας όπως προέκυψαν από τον πίνακα 7.1

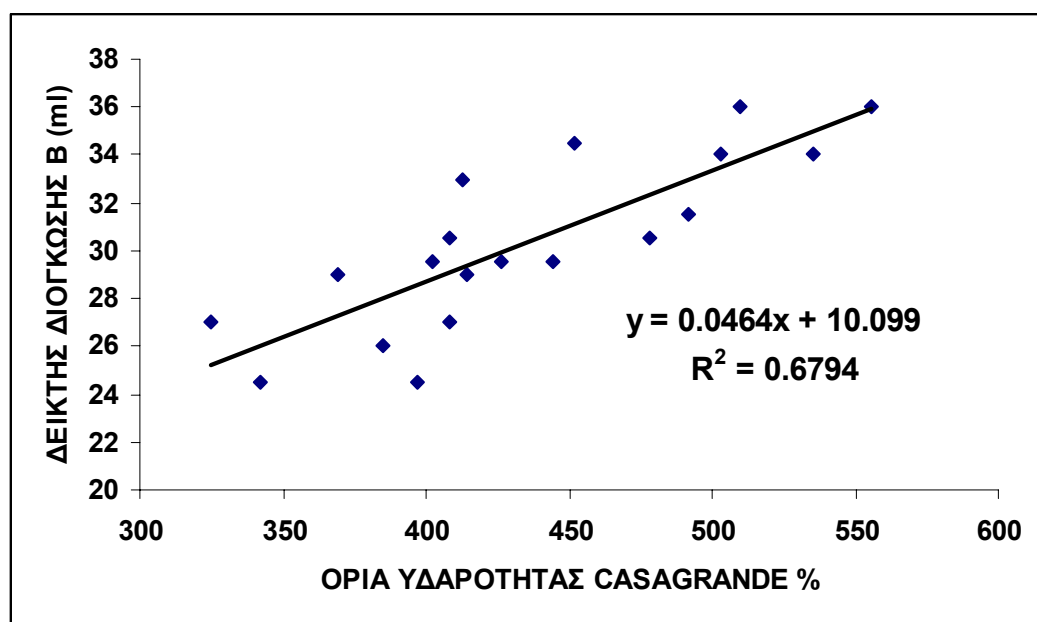
A/A	Τύπος Μπεντονίτη	Περιεκτικότητα % σε σμεκτίτη	LL με Casagrande	LL με Κώνο	Φορτίο Γρ / 0,5 κυψ	Δείκτης διόγκωσης B
1	A.E. 5.3	95,0	408	401	0,42	30.5
2	A.E. 5.11	91,5	369	365	0,45	29
3	A.E. 3.9	92,2	492	490	0,43	31.5
4	A.E. 1.6	93,8	535	531	0,43	34
5	A.E. 1.2	83,7	385	394	0,57	26
6	A.E. 2.5	93,0	397	405	0,56	24.5
7	A.E. 3.6	94,6	444	434	0,54	29.5
8	A.E. 3.5	90,1	478	479	0,53	30.5
9	A.E. 9.9	95,1	414	412	0,45	29
10	A.E. 5.2	92,2	426	433	0,56	29.5
11	A.E. 1.7	91,9	408	405	0,45	27
12	A.E. 4.4	77,7	452	454	0,56	34.5
13	A.E. 2.11	86,9	413	412	0,53	33
14	A.E. 9.6	97,2	503	504	0,44	34
15	A.E. 3.2	91,9	325	321	0,51	27
16	A.E. 8.8	85,0	402	407	0,44	29.5
17	A.E. 2.8	69,4	510	506	0,43	36
18	A.E. 6.5	97,0	342	340	0,43	24.5
19	A.E. 2.6	89,4	556	547	0,42	36

Στο **σχήμα 7.1** που ακολουθεί φαίνεται η σχέση των αποτελεσμάτων της μέτρησης των ορίων υδαρότητας με τις μεθόδους Casagrande και Κώνου.



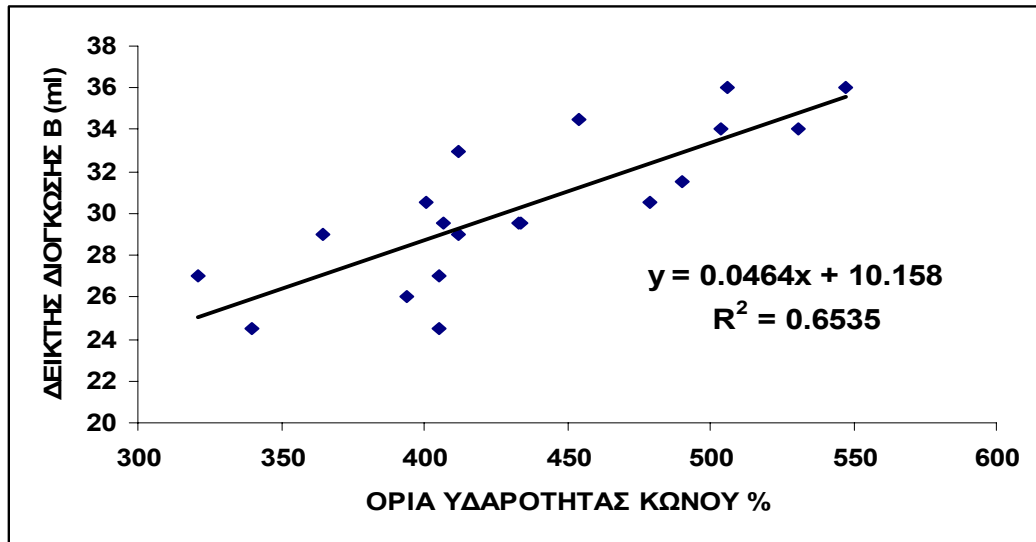
Σχήμα 7.1: Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Casagrande - Κώνου

Στο **σχήμα 7.2** που ακολουθεί φαίνεται η σχέση των αποτελεσμάτων της μέτρησης των ορίων υδαρότητας (με τη μέθοδο Casagrande) με τα αποτελέσματα της **B** δοκιμής διόγκωσης [δείκτης διόγκωσης ml].



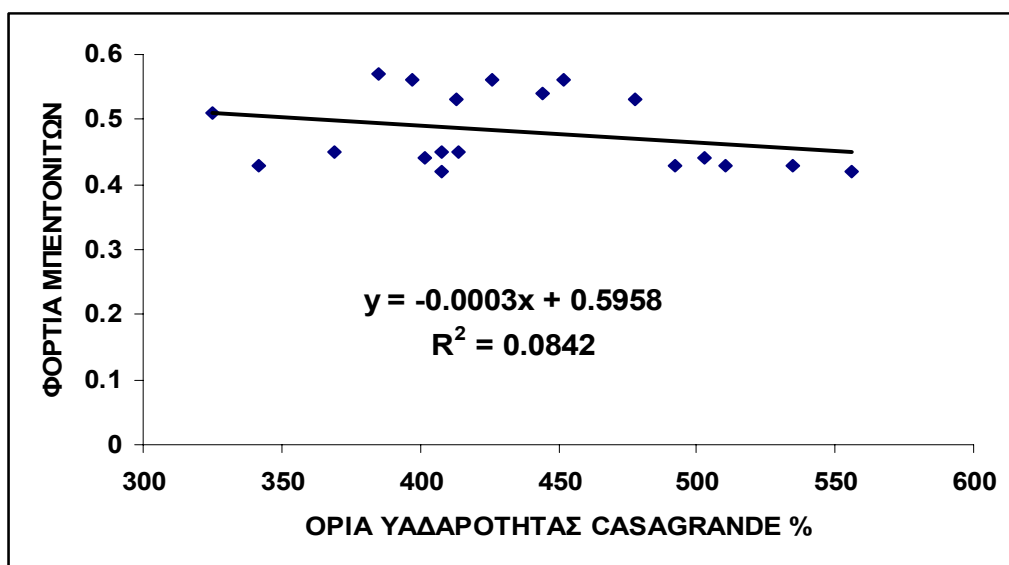
Σχήμα 7.2: Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Casagrande – Δείκτης διόγκωσης B

Στο σχήμα 7.3 που ακολουθεί φαίνεται η σχέση των αποτελεσμάτων της μέτρησης των ορίων υδαρότητας (με τη μέθοδο του Κώνου) με τα αποτελέσματα της **B** δοκιμής διόγκωσης [δείκτης διόγκωσης ml].



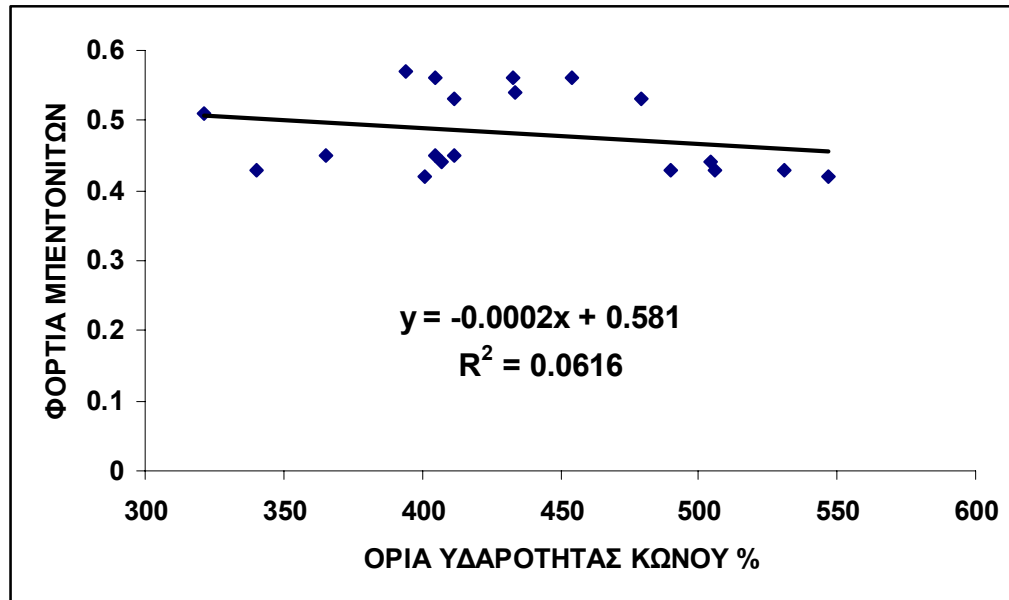
Σχήμα 7.3: Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Κώνου – Δείκτης διόγκωσης B

Στο σχήμα 7.4 που ακολουθεί φαίνεται η σχέση των αποτελεσμάτων της μέτρησης των ορίων υδαρότητας με τη μέθοδο Casagrande με το φορτίο κρυσταλλικής δομής του σμεκτίτη.



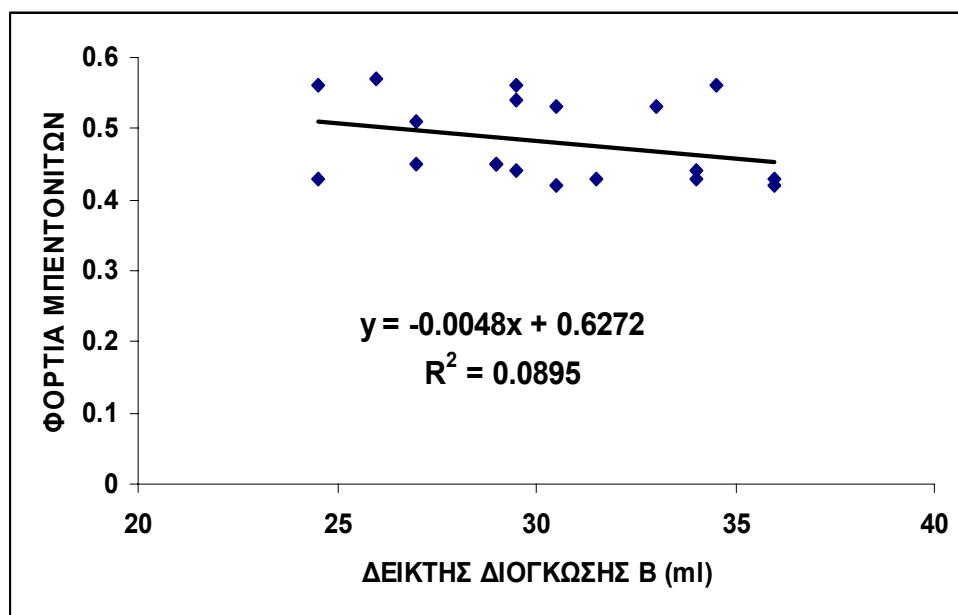
Σχήμα 7.4: Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Casagrande – Φορτία μπεντονιτών

Στο **σχήμα 7.5** που ακολουθεί φαίνεται η σχέση των αποτελεσμάτων της μέτρησης των ορίων υδαρότητας με τη μέθοδο του Κώνου με το φορτίο κρυσταλλικής δομής του σμεκτίτη.



Σχήμα 7.5: Συσχέτιση ορίων υδαρότητας LL Κώνου – Φορτία μπεντονιτών

Στο **σχήμα 7.6** που ακολουθεί φαίνεται η σχέση των δεικτών διόγκωσης B με το φορτίο κρυσταλλικής δομής του σμεκτίτη.



Σχήμα 7.6: Συσχέτιση δείκτη διόγκωσης B – Φορτία μπεντονιτών

7.2 Συμπεράσματα

- Υπάρχει καλή σχέση μεταξύ των Ορίων Υδαρότητας LL (τόσο με τη μέθοδο Casagrande όσο και με τη μέθοδο του Κώνου) με το δείκτη διόγκωσης B.
- Δεν υπάρχει καλή σχέση μεταξύ των ορίων υδαρότητας (τόσο με τη μέθοδο Casagrande όσο και με τη μέθοδο του Κώνου) με το φορτίο κρυσταλλική δομής του σμεκτίτη.
- Δεν υπάρχει καλή σχέση μεταξύ των δεικτών διόγκωσης B με το φορτίο κρυσταλλικής δομής το σμεκτίτη.
- Υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των ορίων υδαρότητας με 2 διαφορετικές μεθόδους γεγονός που σημαίνει ότι και οι 2 μέθοδοι είναι αξιόπιστες και εφάμιλλες ως προς τα αποτελέσματα που δίνουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

- 1. Christidis, G.E. and P.W. Scott (1993), Laboratory Evaluation of Bentonites, Industrial Minerals, August, pp. 51 – 57.**
- 2. Christidis G., Scott P.W., Dunham A.C. (1997), «Acid Activation and Bleaching Capacity of Bentonites from the Islands of Milos and Chios Aegean, Greece», Applied Clay Science 12, 329-347.**
- 3. Grim, R.E and Güven, N. (1978), « Bentonites », Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.**
- 4. Head K.H. (1985), «Manual of soil Laboratory testing», Volume 2**
- 5. Lagaly G. and Armin Weiss (1975), «The Layer Charge of Smectitic Layer Silicates», International Clay Conference 1975, Applied Publishing Ltd. Wilmette, Illinois 60091, U.S.A.**
- 6. Laird D.A, Scott A.D. & Fenton, T.E. (1987), «Interpretation of Alkylammonium Characterization of Soil Clays», Soil Science Society of America Journal 51, 1659-1663.**
- 7. Mortland M.M. (1970), «Clay-Organic Complexes and Interactions», Adv. Agron. 23, 75-117.**
- 8. Odom, I.E (1984), «Smectite Clay Minerals: properties and uses», Phil. Trans.R.Soc. London, pp. 391-409, Volume A.311.**

Ελληνική Βιβλιογραφία

- 1. Αποστολάκη Χ. (2005), Μεταπτυχιακή Εργασία «Μελέτη Ρωμαϊκών κονιαμάτων και χρωστικών τοιχογραφιών από την Αρχαία Κόρινθο**
- 2. Κοκκίδης, Ν. (2006), Διπλωματική Εργασία «Μελέτη της επίδρασης του χημισμού του αρχικού πετρώματος στην αρχική σύσταση των σμεκτιτών που απαντούν στους μπεντονίτες», Χανιά**
- 3. Κωστάκης, Γ. (1999), «Εισαγωγή στην Αξιολόγηση Βιομηχανικών Ορυκτών», Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.**
- 4. Νικητάκη Ο. (2004), Διπλωματική Εργασία «Επίδραση αλκαλικού Περιβάλλοντος στην κρυσταλλική δομή και τις φυσικές ιδιότητες του μπεντονίτη της Μήλου», Χανιά**
- 5. Νικητάκη Ο. (2007), Μεταπτυχιακή Εργασία «Επίδραση του μεγέθους και της ετερογένειας του φορτίου σμεκτιτικών στρωμάτων στην Παρασκευή οργανόφιλων μπεντονιτών», Χανιά**
- 6. Παπαχαρίσης / Μάνου-Ανδρεάκη / Γραμματικόπουλος, (2003) «Γεωτεχνική Μηχανική», Αθήνα**
- 7. Στειακάκης Μ. (2004), «Εργαστηριακές Ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας-Εδαφομηχανικής», Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 14-20, Χανιά.**
- 8. Χατζηστάμου Β. (2005), Διπλωματική Εργασία «Χρήση Ελληνικών λιγνιτών για τη ρύθμιση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των πολφών γεωτρήσεων», Χανιά**
- 9. Χρηστάρας Βασίλης (2002), «Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής», Αθήνα**
- 10. Χρηστίδης, Γ. (2005), «Κοιτασματολογία (Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα)», Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.**

Βιβλιογραφία διαδικτύου

1. www.geoservice.gr
2. www.smianalytical.com
3. pubs.usgs.gov
4. www.daniilidis.gr
5. www.sciencedirect.com

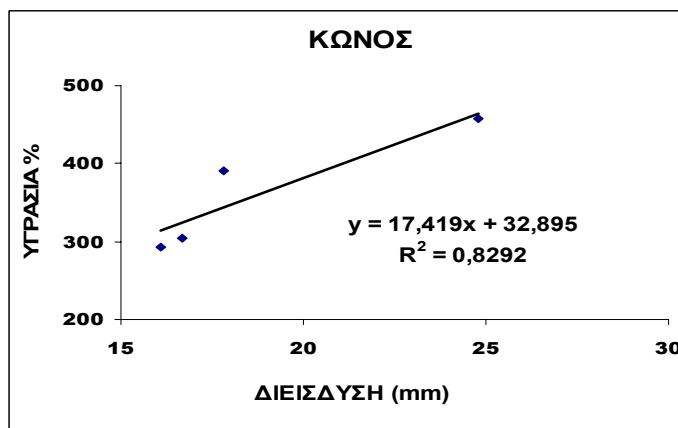
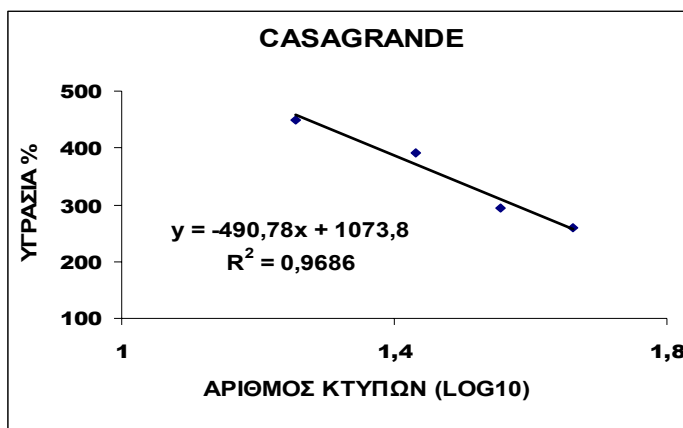
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 5.3
LL με τη μέθοδο Casagrande : 397 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 381 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	18	27	36	46	24,80	18,80	17,70	16,10
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	50,20	56,20	58,60	59,30	59,60	56,00	56,00	60,00
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	42,10	45,60	45,00	45,50	50,00	44,70	45,00	47,10
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	8,10	10,60	13,60	13,80	9,60	11,70	11,00	12,90
Δ	Βάρος κάψας (g)	40,30	42,90	40,40	40,20	47,90	41,70	41,40	42,70
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	1,80	2,70	4,60	5,30	2,10	3,00	3,60	4,40
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	450	392	295	260	457	390	305	293

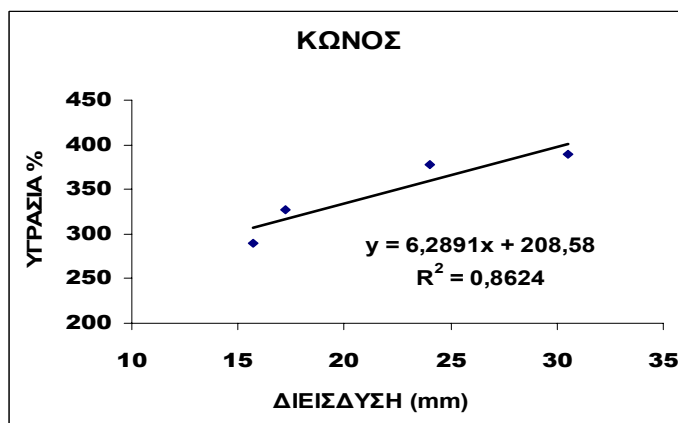
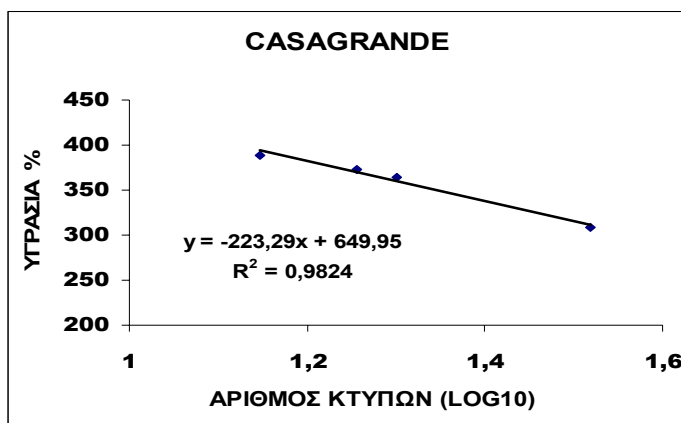


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 5.11
LL με τη μέθοδο Casagrande : 342 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 334 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	14	18	20	33	30,50	24,00	17,20	15,70
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	55,70	58,30	60,70	57,20	57,30	60,00	54,40	58,60
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	44,40	44,10	47,20	46,10	45,90	45,60	43,60	45,80
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	11,30	14,20	13,50	11,10	11,30	14,40	10,80	12,80
Δ	Βάρος κάψας (g)	41,50	40,30	43,30	42,50	43,00	41,80	40,30	41,40
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	2,90	3,80	3,70	3,60	2,90	3,80	3,30	4,40
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	389	373	364	308	389	378	327	290

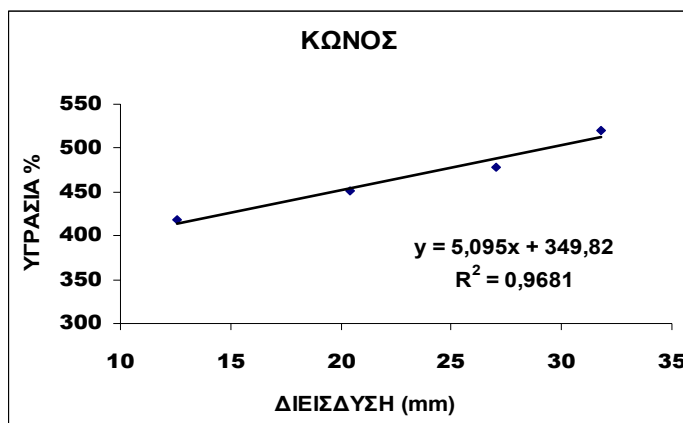
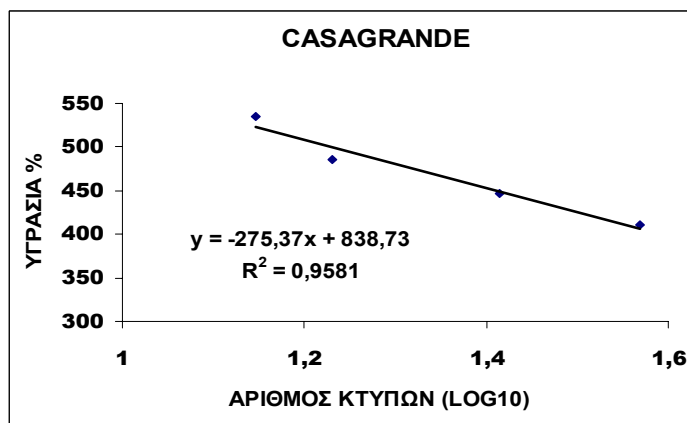


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.9
LL με τη μέθοδο Casagrande : 463 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 452 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	14	17	26	37	31,80	27,00	20,40	12,60
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	62,70	58,48	54,16	51,46	58,30	62,03	57,30	52,99
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	49,81	43,65	43,41	43,65	44,46	45,07	44,40	42,99
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	12,89	14,83	12,47	7,81	13,84	16,96	12,90	10,00
Δ	Βάρος κάψας (g)	47,40	40,60	40,62	41,75	41,80	41,52	41,54	40,60
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	2,41	3,05	2,79	1,90	2,66	3,55	2,86	2,39
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	535	486	447	411	520	478	451	418

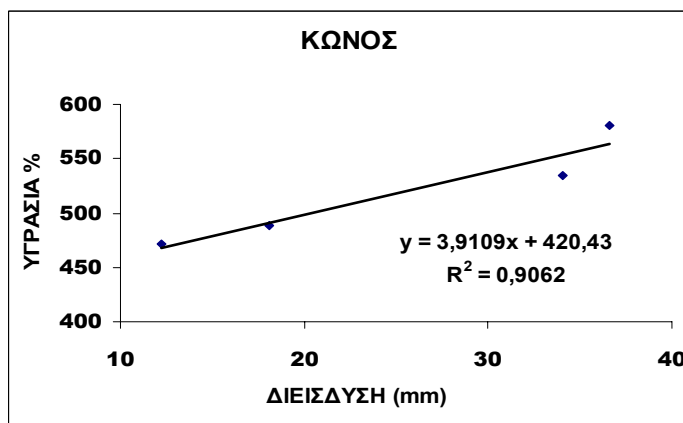
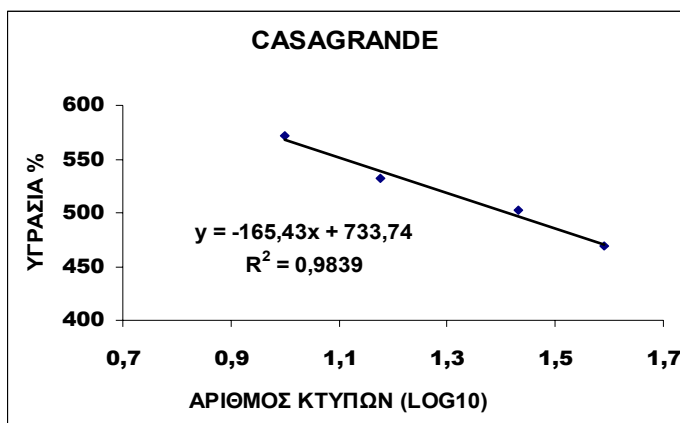


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 1.6
LL με τη μέθοδο Casagrande : 511 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 499 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	10	15	27	39	36,60	34,10	18,13	12,24
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	61,60	66,11	61,84	59,83	59,20	65,24	65,13	55,37
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	44,66	50,88	50,25	46,82	43,33	49,66	49,77	43,80
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	16,94	15,23	11,59	13,01	15,87	15,58	15,36	11,57
Δ	Βάρος κάψας (g)	41,70	48,02	47,94	44,05	40,60	46,75	46,63	41,35
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	2,96	2,86	2,31	2,77	2,73	2,91	3,14	2,45
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	572	532	502	469	581	535	489	472

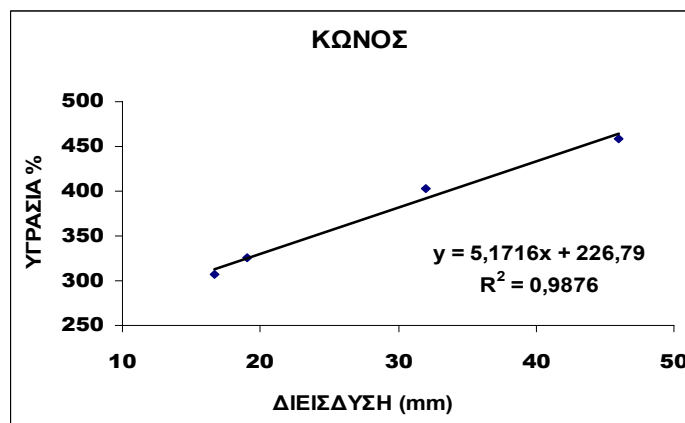
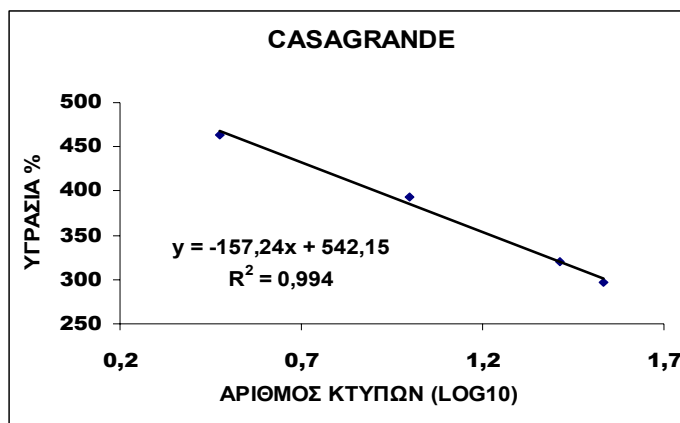


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 1.2
LL με τη μέθοδο Casagrande : 333 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 330 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	3	11	26	34	46,00	32,00	19,00	16,67
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	62,65	57,80	57,17	57,17	59,40	56,49	53,78	54,88
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	45,45	46,02	46,43	44,61	43,94	43,47	43,46	44,92
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	17,2	11,78	10,74	12,56	15,46	13,02	10,32	9,96
Δ	Βάρος κάψας (g)	41,74	43,01	43,07	40,39	40,57	40,24	40,30	41,68
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,71	3,01	3,36	4,22	3,37	3,23	3,16	3,24
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	463	393	320	297	459	403	326	307

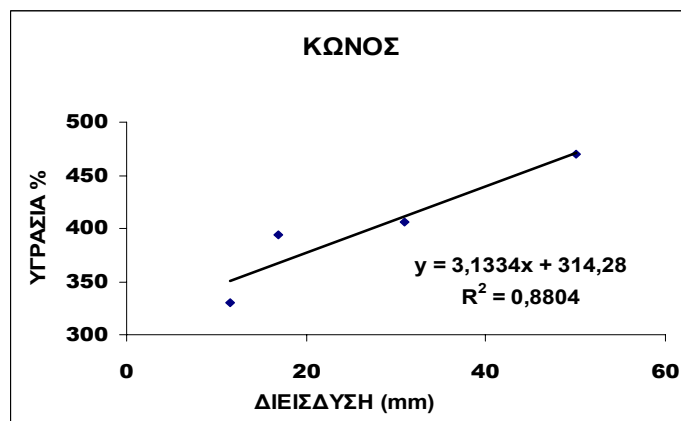
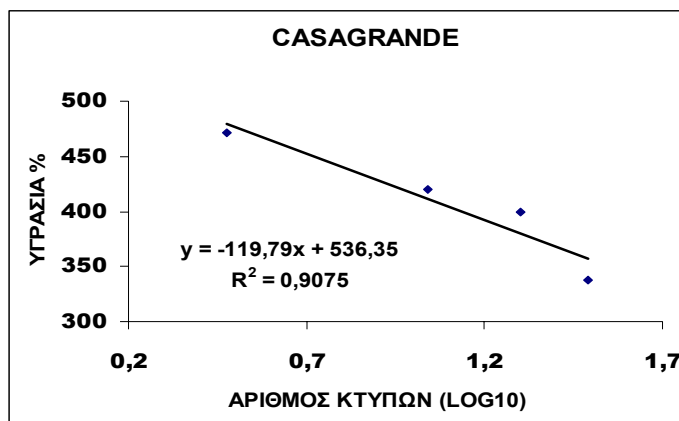


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 2.5
LL με τη μέθοδο Casagrande : 367 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 377 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	3	11	20	31	50,00	31,00	16,84	11,59
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	70,50	57,26	52,45	54,88	73,40	63,43	60,03	56,83
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	50,78	43,57	42,75	44,62	48,17	46,86	46,29	46,73
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	19,72	13,69	9,70	10,26	25,23	16,57	13,74	10,10
Δ	Βάρος κάψας (g)	46,60	40,31	40,32	41,58	42,80	42,78	42,80	43,67
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	4,18	3,26	2,43	3,04	5,37	4,08	3,49	3,06
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	472	420	399	338	470	406	394	330

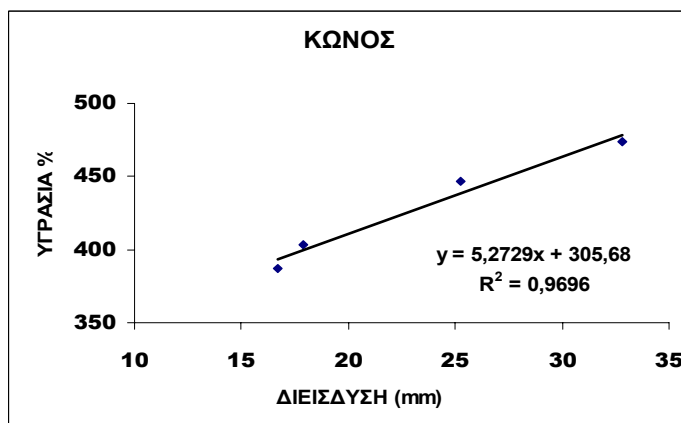
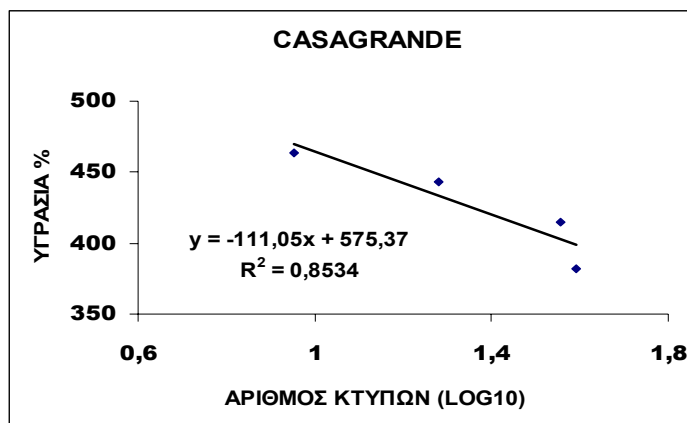


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.6
LL με τη μέθοδο Casagrande : 428 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 411 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	9	19	36	39	32,80	25,22	17,88	16,70
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	62,10	59,30	54,80	60,46	57,40	65,35	60,19	59,18
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	46,22	43,97	43,29	44,39	44,27	45,89	45,06	47,19
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	15,88	15,33	11,51	16,07	13,13	19,46	14,59	11,99
Δ	Βάρος κάψας (g)	42,80	40,51	40,52	40,19	41,5	41,44	41,44	44,09
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,42	3,46	2,77	4,20	2,77	4,35	3,62	3,10
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	464	443	415	382	474	447	403	387

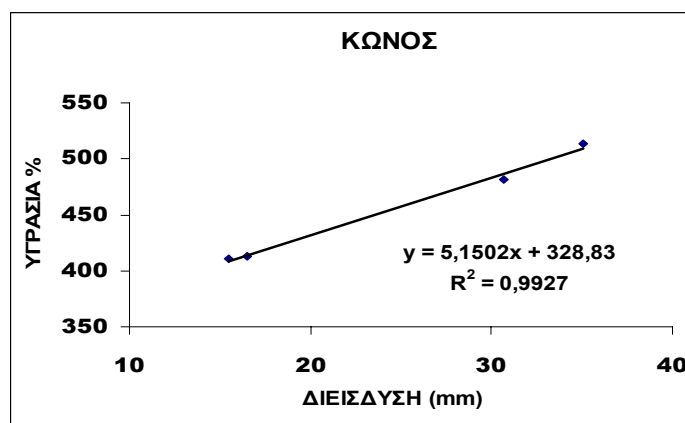
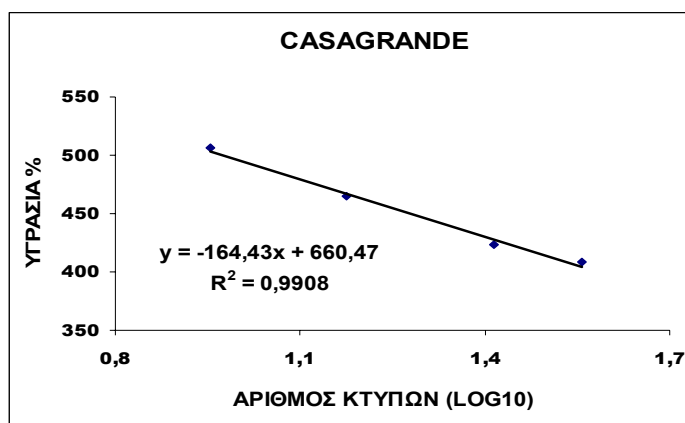


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.5
LL με τη μέθοδο Casagrande : 438 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 432 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	9	15	26	36	35,10	30,64	16,54	15,52
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	58,80	60,54	57,12	53,27	57,10	63,97	51,84	57,01
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	43,52	46,39	45,99	42,84	44,04	44,48	42,63	44,56
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	15,28	14,15	11,13	10,43	13,06	19,49	9,21	12,45
Δ	Βάρος κάψας (g)	40,50	43,35	43,36	40,29	41,50	40,43	40,40	41,53
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,02	3,04	2,63	2,55	2,54	4,05	2,23	3,03
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	506	465	423	409	514	481	413	411

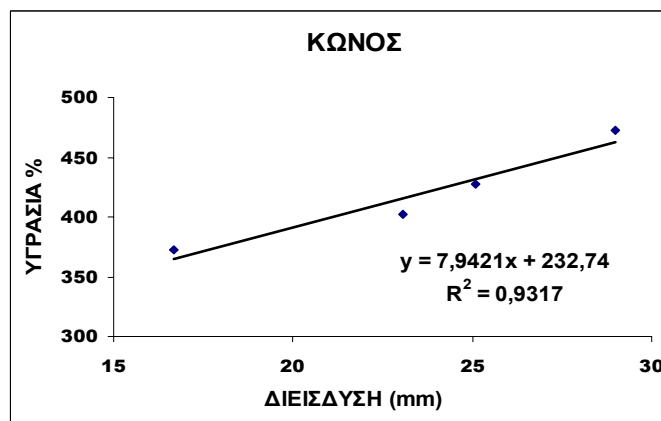
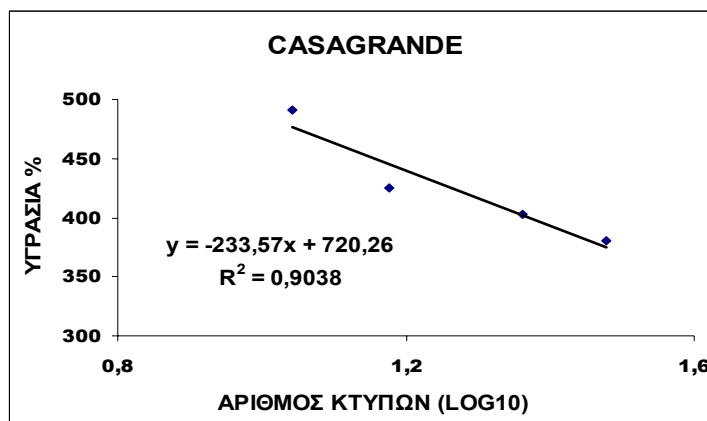


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 9.9
LL με τη μέθοδο Casagrande : 398 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 392 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	11	15	23	30	29,00	25,10	23,05	16,66
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	59,60	60,09	56,82	54,53	56,90	72,74	71,63	51,51
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	43,34	46,09	45,52	45,54	42,98	52,20	52,20	42,68
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	16,26	14,00	11,30	8,99	13,92	20,54	19,43	8,83
Δ	Βάρος κάψας (g)	40,30	42,80	42,72	43,18	40,40	47,40	47,37	40,31
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,04	3,29	2,80	2,36	2,94	4,80	4,83	2,37
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	491	425	403	381	473	428	402	373

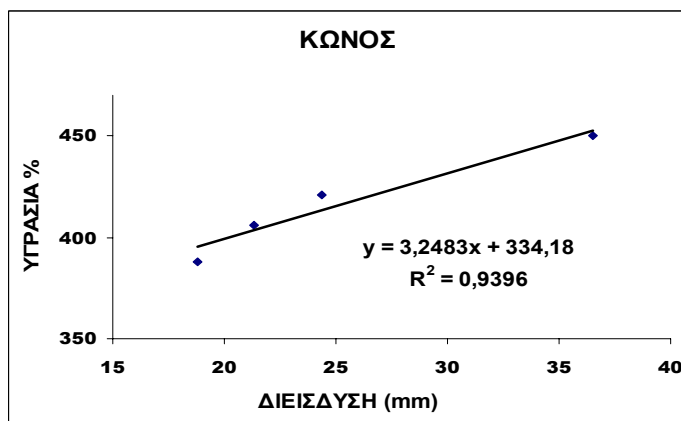
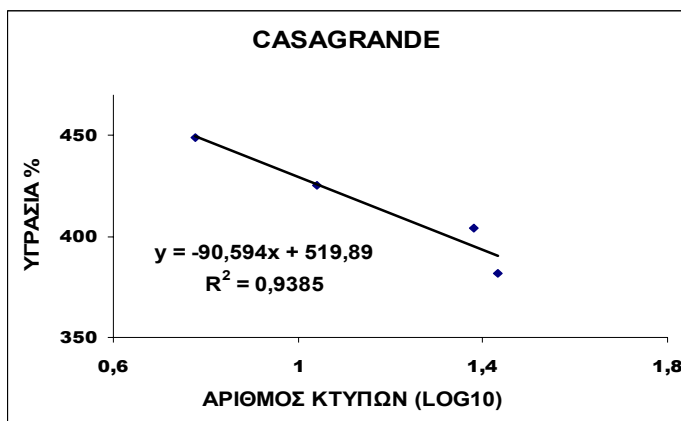


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 5.2
LL με τη μέθοδο Casagrande : 393 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 399 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	6	11	24	27	36,50	24,39	21,35	18,82
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	72,90	62,54	58,85	54,57	61,10	59,86	56,19	55,68
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	52,45	46,65	46,04	43,89	43,92	43,93	43,32	44,35
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	20,45	15,89	12,81	10,68	17,18	15,93	12,87	11,33
Δ	Βάρος κάψας (g)	47,90	42,91	42,87	41,09	40,10	40,15	40,15	41,43
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	4,55	3,74	3,17	2,80	3,82	3,78	3,17	2,92
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	449	425	404	382	450	421	406	388

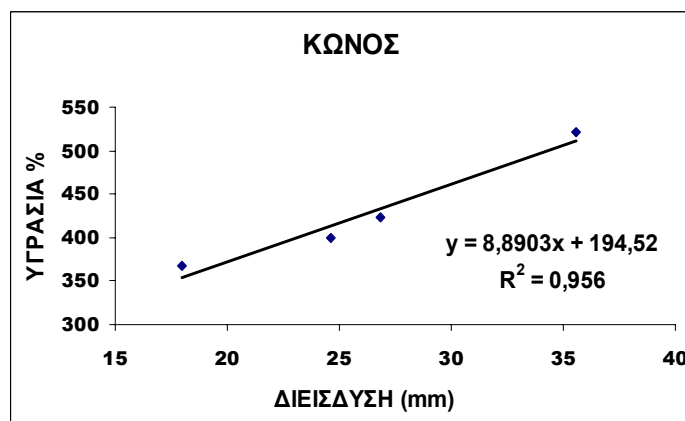
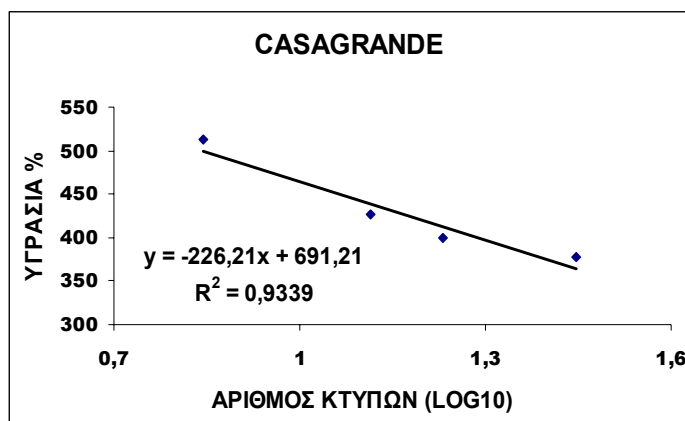


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 1.7
LL με τη μέθοδο Casagrande : 377 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 372 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	7	13	17	28	35,60	26,81	24,65	17,99
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	61,40	56,62	54,77	57,50	62,50	55,26	63,38	56,57
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	44,00	43,50	43,30	45,86	45,89	44,31	46,15	44,33
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	17,40	13,12	11,47	11,64	16,61	10,95	17,23	12,24
Δ	Βάρος κάψας (g)	40,60	40,42	40,42	42,78	42,7	41,83	41,84	41,00
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,40	3,08	2,87	3,08	3,19	2,58	4,31	3,33
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	512	426	400	378	521	424	399	368

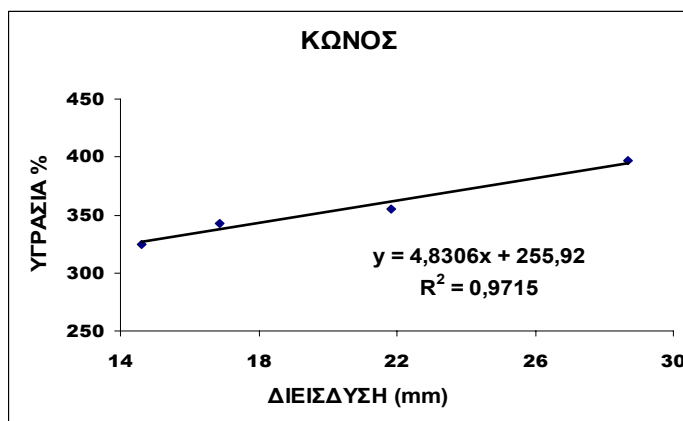
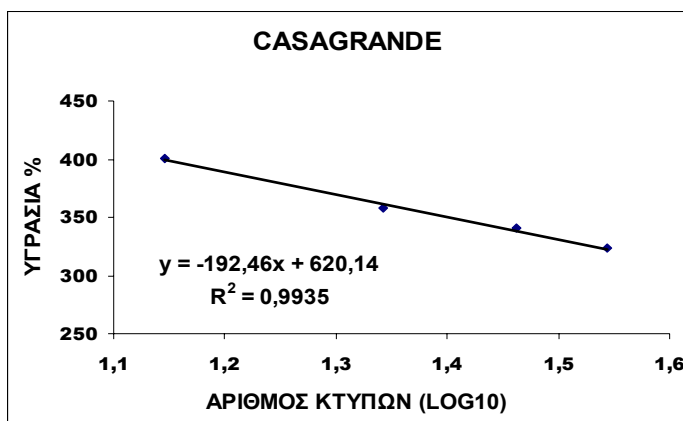


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 4.4
LL με τη μέθοδο Casagrande : 351 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 353 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	14	22	29	35	28,70	21,85	16,89	14,60
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	59,60	53,14	63,57	57,03	52,00	53,64	54,37	52,42
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	45,13	46,05	51,04	44,15	43,75	45,25	44,36	43,77
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	14,47	7,09	12,53	12,88	8,25	8,35	10,01	8,65
Δ	Βάρος κάψας (g)	41,52	44,07	47,37	40,16	41,67	42,94	41,44	41,11
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,61	1,98	3,67	3,99	2,08	2,35	2,92	2,66
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	401	358	341	323	397	355	343	325

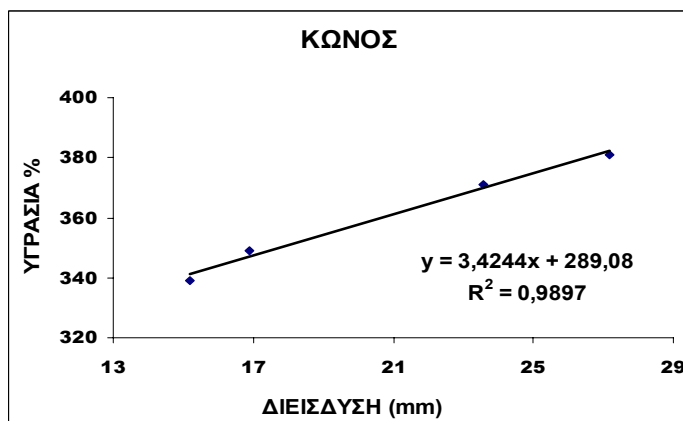
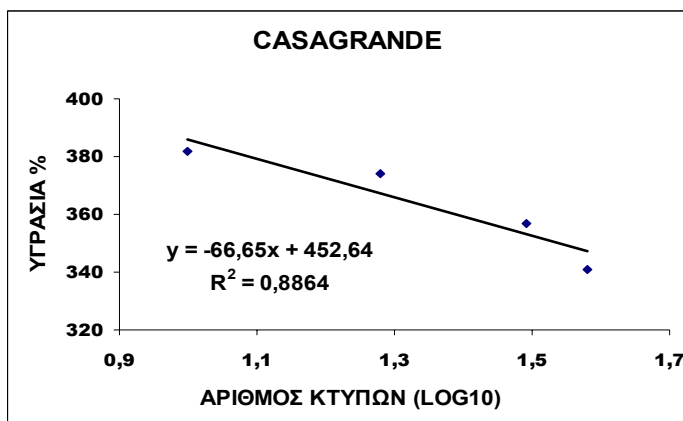


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 2.11
LL με τη μέθοδο Casagrande : 359 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 358 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	10	19	31	38	27,18	23,56	16,90	15,20
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	55,72	54,86	54,70	54,64	53,60	57,44	52,21	63,78
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	45,63	44,53	44,02	43,79	45,21	46,36	43,10	51,71
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	10,09	10,33	10,68	10,85	8,39	11,08	9,11	12,07
Δ	Βάρος κάψας (g)	42,99	41,77	41,03	40,61	43,01	43,37	40,49	48,15
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	2,64	2,76	2,99	3,18	2,20	2,99	2,61	3,56
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	382	374	357	341	381	371	349	339

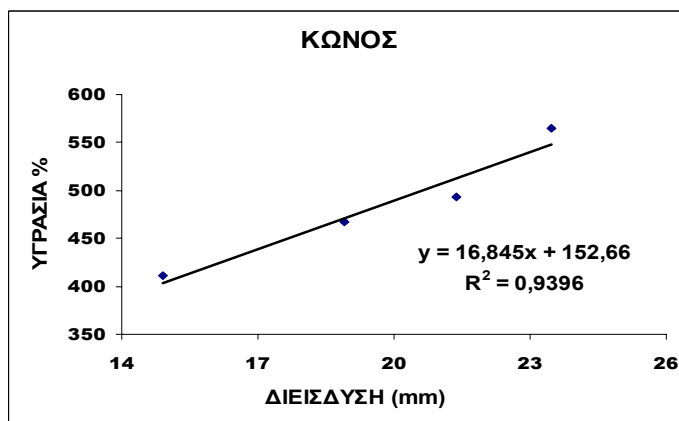
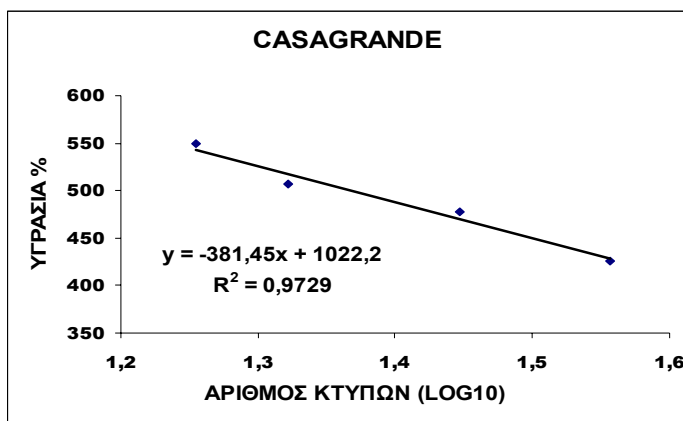


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 9.6
LL με τη μέθοδο Casagrande : 489 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 490 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	18	21	28	36	23,48	21,38	18,90	14,92
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	62,19	54,54	58,90	56,88	60,27	56,96	67,85	56,33
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	44,90	42,88	43,60	46,62	46,60	46,12	47,45	44,40
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	17,29	11,66	15,30	10,26	13,67	10,84	20,40	11,93
Δ	Βάρος κάψας (g)	41,75	40,58	40,40	44,21	44,18	43,92	43,08	41,50
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,15	2,30	3,20	2,41	2,42	2,20	4,37	2,90
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	549	507	478	426	565	493	467	411

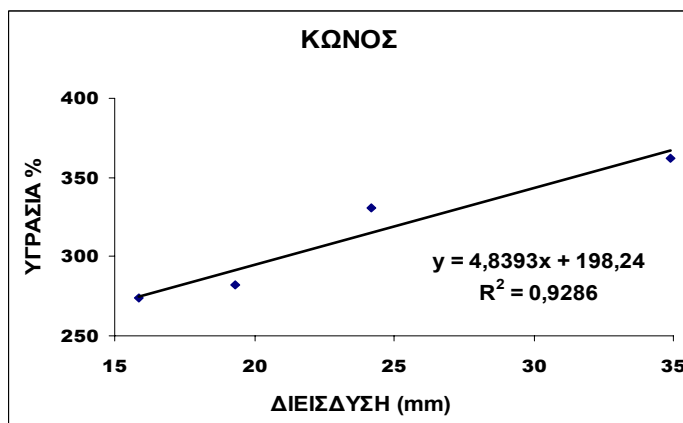
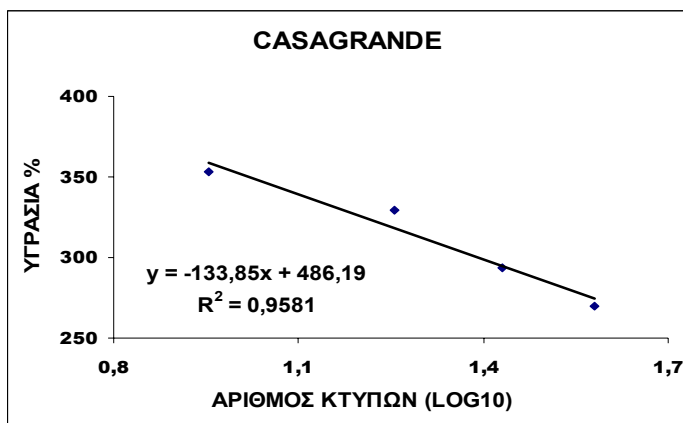


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.2
LL με τη μέθοδο Casagrande : 299 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 295 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	9	18	27	38	34,90	24,17	19,32	15,85
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	53,06	56,15	59,51	54,61	63,83	53,66	63,82	57,13
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	43,36	46,17	46,18	44,12	51,50	44,38	47,33	45,75
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	9,70	9,98	13,33	10,49	12,33	9,28	16,49	11,38
Δ	Βάρος κάψας (g)	40,61	43,14	41,65	40,23	48,09	41,58	41,49	41,59
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	2,75	3,03	4,53	3,89	3,41	2,80	5,84	4,16
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	353	329	294	270	362	331	282	274

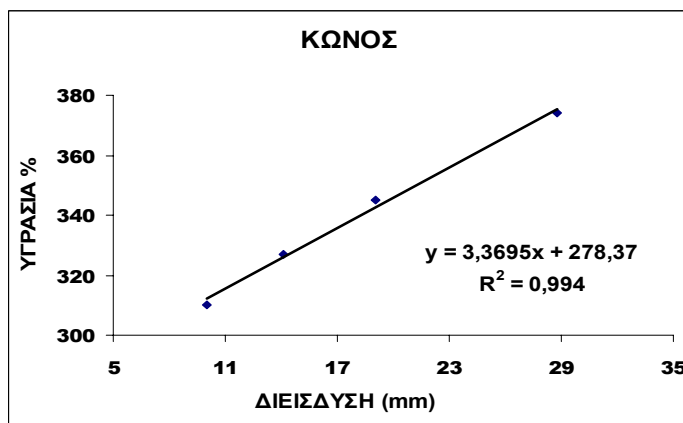
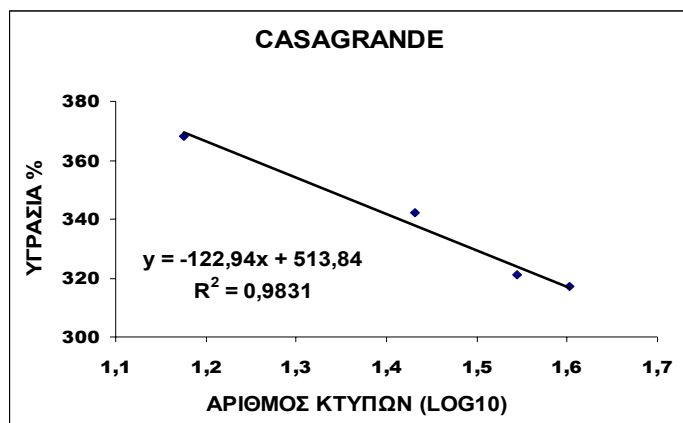


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 8.8
LL με τη μέθοδο Casagrande : 342 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 346 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	15	27	35	40	28,80	19,05	14,12	10,01
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	60,95	62,88	57,60	61,11	59,78	63,98	56,56	53,50
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	46,69	45,48	47,36	47,23	47,21	47,61	46,06	43,68
Γ	Βάρος νερού (Γ = A – B) (g)	14,26	17,40	10,24	13,88	12,57	16,37	10,50	9,82
Δ	Βάρος κάψας (g)	42,81	40,39	44,17	42,85	43,85	42,87	42,85	40,51
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,88	5,09	3,19	4,38	3,36	4,74	3,21	3,17
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	368	342	321	317	374	345	327	310

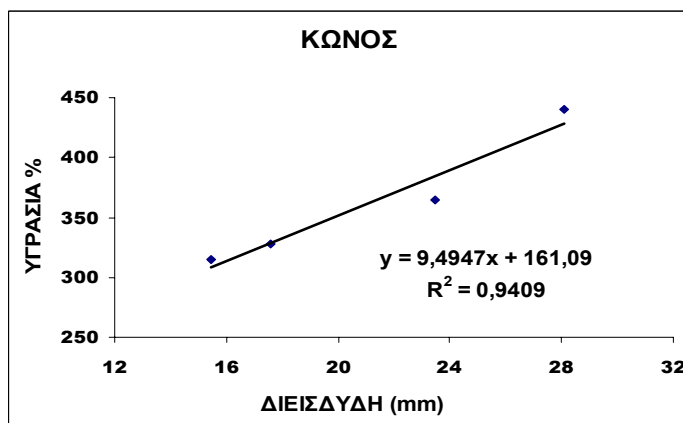
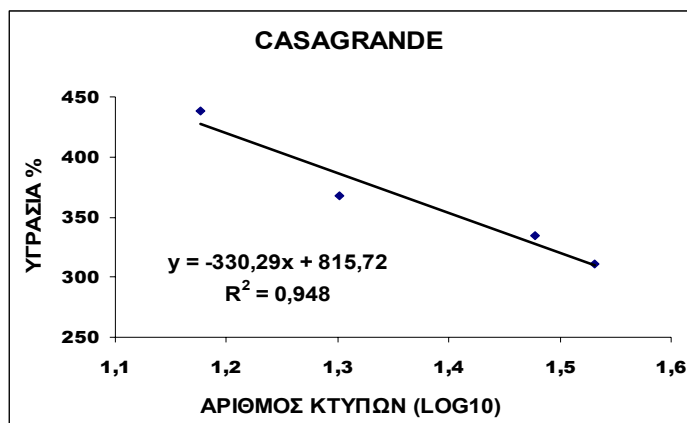


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 2.8
LL με τη μέθοδο Casagrande : 354 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 351 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	15	20	30	34	28,10	23,48	17,60	15,46
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	57,08	57,72	61,97	56,54	62,89	56,78	59,96	62,10
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	45,99	44,92	47,69	45,36	47,40	43,85	46,86	45,79
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	11,09	12,80	14,28	11,18	15,49	12,93	13,10	16,31
Δ	Βάρος κάψας (g)	43,46	41,44	43,41	41,77	43,88	40,31	42,86	40,61
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	2,53	3,48	4,28	3,59	3,52	3,54	4,00	5,18
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	438	368	334	311	440	365	328	315

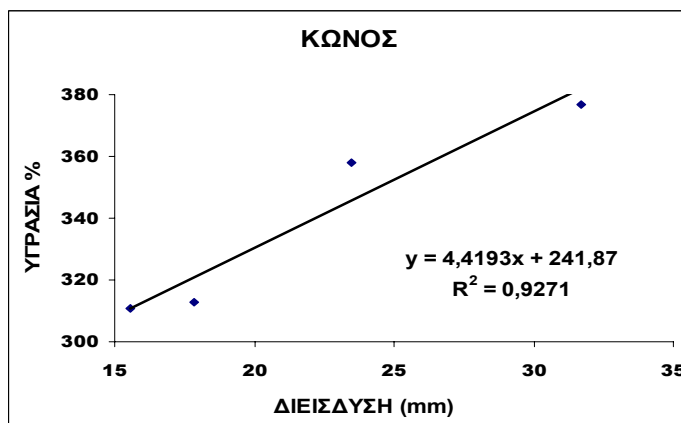
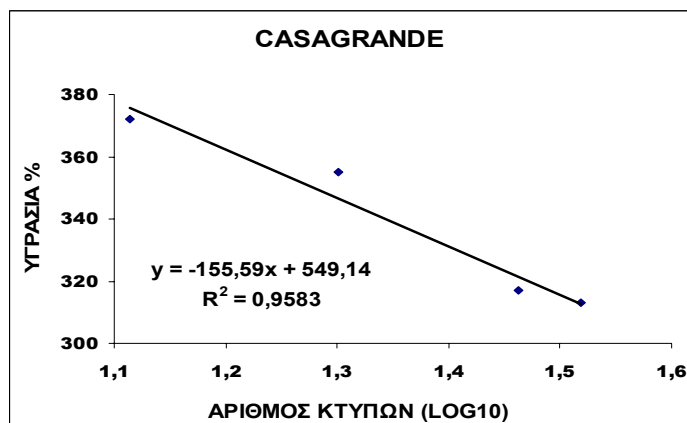


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 6.5
LL με τη μέθοδο Casagrande : 332 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 330 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	13	20	29	33	31,70	23,48	17,85	15,56
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	59,85	64,04	57,57	58,28	59,49	58,35	56,84	66,64
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	45,48	47,40	45,61	47,41	46,22	44,25	44,54	52,49
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	14,37	16,64	11,96	10,87	13,27	14,10	12,30	14,15
Δ	Βάρος κάψας (g)	41,62	42,71	41,84	43,94	42,70	40,31	40,61	47,94
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	3,86	4,69	3,77	3,47	3,52	3,94	3,93	4,55
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	372	355	317	313	377	358	313	311

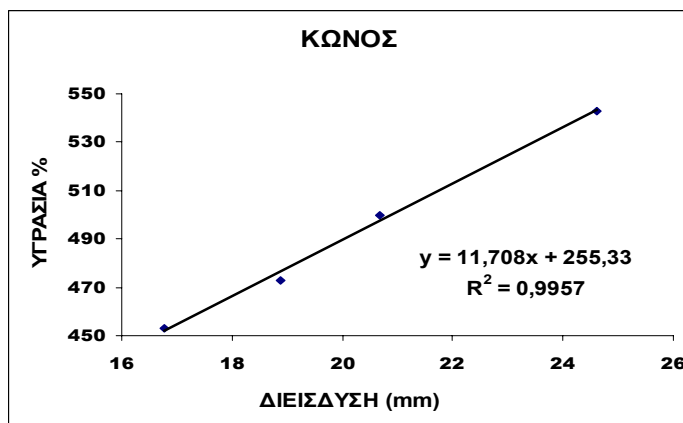
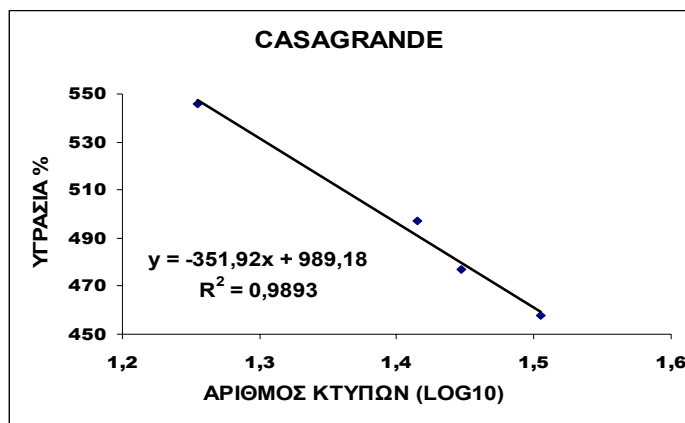


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του ορίου υδαρότητας LL των
δειγμάτων μπεντονίτη με τις μεθόδους Casagrande & Κώνου

Κωδικός δείγματος	A.E. 6.5
LL με τη μέθοδο Casagrande : 497 %	LL με τη μέθοδο κώνου : 489 %

	ΔΟΚΙΜΗ	CASAGRANDE				ΚΩΝΟΣ			
	Αριθμός δοκιμής	1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός κάψας	1 c	2 c	3 c	4 c	1 κ	2 κ	3 κ	4 κ
	Casagrande (αριθμός κτύπων) / Βάθος διείσδυσης Κώνου (mm)	18	26	28	32	24,60	20,68	18,88	16,78
A	Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (g)	57,55	55,83	55,14	52,37	55,03	61,94	55,14	57,40
B	Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (g)	44,07	42,97	42,87	43,44	43,90	47,04	43,07	45,39
Γ	Βάρος νερού (Γ = Α – Β) (g)	13,48	12,86	12,27	8,93	11,13	14,90	12,07	12,01
Δ	Βάρος κάψας (g)	41,60	40,38	40,30	41,49	41,85	44,06	40,52	42,74
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (g)	2,47	2,59	2,57	1,95	2,05	2,98	2,55	2,65
Z	Περιεχόμενη υγρασία (Z= Γ * 100 / E) %	546	497	477	458	543	500	473	453



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 5.3
Μέγιστη διογκωσιμότητα (37 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 7 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5,5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	10
2 ^{ος}	1	14
3 ^{ος}	2	18
4 ^{ος}	3	25
5 ^{ος}	4	30
6 ^{ος}	5	27
7 ^{ος}	5,5	37
8 ^{ος}	6	34

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 5.11
Μέγιστη διογκωσιμότητα (33 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 7 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5,5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	9
2 ^{ος}	1	17,5
3 ^{ος}	2	18,5
4 ^{ος}	3	21
5 ^{ος}	4	27
6 ^{ος}	5	27,5
7 ^{ος}	5,5	33
8 ^{ος}	6	28

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.9
Μέγιστη διογκωσιμότητα (29 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 5 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 4 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	Δείγμα: 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	7
2 ^{ος}	1	14
3 ^{ος}	2	23,5
4 ^{ος}	3	28
5 ^{ος}	4	29
6 ^{ος}	5	28
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	26,5

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 1.6
Μέγιστη διογκωσιμότητα (30 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	9
2 ^{ος}	1	19
3 ^{ος}	2	29
4 ^{ος}	3	29
5 ^{ος}	4	29,5
6^{ος}	5	30
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	29,5

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 1.2
Μέγιστη διογκωσιμότητα (24 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 5 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 4 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	7
2 ^{ος}	1	11
3 ^{ος}	2	23
4 ^{ος}	3	22
5 ^{ος}	4	24
6 ^{ος}	5	21,5
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	20

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 2.5
Μέγιστη διογκωσιμότητα (28 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	8
2 ^{ος}	1	14
3 ^{ος}	2	24
4 ^{ος}	3	26
5 ^{ος}	4	25
6^{ος}	5	28
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	26

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.6
Μέγιστη διογκωσιμότητα (33 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 7 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5,5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	9
2 ^{ος}	1	19
3 ^{ος}	2	27
4 ^{ος}	3	28,5
5 ^{ος}	4	28
6 ^{ος}	5	32
7 ^{ος}	5,5	33
8 ^{ος}	6	32

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.5
Μέγιστη διογκωσιμότητα (37 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 5 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 4 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	Δείγμα: 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
-----------------------------------	--	---

1 ^{ος}	0	8
2 ^{ος}	1	20
3 ^{ος}	2	27
4 ^{ος}	3	32,5
5 ^{ος}	4	37
6 ^{ος}	5	35,5
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	36,5

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 9.9
Μέγιστη διογκωσιμότητα (37 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	Δείγμα: 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	9
2 ^{ος}	1	16
3 ^{ος}	2	25
4 ^{ος}	3	29
5 ^{ος}	4	33
6 ^{ος}	5	37
7 ^{ος}	5,5	31
8 ^{ος}	6	39

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 5.2
Μέγιστη διογκωσιμότητα (33 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	Δείγμα: 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	5
2 ^{ος}	1	14
3 ^{ος}	2	24
4 ^{ος}	3	28
5 ^{ος}	4	31
6 ^{ος}	5	33
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	31

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 1.7
Μέγιστη διογκωσιμότητα (32 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	8
2 ^{ος}	1	14
3 ^{ος}	2	27
4 ^{ος}	3	30
5 ^{ος}	4	31
6^{ος}	5	32
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	31

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 4.4
Μέγιστη διογκωσιμότητα (34 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	10
2 ^{ος}	1	22
3 ^{ος}	2	28
4 ^{ος}	3	29
5 ^{ος}	4	31
6 ^{ος}	5	34
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	32

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 2.11
Μέγιστη διογκωσιμότητα (32,5 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h: στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	8
2 ^{ος}	1	16
3 ^{ος}	2	24
4 ^{ος}	3	30
5 ^{ος}	4	30
6 ^{ος}	5	32,5
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	31

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 9.6
Μέγιστη διογκωσιμότητα (41 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	10
2 ^{ος}	1	12
3 ^{ος}	2	20
4 ^{ος}	3	27
5 ^{ος}	4	33
6 ^{ος}	5	41
7 ^{ος}	5,5	37
8 ^{ος}	6	42

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 3.2
Μέγιστη διογκωσιμότητα (29 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	6
2 ^{ος}	1	17
3 ^{ος}	2	25
4 ^{ος}	3	26
5 ^{ος}	4	28
6 ^{ος}	5	29
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	25

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 8.8
Μέγιστη διογκωσιμότητα (32 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na ₂ CO ₃ κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	8
2 ^{ος}	1	14
3 ^{ος}	2	23
4 ^{ος}	3	24
5 ^{ος}	4	27
6^{ος}	5	32
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	29

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 2.8
Μέγιστη διογκωσιμότητα (31 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	9
2 ^{ος}	1	13
3 ^{ος}	2	25
4 ^{ος}	3	27
5 ^{ος}	4	26
6 ^{ος}	5	31
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	28,5

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 6.5
Μέγιστη διογκωσιμότητα (37 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	<u>Δείγμα:</u> 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	---	--

1 ^{ος}	0	7
2 ^{ος}	1	17
3 ^{ος}	2	27
4 ^{ος}	3	34
5 ^{ος}	4	32
6 ^{ος}	5	37
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	35,5

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

Δελτίο προσδιορισμού του δείκτη διόγκωσης των δειγμάτων
μπεντονίτη

Κωδικός δείγματος	A.E. 2.6
Μέγιστη διογκωσιμότητα (29 ml) εμφανίζεται μετά από 24 h στον ογκ. κύλινδρο No 6 με δείγμα 2 gr μπεντονίτη & 5 % Na_2CO_3 κατά βάρος	

Ογκομετρικός Κύλινδρος	Δείγμα: 2 gr μπεντονίτης & ποσοστό (%) Na_2CO_3 κατά βάρος	Όγκος δείγματος (ml) μετά από 24 h
---------------------------	--	--

1 ^{ος}	0	10
2 ^{ος}	1	13
3 ^{ος}	2	18
4 ^{ος}	3	17
5 ^{ος}	4	26
6 ^{ος}	5	29
7 ^{ος}	5,5	-
8 ^{ος}	6	27

