



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**«Τεχνικές υδρογεωτρήσεων - Επίδραση εξωγενών παραμέτρων
στους πολφούς υδρογεωτρήσεων»**

Διπλωματική εργασία

ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΟΤΣΗ

Εξεταστική επιτροπή:

**Κελεσίδης Βασίλειος, Αναπληρωτής Καθηγητής(Επιβλέπων)
Φώσκολος Αντώνιος, Ομότιμος Καθηγητής
Χρηστίδης Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής**

**Χανιά
Οκτώβριος 2008**

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας αυτής, είναι αποτέλεσμα της πολύτιμης βοήθειας και υποστήριξης που προσφέρθηκε από το διδακτικό προσωπικό του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και ιδιαίτερα του προσωπικού του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωτρήσεων.

Συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα Αναπληρωτή Καθηγητή Κελεσίδη Βασίλειο, ο οποίος διέθεσε το χρόνο του και τις πολύτιμες γνώσεις του βοηθώντας όποτε χρειάστηκε στο να ολοκληρωθεί η εργασία αυτή, καθώς και για τις διορθώσεις τις οποίες έκανε. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Χρηστίδη Γεώργιο και τον Ομότιμο Καθηγητή Φώσκολο Αντώνιο, που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή και να αξιολογήσουν αυτήν την εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Μπανδέλη Γρηγόριο, τον κύριο Μπαράδακη Ευπρέπιο, τον κύριο Μαρινάκη Δημήτριο και την κυρία Χατζηστάμου Βασιλική για τη βοήθεια και το χρόνο που διέθεσαν για την εργασία αυτή.

Πέραν των μελών της Πολυτεχνείου Κρήτης θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον κύριο Διαμαντάκη Δημήτρη, Μεταλλειολόγο Μηχανικό, ο οποίος μας επέτρεψε να παραστήσουμε σε εργασίες υδρογεωτρήσεων που διενεργούσε ο ίδιος και μας βοήθησε στην συλλογή στοιχείων που χρειάστηκαν για αυτή την διπλωματική εργασία.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωσή τους. Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω όλους αυτούς τους ανθρώπους που βρέθηκαν δίπλα μου σαν φίλοι αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μια προσπάθεια της μελέτης της μεταβολής των ρεομετρικών παραμέτρων των πολφών υδρογεωτρήσεων λόγω εξωτερικών παραμέτρων.

Σκοπός της εργασίας είναι η κατανόηση της ρεολογίας των ρευστών διάτρησης και ιδιαίτερα αυτών που έχουν σαν κύριο συστατικό τον μπεντονίτη. Η εργασία αποτελείται από θεωρητικό και πειραματικό μέρος ενώ συμπληρώνεται από μετρήσεις πεδίου.

Στο θεωρητικό μέρος παρουσιάζονται:

- Η κατάσταση στην Ελλάδα όσον αφορά τις υδρογεωτρήσεις και τη διαχείριση των υδάτων, η νομοθεσία που τις διέπει, οι φορείς που είναι υπεύθυνοι για την διενέργεια τους κ.α.
- Τεχνικές υδρογεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται αλλά και που μελετώνται πειραματικά.
- Τα ρευστά διάτρησης που χρησιμοποιούνται στις υδρογεωτρήσεις καθώς και πρόσθετα που χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά. Έμφαση δίνεται στα ρευστά που έχουν σαν συστατικό τον μπεντονίτη
- Ο μπεντονίτης και οι κύριες χρήσεις του καθώς και η παραγωγή του στην Ελλάδα.

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι μπεντονίτη, ο αμερικάνικης προέλευσης μπεντονίτης Wyoming και ο ελληνικής προέλευσης μπεντονίτης Zenith.

Τα πειράματα αφορούσαν κυρίως: παρασκευή πολφών μπεντονίτη, μέτρηση δειγμάτων στο ιξωδόμετρο του εργαστηρίου και επεξεργασία των δεδομένων που προέκυπταν από το ιξωδόμετρο με λογισμικό πρόγραμμα που έχει αναπτυχθεί στο εργαστήριο, προσδιορισμό του ρεολογικού μοντέλου που περιγράφει τον πολφό και κατασκευή συγκριτικών διαγραμμάτων και πινάκων.

Στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζονται σειρά πειραμάτων που εκτελέσθηκαν στο εργαστήριο της Τεχνικής Γεωτρήσεων του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης τα οποία και αναφέρονται περιληπτικά παρακάτω:

- Αρχικά έγιναν πειράματα ανάμειξης πολφού μπεντονίτη με ηλεκτρολύτες NaCl και KCl. Στόχος του συγκεκριμένου πειράματος ήταν να δούμε κατά πόσο επηρεάζονται οι ρεομετρικές ιδιότητες των δύο μπεντονιτών (Wyoming και Zenith) από την παρουσία αλάτων, λόγω αναφορών που υπάρχουν για κροκίδωση του μπεντονίτη παρουσία των ηλεκτρολυτών αυτών.
- Στη συνέχεια έγιναν πειράματα ανάμειξης μπεντονίτη Wyoming με θαλασσινό νερό για να διαπιστωθεί και πάλι η αλλαγή στην συμπεριφορά του πολφού και η μεταβολή των ρεολογικών ιδιοτήτων του και η σύγκριση με τους πολφούς που είχαν υποστεί ανάμειξη με ηλεκτρολύτες NaCl και KCl που αναφέρονται παραπάνω. Στόχος του εν λόγω πειράματος ήταν επίσης η προσπάθεια να διαπιστώσουμε αν σε γεωτρήσεις που γίνονται κοντά στην θάλασσα μπορεί να χρησιμοποιηθεί θαλασσινό νερό στον πολφό διάτρησης.
- Έπειτα έγιναν πειράματα χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά προενυδατωμένο πολφό μπεντονίτη (Wyoming) για να δούμε ποια θα ήταν η διαφορά του συγκεκριμένου πολφού ως προς τις ρεολογικές ιδιότητες τόσο μετά από προσθήκη απιονισμένου όσο και μετά την προσθήκη θαλασσινού νερού, σε σχέση με τους πολφούς που εξετάσαμε και αναφέρονται παραπάνω. Το πείραμα συμπληρώνεται με μετρήσεις διηθητικών παραμέτρων πολφών προενυδατωμένου μπεντονίτη που εξετάστηκαν σε φιλτροπρέσα χαμηλής πίεσης που διαθέτει το εργαστήριο.
- Επίσης πραγματοποιήθηκαν πειράματα ανάδευσης πολφών μπεντονίτη Wyoming και Zenith, σε ειδική συσκευή του εργαστηρίου, με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση του χρόνου ωρίμανσης και ανάδευσης και η τυχόν μεταβολή των ρεολογικών παραμέτρων των δειγμάτων που εξετάστηκαν.
- Τέλος έγιναν πειράματα ιξωδομέτρησης σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming με διαφορετικούς στάτορες (bobs) στο ιξωδόμετρο για να μελετηθεί η παρουσία ή όχι φαινομένου διολίσθησης (wall slip) του πολφού στο ιξωδόμετρο.

Οι μετρήσεις πεδίου περιλαμβάνουν επισκέψεις που έγιναν σε χώρο όπου πραγματοποιούνταν υδρογεωτρήσεις και έγιναν με σκοπό την ολοκλήρωση της εικόνας που είχαμε σχηματίσει μετά την εκτέλεση των πειραμάτων αλλά και την συλλογή του θεωρητικού υλικού όσον αφορά τις υδρογεωτρήσεις και την εκτέλεση τους ιδιαίτερα στον Ελλαδικό χώρο. Περιγράφονται δύο επισκέψεις, η πρώτη στο Ντερέ Χανίων και η δεύτερη στις Δάφνες Ηρακλείου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	1
1.Υδρογεωτρήσεις	3
1.1. Γενικά	3
1.1.1. Στην Ελλάδα.....	3
1.1.2. Στην Κρήτη.....	6
1.1.3. Κόστος νερού.....	7
1.1.5. Φορείς έρευνας και καταγραφής δεδομένων	10
1.1.6. Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας.....	12
1.1.7. Νομοθεσία	12
1.2. Τα στάδια κατασκευής μίας υδρογεώτρησης	13
1.3. Μέρη υδρογεώτρησης	14
1.4. Εξοπλισμός	14
1.4.1. Γεωτρύπανα	14
1.4.2. Κοπτικά άκρα	20
2. Μέθοδοι – Τεχνικές γεωτρήσεων.....	22
2.1. Κρουστική διάτρηση.....	22
2.2. Περιστροφική διάτρηση.....	23
2.2.1. Γενικά	23
2.2.2. Διάτρηση με απευθείας κυκλοφορία πολφού.....	24
2.2.3.Διάτρηση με απευθείας κυκλοφορία αέρα.....	26
2.2.4. Διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία γεωτρητικού ρευστού.....	27
2.2.5. Διάτρηση με απευθείας προώθησης της σωλήνωσης.....	29

2.2.6. Διάτρηση με κυκλοφορία αφριστικών	29
2.3. Νέες εξελίξεις στην τεχνική γεωτρήσεων.....	31
2.3.1. Μέθοδος διάτρησης Auger Drilling	31
2.3.1.1. Hollow-stem Augering	32
2.3.1.2. Solid -stem Augers	33
2.3.1.3. Bucket Auger Method	34
2.3.3. Ηχητική διάτρηση (Sonic Drilling)	34
2.3.4. Έρευνα για διάτρηση με λέιζερ (Laser –drilling).....	35
2.4. Ανάπτυξη υδρογεωτρήσεων	36
2.4.1. Γενικά	36
2.4.2. Μέθοδοι ανάπτυξης.....	37
2.4.3. Προβλήματα κατά την λειτουργία των υδρογεωτρήσεων και τεχνικές επεξεργασίας	38
2.4.4. Τύποι προβλημάτων	38
2.4.4.1. Μηχανική παρεμπόδιση.....	39
2.4.4.2. Χημική κρουστοποίηση (Encrustation).....	39
2.4.4.3. «Βακτηριδιακή ενόχληση»	39
2.4.5. Τεχνικές αποκατάστασης.....	40
2.4.5.1. Έλεγχος ροής αναρρόφησης.....	41
2.4.5.2. Ένα πρόγραμμα αποκατάστασης	42
3. Γεωτρητικά ρευστά	43
3.1. Γενικά.....	43
3.2. Αέρας	43

3.3. Νερό-πολφός.....	43
3.4. Αφρός.....	44
4. Μπεντονίτης.....	46
4.1. Γενικά.....	46
4.2. Χρήσεις	51
4.3. Παραγωγή μπεντονίτη στην Ελλάδα.....	51
5. Ρευστά γεωτρήσεων με συστατικό τον μπεντονίτη	51
5.1. Γενικά	52
5.2. Πρόσθετα ρευστών διάτρησης.....	53
5.3. Επιλογή του σωστού μίγματος ρευστού.....	53
5.3.1. Ο εδαφολογικός τύπος.....	53
5.3.2. Ελαχιστοποίηση ζημίας πορώδων σχηματισμών, σταθεροποίηση γεωτρήσεων.....	53
5.3.3. Ρευστά διατρήσεων βασισμένα στο νερό	54
5.3.4. Ρευστά διατρήσεων βασισμένα σε πολυμερή.....	56
5.3.4.1. Παρατηρήσεις και συμπεράσματα.....	56
5.3.5. Η σύσταση του νερού.....	57
5.4. Ρευστά διατρήσεων που ανακυκλώνονται (αναφορά από μικρότερες εγκαταστάσεις γεώτρησης HDD).....	58
5.5. Εκτιμήσεις για την ανακύκλωση ρευστού διάτρησης	59
6. Εισαγωγή – Στόχος πειραμάτων	60
6.1. Εισαγωγή.....	60
6.2. Θεωρητικό υπόβαθρο – Ρεολογία ρευστών.....	62

6.3. Ρεολογικά μοντέλα.....	63
6.3.1. Νευτώνειο μοντέλο.....	63
6.3.2. Μη νευτώνεια μοντέλα.....	63
6.4. Περιγραφή εργαστηριακού εξοπλισμού.....	64
6.4.1. Όργανα μέτρησης ιξώδους.....	64
6.4.1.1. Marsh funnel	64
6.4.1.2. Ιξωδόμετρο εργαστηρίου.....	64
6.5. Καθιερωμένη διαδικασία ελέγχου ρευστών γεώτρησης.....	66
6.6. Ρεολογικά μοντέλα για ομοαξονικό κυλινδρικό ιξωδόμετρο.....	67
6.6 1. Ιξωδόμετρο και εξίσωση ροής.....	67
6.7. Διαδικασία μετρήσεων – Επεξεργασία δεδομένων.....	68
6.7.1. Δύναμη γέλης (gel strength).....	70
6.7.2. Λειτουργία ροόμετρου.....	71
7. Πειράματα επίδρασης ηλεκτρολυτών σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith.....	74
7.1. Εισαγωγή.....	74
7.2. Μελέτη επίδρασης ηλεκτρολύτη KCl σε πολφό μπεντονίτη Zenith και Wyoming.....	75
7.2.1. Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος.....	75
7.3. Μελέτη επίδρασης ηλεκτρολύτη NaCl σε πολφό μπεντονίτη Zenith και Wyoming 2,00%, 5,00% και 6,42% κ.β.	76
7.3.1. Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος	76

7.4. Διαγράμματα επίδρασης ηλεκτρολυτών NaCl και KCl συγκέντρωσης στις ρεολογικές παραμέτρους σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith.....	77
7.5. Συγκεντρωτικά διαγράμματα επίδρασης ηλεκτρολυτών NaCl και KCl συγκέντρωσης σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith.....	99
7.6. Συγκεντρωτικοί πίνακες επίδρασης ηλεκτρολυτών NaCl και KCl σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith με συγκέντρωση	103
8. Πειράματα επίδρασης θαλασσινού νερού σε πολφό μπεντονίτη Zenith και Wyoming.....	108
8.1. Εισαγωγή.....	108
8.2. Μελέτη επίδρασης θαλασσινού νερού σε πολφούς μπεντονίτη Zenith και Wyoming	109
8.2.1.Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος	109
8.3. Διαγράμματα και πίνακες για πολφό μπεντονίτη Wyoming αναμεμιγμένο με θαλασσινό νερό	110
8.3.1.Πίνακες ρεολογικών παραμέτρων πολφού Wyoming συγκέντρωσης.....	110
8.4. Διαγράμματα για πολφό μπεντονίτη Wyoming αναμεμιγμένο με θαλασσινό νερό.....	112
8.5. Συγκριτικά διαγράμματα και πίνακες μπεντονίτη Wyoming 5 % κ.β με NaCl και μπεντονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με θαλασσινό νερό.....	113
8.6. Συγκριτικά διαγράμματα και πίνακες μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με NaCl και μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με θαλασσινό νερό.....	115

9. Πειράματα επίδρασης θαλασσινού νερού σε πολφούς προενυδατωμένου μπεντονίτη.....	119
9.1. Εισαγωγή.....	119
9.2. Μελέτη επίδρασης θαλασσινού νερού σε προενυδατωμένο πολφό μπεντονίτη Wyoming.....	120
9.2.1. Προετοιμασία δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος	120
9.3. Πίνακες και διαγράμματα πολφών Wyoming με προενυδατωμένο πολφό	122
9.4. Μελέτη διηθητικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη (μέτρηση με πρέσα χαμηλής πίεσης).....	126
10. Πειράματα επίδρασης ανάδευσης σε πολφούς μπεντονίτη.....	133
10.1. Εισαγωγή.....	133
10.2. Μελέτη επίδρασης ανάδευσης (Rolling) πολφού Zenith και Wyoming 6.42 % κ.β	134
10.2.1. Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος	134
10.3. Συγκεντρωτικοί πίνακες και διαγράμματα πολφών μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β μετά από διαδικασία ανάδευσης (Rolling).....	135
11. Πειράματα ιξωδομέτρησης με χρήση διαφορετικών στατόρων (bobs) στο ιξωδόμετρο.....	140
11.1. Εισαγωγή.....	140
12. Μετρήσεις Πεδίου.....	146
12.1. Εισαγωγή	146
12.2. Πρώτη επίσκεψη σε υδρογεώτρηση.....	146
12.2.1. Περίληψη.....	146
12.2.2. Περιγραφή εταιρείας	146

12.2.3. Υδρογεώτρηση και γεωλογικό περιβάλλον.....	147
12.2.3.1. Γεωλογικό περιβάλλον.....	147
12.2.3.2. Εργασίες υδρογεώτρησης.....	147
12.2.4. Εξοπλισμός υδρογεωτρήσεων – Μέθοδος διάνοιξης.....	149
12.3. Δεύτερη επίσκεψη σε υδρογεώτρηση	149
12.3.1. Περίληψη.....	149
12.3.2.Περιγραφή εταιρείας	150
12.3.3. Υδρογεώτρηση και γεωλογικό περιβάλλον.....	150
12.3.3.1. Γεωλογικό περιβάλλον.....	151
12.3.3.2. Εργασίες υδρογεώτρησης.....	151
12.3.4. Εξοπλισμός υδρογεωτρήσεων – Μέθοδος διάνοιξης.....	158
12.5. Εξοπλισμός εργαστηριακός – μετρήσεις.....	154
13. Συμπεράσματα – Προτάσεις	159
Παράρτημα.....	164
Βιβλιογραφία.....	246

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Πίνακας γεωτρήσεων στην Ελλάδα	4
Πίνακας 2. Η παγκόσμια παραγωγή όλων των τύπων μπεντονίτη, παραγωγή κατά χώρα.....	49
Πίνακας 3. Πωλήσεις μπεντονίτη το 2007 από τον όμιλο S&B ανά περιοχή.....	50
Πίνακας 4. Πωλήσεις μπεντονίτη το 2007 από τον Όμιλο S&B ανα χρήση.....	50
Πίνακας 5. Επιλογή ρευστού ανάλογα με τις συνθήκες της γεώτρησης.....	55
Πίνακας 6. Πίνακας υλοποιηθέντων πειραμάτων.....	60
Πίνακας 7. Εύρη μετρήσεων ιξωδομέτρου Couette	66
Πίνακας 8. Βήματα και ταχύτητες ιξωδομέτρου	69
Πίνακας 9. Επίδραση KCl σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωση 5,00 % και 6.42 %.....	103
Πίνακας 10. Επίδραση NaCl σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00%, 5,00% και 6.42 %	104
Πίνακας 11. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφού Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β με το με τη μέθοδο Κελεσίδη κ.α (2006)	110
Πίνακας 12. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφού Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β με την συμβατική μέθοδο μή γραμμικής παλινδρόμησης	110
Πίνακας 13. Πίνακας μπεντονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και θαλασσινό νερό (0.6 M).....	114
Πίνακας 14. Πίνακας μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)	115
Πίνακας 15. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming (μοντέλο Herschel-Burkley)	122

Πίνακας 16. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming (μοντέλο Sisko)	122
Πίνακας 17. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming (μοντέλο Herschel-Burkley) μετά από διόρθωση αρχικών τιμών	124
Πίνακας 18. Πίνακας όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (απιονισμένο νερό).....	127
Πίνακας 19. Πίνακας χαρακτηρισμού υμενίων	128
Πίνακας 20. Πίνακας όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (θαλασσινό νερό).....	130
Πίνακας 21. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών μπεντονίτη Zenith μετά από ανάδευση	135
Πίνακας 22. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών μπεντονίτη Wyoming μετά από ανάδευση.....	136
Πίνακας 23. Πίνακας διατμητικής τάσης και διατμητικού ρυθμού για 3 διαφορετικά δείγματα μπεντονίτη Wyoming 6.42 % με χρήση διαφορετικών στατόρων	141
Πίνακας 24. Πίνακας διατμητικής τάσης και διατμητικού ρυθμού για το ίδιο δείγμα μπεντονίτη Wyoming 6.42 % με χρήση διαφορετικών στατόρων.....	143
Πίνακας 25. Πίνακας ρεομετρικών παραμέτρων	144
Πίνακας 26. Πίνακας ρεομετρικών παραμέτρων	144
Πίνακας 27. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφού της γεώτρησης.....	155

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Σταθμοί υπόγειων υδροφορέων στην Κρήτη	8
Εικόνα 2. Γεωτρύπανο μοντέρνου τύπου πάνω σε φορητό	14
Εικόνα 3. Γεωτρύπανο Drilmaster 2000, της Driltech Mission, σχεδιασμένο για υδρογεωτρήσεις έως βάθη 1500 ft, με υδραυλική περιστρεφόμενη κεφαλή	15

Εικόνα 4. Γεωτρύπανο Acker Soil-X, σχεδιασμένο για εύκολη πρόσβαση σε περιορισμένους χώρους για γεωτεχνική έρευνα, παρακολούθηση υπογείων υδάτων και γεωτρήσεις δειγματοληψίας.....	15
Εικόνα 5. Γεωτρύπανο Water Well Drilling Rig	16
Εικόνα 6. Γεωτρύπανο IR DM45 Rock Drill	17
Εικόνα 7. Γεωτρύπανο ZD -300 drilling rig	18
Εικόνα 8. Γεωτρύπανο CMD 695D Rock Drill.....	19
Εικόνα 9. Σχηματικό διάγραμμα κρουστικού γεωτρύπανου	22
Εικόνα 10.Τυπική διάταξη περιστροφικού γεωτρύπανου κανονικής κυκλοφορίας	24
Εικόνα 11. Auger Drilling	31
Εικόνα 12. Solid-stem Augers	33
Εικόνα 13. Bucket Auger Method	34
Εικόνα 14. Υδρογεώτρηση με ‘σκληρό’ αφρό	45
Εικόνα 15. Κύριες αγορές, κατά όγκο, για όλα τα προϊόντα μπεντονίτη το 2003	48
Εικόνα 16. Προετοιμασία ρευστού.....	57
Εικόνα 17. Ιδανικές καμπύλες ρεολογικών μοντέλων.....	62
Εικόνα18. Marsh Funnel	64
Εικόνα 19. Ιξωδόμετρο Grace Instrument M3500.....	65
Εικόνα 20. Σχηματικό διάγραμμα ομοαξονικού κυλινδρικού ιξωδομέτρου, τύπου Couette.....	68
Εικόνα 21. Βασικά μέρη ροόμετρου	72
Εικόνα 22. Τυπικό διάγραμμα λογισμικού ροομέτρου (το σημείο που σταματάει η καμπύλη είναι και η τιμή της τάσης γέλης).....	73
Εικόνα 23. Ορυκτολογική ανάλυση μπεντονίτη Wyoming με την μέθοδο XRD	105

Εικόνα 24. Ορυκτολογική ανάλυση μπεντονίτη Zenith με την μέθοδο XRD	106
Εικόνα 25. Διαχωρισμένος πολφός με θαλασσινό νερό μετά από ωρίμανση 16 ωρών.	117
Εικόνα 26. Πολφός με προενυδατωμένο μπεντονίτη που αφήνεται να ωριμάσει.	121
Εικόνα 27. Κελί ανάδευσης.....	133
Εικόνα 28. Στάτορες (bobs) ιξωδομέτρου	140
Εικόνα 29.Υδρογεώτρηση σε εξέλιξη.....	148
Εικόνα 30.Υδρογεώτρηση με αφρό	148
Εικόνα 31. Αντλία πολφού μπεντονίτη.....	151
Εικόνα 32. Κοπτικά άκρα.....	152
Εικόνα 33. Δεξαμενές πολφού.....	153
Εικόνα 34. Κορυφή της γεώτρησης.....	154
Εικόνα 35. Χωνί μέτρησης ιξώδους (marsh funnel)	155
Εικόνα 36. Πυκνόμετρο (mud balance) της εταιρείας Ofite	156
Εικόνα 37.Τρίμματα γεώτρησης όπως αποθηκεύτηκαν από την εταιρεία για τη δική τους περαιτέρω στρωματογραφική μελέτη.....	156
Εικόνα 38.Τρίμματα γεώτρησης όπως αποθηκεύτηκαν από την εταιρεία για τη δική τους περαιτέρω στρωματογραφική μελέτη.....	157

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	77
Διάγραμμα 2. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	77

Διάγραμμα 3. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(<i>n</i>) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β.....	77
Διάγραμμα 4. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β	78
Διάγραμμα 5. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας <i>K</i> σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β	78
Διάγραμμα 6. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(<i>n</i>) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β.....	78
Διάγραμμα 7. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00 % κ.β	80
Διάγραμμα 8. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας <i>K</i> σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00 % κ.β.....	80
Διάγραμμα 9. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(<i>n</i>) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00 % κ.β	80
Διάγραμμα 10. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β.....	81
Διάγραμμα 11. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας <i>K</i> σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	81
Διάγραμμα 12. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(<i>n</i>) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	81
Διάγραμμα 13. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β	82
Διάγραμμα 14. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας <i>K</i> σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β.....	82
Διάγραμμα 15. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(<i>n</i>) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β.....	82

Διάγραμμα 16. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % κ.β.....	85
Διάγραμμα 17. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	85
Διάγραμμα 18. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % κ.β.....	85
Διάγραμμα 19. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 % κ.β	86
Διάγραμμα 20. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 % κ.β	86
Διάγραμμα 21. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42% κ.β	86
Διάγραμμα 22. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	88
Διάγραμμα 23. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	88
Διάγραμμα 24. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β	88
Διάγραμμα 25. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β.....	89
Διάγραμμα 26. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β.....	89
Διάγραμμα 27. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β.....	89
Διάγραμμα 28. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β	91

Διάγραμμα 29. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β	91
Διάγραμμα 30. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 %-5,00 % κ.β	91
Διάγραμμα 31. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 %-5,00 % κ.β.....	93
Διάγραμμα 32. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β.....	93
Διάγραμμα 33. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β	93
Διάγραμμα 34. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β	95
Διάγραμμα 35. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β	95
Διάγραμμα 36. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β	95
Διάγραμμα 37. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β.....	97
Διάγραμμα 38. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β	97
Διάγραμμα 39. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β	97
Διάγραμμα 40. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5.00 % και 6.42%.	99
Διάγραμμα 41. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5.00 % και 6.42%.	99

Διάγραμμα 42. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00%, 5.00 % και 6.42%.....	99
Διάγραμμα 43. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00%, 5.00 % και 6.42%.	100
Διάγραμμα 44 . Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %	100
Διάγραμμα 45. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %	100
Διάγραμμα 46. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00%, 5,00 % και 6.42 %.....	101
Διάγραμμα 47. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %, 5,00 % και 6.42 %	101
Διάγραμμα 48. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %	101
Διάγραμμα 49. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %	102
Διάγραμμα 50. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %, 5,00 % και 6.42 %.....	102
Διάγραμμα 51. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής(n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %, 5,00 % και 6.42 %.....	102
Διάγραμμα 52. Διάγραμμα επίδρασης θαλασσινού νερού στην τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε πολφό μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β.....	112
Διάγραμμα 53. Διάγραμμα επίδρασης θαλασσινού νερού στην τιμή του οδηγού συνάφειας K σε πολφό μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β	112

Διάγραμμα 54. Διάγραμμα επίδρασης θαλασσινού νερού στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε πολφό μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β	112
Διάγραμμα 55. Διάγραμμα τάσης διολίσθησης τ_y - συγκέντρωσης ηλεκτρολύτη M, μπεντονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)	114
Διάγραμμα 56. Διάγραμμα παραμέτρου οδηγού K - συγκέντρωσης ηλεκτρολύτη M, μπεντονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M).....	114
Διάγραμμα 57. Διάγραμμα οδηγού συμπεριφοράς ροής (n)- συγκέντρωσης ηλεκτρολύτη M, μπεντονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M).....	114
Διάγραμμα 58. Διάγραμμα διατμητικής τάσης τ_y - συγκέντρωσης M , μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M).....	116
Διάγραμμα 59. Διάγραμμα οδηγού συνάφειας K - συγκέντρωσης M , μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)	116
Διάγραμμα 60. Διάγραμμα οδηγού συμπεριφοράς ροής (n)- συγκέντρωσης M , μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)	116
Διάγραμμα 61. Διάγραμμα σύγκρισης πολφού με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming και προενυδατωμένου πολφού Wyoming με θαλασσινό νερό.....	125
Διάγραμμα 62. Διάγραμμα όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (απιονισμένο νερό).	128
Διάγραμμα 63. Διάγραμμα ρυθμού διήθησης dV / dt – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (απιονισμένο νερό).	129
Διάγραμμα 64. Διάγραμμα όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (θαλασσινό νερό).	131

Διάγραμμα 65. Διάγραμμα ρυθμού διήθησης dV / dt – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (θαλασσινό νερό).....	131
Διάγραμμα 66. Διάγραμμα απώλειας m_l – συγκέντρωσης κ.β μπεντονίτη για προενυδατωμένους πολφούς μπεντονίτη Wyoming μετά από αραίωση με θαλασσινό και απιονισμένο νερό.....	132
Διάγραμμα 67. Διάγραμμα τάσης διολίσθησης τ_y -χρόνου, μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.....	137
Διάγραμμα 68. Διάγραμμα οδηγού συνάφειας K - χρόνου, μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.....	137
Διάγραμμα 69. Διάγραμμα οδηγού συμπεριφοράς ροής (n)- χρόνου, μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση.....	137
Διάγραμμα 70. Διάγραμμα τάσης διολίσθησης τ_y -χρόνου, μπεντονίτη Zenith 6,42 % κ.β	138
Διάγραμμα 71. Διάγραμμα οδηγού συνάφειας K - χρόνου, μπεντονίτη Zenith 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση	138
Διάγραμμα 72. Διάγραμμα στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) - χρόνου, μπεντονίτη Zenith 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση	138
Διάγραμμα 73. Διάγραμμα διατμητικής τάσης διατμητικού ρυθμού με χρήση διαφορετικών στατόρων σε τρία διαφορετικά δείγματα όμοια φτιαγμένα.	142
Διάγραμμα 74. Διάγραμμα διατμητικής τάσης διατμητικού ρυθμού με χρήση διαφορετικών στατόρων στο ίδιο δείγμα	143

Πρόλογος

Το νερό που χρειάζεται ο άνθρωπος σήμερα για να ικανοποιήσει τις βασικές και καθημερινές του ανάγκες, αυξάνει συνεχώς όχι μόνο λόγω της βελτίωσης του βιοτικού του επιπέδου και της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της γης, αλλά και εξαιτίας της οικονομικής και βιομηχανικής ανάπτυξης ιδιαίτερα στον δυτικό κόσμο. Από την άλλη μεριά, πολλές περιοχές ακόμη και σήμερα μαστίζονται από τη ξηρασία και την έλλειψη νερού και άνθρωποι πεθαίνουν γιατί δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές που θα τους εξασφαλίσουν αυτό το αγαθό.

Ακόμη η εντατικοποίηση της γεωργίας, που είναι φυσική και ζωτική συνέπεια της αύξησης του πληθυσμού, απαιτεί όλο και μεγαλύτερες ποσότητες νερού άρδευσης, καλής σχετικά ποιότητας, που δεν μπορούν να εξασφαλισθούν μόνο από τους επιφανειακούς πόρους, ιδιαίτερα σε μερικές μη ευνοημένες από τη φύση χώρες ή περιοχές. Δεν είναι τυχαίο που πολλοί υποστηρίζουν ότι ο επόμενος μεγάλος πόλεμος θα γίνει για το νερό και για το ποιος θα το διαχειρίζεται.

Έτσι η ανάγκη για την εξέλιξη της τεχνολογίας και των τεχνικών που θα μας εξασφαλίσουν το νερό τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα φαίνεται επιτακτική όσο ποτέ, τόσο που οδηγεί και σε εσφαλμένες τακτικές που έχουν σαν αποτέλεσμα τα αποθέματα σε υπόγειο νερό που είναι και η κύρια πηγή ύδρευσης και άρδευσης να αντλούνται όχι πάντα με ορθολογικό τρόπο ενώ κινδυνεύουν πολλές φορές ακόμη και να μολυνθούν.

Αν σε όλα αυτά προστεθεί η ελάττωση των βροχοπτώσεων τα τελευταία χρόνια και οι συνεχείς δραματικές κλιματολογικές αλλαγές που συμβαίνουν ανά τον πλανήτη, γίνεται κατανοητό γιατί η αναζήτηση όλο και περισσότερου καλής ποιότητας νερού ύδρευσης και άρδευσης με όλο και πιο βαθιές γεωτρήσεις, είναι πολύ συνηθισμένο πια φαινόμενο.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μια προσπάθεια να περιγραφούν κάποιες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα στην αναζήτηση για την απόκτηση του νερού καθώς και τον εξοπλισμό που αυτές περιλαμβάνουν.

Καθώς οι βαθιές γεωτρήσεις είναι πιο περίπλοκες τις περισσότερες φορές υπάρχει απαίτηση για την χρήση υγρών ρευστών γεώτρησης. Κατά κανόνα για να μειωθεί το κόστος της υδρογεώτρησης γίνεται χρήση μπεντονίτη. Επιπρόσθετα, πολλές φορές μπορεί να χρησιμοποιηθεί θαλασσινό νερό και αυτός είναι ο λόγος που μελετάται η χρήση

ηλεκτρολυτών και θαλασσινού νερού.

Επίσης παρουσιάζονται πιο εξειδικευμένα τα ρευστά των γεωτρήσεων και ειδικά αυτά που βασίζονται στον μπεντονίτη καθώς και μια σειρά πειραματικών διαδικασιών που έγιναν ώστε να μελετηθεί η επίδραση εξωγενών παραγόντων στους πολφούς αυτούς.

Τέλος για να ολοκληρωθεί οι εικόνα, γίνεται μια προσπάθεια να συνδυαστεί το πειραματικό με το θεωρητικό μέρος με μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικές γεωτρήσεις.

1.Υδρογεωτρήσεις

1.1. Γενικά

Ο κύριος στόχος κατά τον σχεδιασμό της υδρογεώτρησης είναι η κατασκευή μίας γεώτρησης σταθερής που θα διαρκέσει πολλά χρόνια και θα παρέχει αρκετό χώρο για την εγκατάσταση αντλιών ή άλλων εξαρτημάτων, που επιτρέπει την ομαλή ροή νερού από το υπέδαφος στην επιφάνεια, χωρίς στερεά να αιωρούνται, με την κατάλληλη παροχή και ποιότητα νερού και την αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών και την καταστροφή των υλικών με το χρόνο.

1.1.1. Στην Ελλάδα

Το υπόγειο υδατικό της χώρας, είναι αποθηκευμένο σε υδροπερατούς γεωλογικούς σχηματισμούς και για την αξιοποίηση τους σχεδόν πάντοτε απαιτείται κατασκευή υδροληπτικών έργων (φρέατα, υδρογεωτρήσεις, έργα υδρομάστευσης πηγών κ.λ.π.).

Το μεγαλύτερο από αυτά είναι της πεδιάδας της Θεσσαλίας και περιλαμβάνει περίπου 1500 παραγωγικές γεωτρήσεις. Εκτιμάται ότι συνολικά στην χώρα λειτουργούν περίπου 198.000 παραγωγικές γεωτρήσεις, κατανεμημένες ανά νομό όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

	Νομός	Γεωτρήσεις και φρέατα	Παρατηρήσεις
1	Αιτωλοακαρνανίας	1700	Τα 200 είναι φρέατα
2	Αργολίδας	7000	
3	Αρκαδίας	5200	
4	Άρτας	5500	
5	Αττικής	12000	
6	Αχαΐας	3000	
7	Βόλος	7500	
8	Γρεβενών	300	
9	Δράμας	1300	
10	Δωδεκανήσου	1400	Τα 400 είναι φρέατα
11	Έβρου	3000	
12	Ευβοίας	1800	Τα 300 είναι φρέατα
13	Ευρυτανίας	50	
14	Ζακύνθου	700	Τα 500 είναι φρέατα
15	Ηλείας	10000	
16	Ημαθίας	1000	Τα 2000 είναι φρέατα
17	Ηρακλείου	5000	
18	Θεσπρωτίας	200	
19	Θεσσαλονίκης	7000	
20	Ιωαννίνων	920	Τα 700 είναι φρέατα
21	Καβάλας	3000	
22	Καρδίτσας	7000	
23	Καστοριάς	2000	Τα 2000 είναι φρέατα
24	Κερκύρας	3500	
25	Κεφαλληνίας	1500	
26	Κιλκίς	860	Τα 1000 είναι φρέατα
27	Κοζάνης	1000	
28	Κορινθίας	10000	

29	Κυκλάδων	5000	Τα 3000 είναι φρέατα
30	Λακωνίας	6500	
31	Λάρισας	13000	
32	Λασιθίου	1500	Τα 750 είναι φρέατα
33	Λέσβου	6000	Τα 3500 είναι φρέατα
34	Λευκάδας	150	Τα 70 είναι φρέατα
35	Μαγνησσίας	4000	
36	Μεσσηνίας	10000	Τα 5000 είναι φρέατα
37	Ξάνθης	6000	
38	Πέλλας	1000	
39	Πιερίας	5000	
40	Πρέβεζας	1600	
41	Ρεθύμνης	1350	Τα 1000 είναι φρέατα
42	Ροδόπης	5500	
43	Σάμου	2750	Τα 1500 είναι φρέατα
44	Σερρών	1000	
45	Τρικάλων	6000	
46	Φθιώτιδας	7000	
47	Φλώρινας	3000	
48	Φωκίδας	260	
49	Χαλκιδικής	6000	
50	Χανίων	500	Τα 100 είναι φρέατα
51	Χίου	1600	Τα 1500 είναι φρέατα
	ΣΥΝΟΛΟ	198140	23720

Πίνακας 1. Πίνακας γεωτρήσεων στην Ελλάδα (Μιχαλάκης, 2005)

Η πολυπλοκότητα της γεωλογικής δομής και οι έντονες τεκτονικές διαταραχές που συνέβησαν στον χώρο της Ελλάδας σε γεωλογικό χρόνο έχουν συντελέσει σε μια

ποικιλόμορφη γεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών, που εκφράζεται με μεγάλο αριθμό υδρογεωλογικών λεκανών συγκριτικά με την έκταση της και υδρογεωλογικές συνθήκες που αλλάζουν σημαντικά στον γεωγραφικό χώρο.

Οι κύριοι υπόγειοι υδροφορείς αναπτύσσονται: α) σε προσχωματικές αποθέσεις του τεταρτογενούς μέσα σε στρώματα άμμων, χαλίκων, και κροκάλων, ασύνδετων μεταξύ τους ή με ελαφρά διαγέννεση και β) σε ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, μάρμαρα) που έχουν υποστεί έντονη καρστικοποίηση από την διακίνηση του νερού στις ρωγμές που δημιουργήσε ο τεκτονισμός κατά τον γεωλογικό χρόνο.

Οι υπόγειοι υδροφορείς που αναπτύσσονται σε προσχωματικές λεκάνες, έχουν αξιοποιηθεί σχετικά νωρίτερα λόγω των τεχνολογικών συνθηκών, που επέτρεπαν ευκολότερες διεργασίες ανόρυξης φρεάτων και γεωτρήσεων σε χαλαρούς σχηματισμούς. Γενικά, υπάρχει σχεδόν πλήρης αξιοποίηση των εκμεταλλεύσιμων υδατικών αποθεμάτων αυτών των ζωνών, με ελάχιστες εξαιρέσεις, και παρατηρούνται πλέον προβλήματα ελλειμματικότητας των υδατικών ισοζυγίων σε αρκετές περιοχές που δεν επικράτησαν αρχές ορθολογικής διαχείρισης.

Αποτέλεσμα της αξιοποίησης των υπογείων νερών είναι η εξάντληση του φρεατίου ορίζοντα των περισσότερων περιοχών και ο επηρεασμός στην συνέχεια των ανώτερων υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων. Αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων είναι και η εμφάνιση μετώπων υφαλμύρινσης, σε διάφορες παράκτιες περιοχές της χώρας.

Οι υπόγειοι υδροφορείς που αναπτύσσονται σε καρστικές λεκάνες έχουν αρχίσει να αξιοποιούνται τα τελευταία 35 χρόνια και φαίνεται ότι έχουν περιθώρια περαιτέρω εκμετάλλευσης. Οι γενικότερες όμως, γεωλογικές συνθήκες και η άμεση σύνδεση αυτών των σχηματισμών αυτών με καρστικές πηγές αποτελούν αιτία προβληματισμού περιβαλλοντικής διάστασης για την διαφύλαξη των οικοσυστημάτων που βρίσκονται σε εξάρτηση από αυτές.

1.1.2. Στην Κρήτη

Σύμφωνα με απογραφή και αρχειοθέτηση των γεωτρητικών δεδομένων του νησιού έχουν καταγραφεί από την Περιφέρεια Κρήτης για το 1999 συνολικά 2413 γεωτρήσεις και συγκεκριμένα:

- 359 στο Ν. Χανίων
- 362 στο Ν. Ρεθύμνου

- 1298 στο Ν. Ηρακλείου, και
- 394 στο Ν. Λασιθίου

Όσον αφορά την χρήση του νερού έρευνα έχει δείξει ότι οι τομείς που διανέμονται τα υδάτινα αποθέματα είναι :

1. Η ύδρευση
2. Το περιβάλλον
3. Η βιομηχανική χρήση (λόγω της πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας του νερού ανά μονάδα όγκου)
4. Η κτηνοτροφία (λόγω των γενικά μικρών ποσοτήτων νερού που απαιτούνται και της γενικής σημασίας της συγκεκριμένης χρήσης σε οικονομικό, κοινωνικό και πολιτικό επίπεδο)

Επίσης σε δεύτερο επίπεδο απαιτούνται αποθέματα για την άρδευση του νησιού. (Περιφέρεια Κρήτης, 2008)

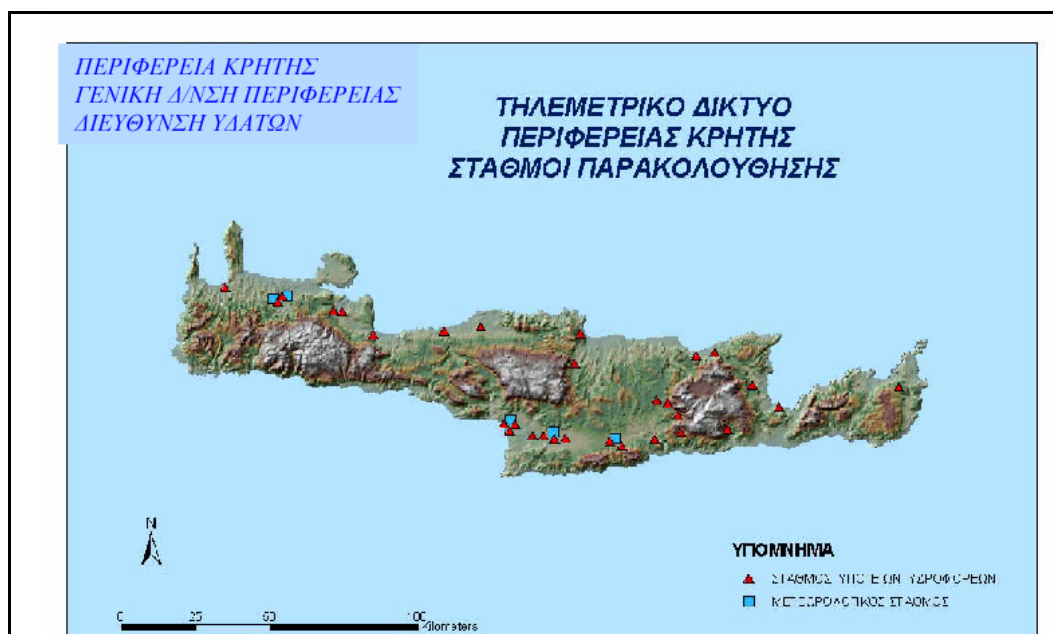
1.1.3. Κόστος νερού

Έρευνα έχει γίνει από την Περιφέρεια Κρήτης για το 1999 και για την καταγραφή του κόστους του νερού τόσο για την άρδευση όσο και για την ύδρευση. Ως προς την άρδευση διαπιστώθηκαν μεγάλες διαφορές στη μέση χρέωση ανάμεσα στις διαφορετικές περιοχές, γεγονός που προξενεί σημαντικές επιπτώσεις στην διαμόρφωση των συνθηκών της αγροτικής παραγωγής καθώς επηρεάζει άμεσα τον ανταγωνισμό. Η ανατολική Κρήτη έχει ένα αυξημένο κόστος νερού περί τις 10 δρχ/m³ (0,03 €/ m³) σε σχέση με την δυτική Κρήτη.

Ακόμη η συνολική υφιστάμενη «επιθυμητή» ζήτηση διαμορφώνεται στα 535,7 εκατ. κυβ. μέτρα το χρόνο, εκ των οποίων 458,4 εκατ. αφορούν την άρδευση και 77,3 αφορούν την ύδρευση και τις άλλες χρήσεις (βιομηχανική, κτηνοτροφία, κλπ.).

Συνολικά, διατίθενται 302 εκατ.κυβ. μέτρα στην άρδευση (ποσοστό κάλυψης της επιθυμητής ζήτησης 65,9%) και 69,75 εκατ. κυβ. στην ύδρευση και τις λοιπές χρήσεις (ποσοστό κάλυψης 90,2%). Το έλλειμμα (από το επιθυμητό επίπεδο πάντα) ανέρχεται στα 156,3 εκατ. κυβ.

μέτρα. Το έλλειμμα της ύδρευσης (7,59 εκατ. κυβ.) αντιπροσωπεύει κυρίως τα προβλήματα της υδροδότησης των πόλεων Ηρακλείου και Ρεθύμνου. (Περιφέρεια Κρήτης, 2008)



Εικόνα 1. Σταθμοί υπόγειων υδροφορέων στην Κρήτη (Περιφέρεια Κρήτης, 2008)

1.1.4. Φορείς αρμόδιοι για τις υδρογεωτρήσεις

Αρχές αρμόδιες κατά κατηγορία χρήσης των υδατικών πόρων είναι:

1. Το Υπουργείο Γεωργίας για την αγροτική χρήση (άρδευση, κτηνοτροφία, ιχθυοκαλλιέργεια, αγροτοβιομηχανία).
2. Το Υπουργείο Εσωτερικών για την ύδρευση εκτός από την ύδρευση Αθηνών και Θεσσαλονίκης, που ανήκει και στην αρμοδιότητα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων.
3. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων για την χρήση με σκοπό την προστασία και την διατήρηση του υδατικού οικοσυστήματος καθώς και την επίτευξη των καθορισμένων ποιοτικών στόχων.
4. Το Υπουργείο Ανάπτυξης για την βιομηχανική και ενεργειακή χρήση, ανεξάρτητα από την αρμοδιότητα του για τους φυσικούς πόρους.

5. Το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών για την χρήση των υδάτων στις μεταφορές.
6. Το Υπουργείο Πολιτισμού για τις αθλητικές χρήσεις.
7. Ο Εθνικός Οργανισμός Τουρισμού για ιαματικές και χρήσεις αναψυχής.
8. Η αρμοδιότητα για κάθε άλλη χρήση ασκείται από το Υπουργείο Ανάπτυξης.
9. Στις παραπάνω αρχές περιλαμβάνονται όλες οι νομαρχιακού και περιφερειακού επιπέδου υπηρεσίες τους.

Φορείς αρμόδιοι για την εκπόνηση και εκτέλεση προγραμμάτων έρευνας των υδατικών πόρων ή για την συμμετοχή σε αυτά είναι τα Υπουργεία Εσωτερικών, Υγείας Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, Γεωργίας, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Ανάπτυξης, καθώς και Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και το Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών. Φορείς εκτέλεσης προγραμμάτων έρευνας ή συμμετοχής είναι επίσης τα Α.Ε.Ι., και τα ερευνητικά κέντρα ή ινστιτούτα.

Για την Κρήτη οι δημόσιοι φορείς οι οποίοι είναι αρμόδιοι για τις υδρογεωτρήσεις δίδονται στην συνέχεια:

- Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων. Διεύθυνση Ε. Β. & Υ. Πόρων Νεροκούρου 29. Τ. Κ. 73100, Χανιά.
- Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Χανίων. Διεύθυνση Βιομηχανίας & Ορυκτού πλούτου. Κελαϊδή 69. Τ. Κ. 73100, Χανιά.
- Περιφέρεια Κρήτης. Διεύθυνση Τ. Α. και Διοίκησης Ν. Χανίων. Τμήμα Τ. Υ. Δ. Κ. Πλατεία Ελευθερίας 1. Τ. Κ. 73100, Χανιά. Ελληνικό Οργανισμό Τουρισμού. Ξανθουδίδου 1. Τ. Κ. 71201. Ηράκλειο.
- Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Ρεθύμνου. Διεύθυνση Γεωργίας. Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων. Κόμβος Μυσιρίων . Τ. Κ. 74100. Ρέθυμνο.
- Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Ρεθύμνου. Τμήμα Μεταποίησης & Βιομηχανίας. Πλατεία Ηρώων Πολυτεχνείου. Τ. Κ. 74100. Ρέθυμνο.

- Περιφέρεια Κρήτης. Διεύθυνση Τοπικής Αυτοδιοίκησης Ρεθύμνου. Τμήμα Τ. Υ. Δ. Κ. Χορτάτζη 20. Τ. Κ. 74100. Ρέθυμνο.
- Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Ηρακλείου. Διεύθυνση Ε. Β. & Υ. Π. Ελευθέρνης 2. Τ. Κ. 71303. Ηράκλειο.
- Περιφέρεια Κρήτης. Διεύθυνση Τοπικής Αυτοδιοίκησης και Αποκ/σης Ηρακλείου. Τμήμα Τ. Υ. Δ. Κ. Αλμυρού 14. Τ. Κ. 71202. Ηράκλειο.
- Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Ηρακλείου. Διεύθυνση Βιομηχανίας & Βιοτεχνίας. Ζωγράφου 5. Τ. Κ. 71201. Ηράκλειο.
- Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λασιθίου. Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης Λασιθίου. Τμήμα Εγγείων Βελτιώσεων. Διοικητήριο. Τ. Κ. 72100. Αγ. Νικόλαος.
- Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λασιθίου. Τμήμα Βιομηχανίας. Διοικητήριο. Τ. Κ. 72100. Αγ. Νικόλαος.
- Περιφέρεια Κρήτης. Διεύθυνση Τοπικής Αυτοδιοίκησης Λασιθίου. Τμήμα Τ. Υ. Δ. Κ. Ρούσσου Καπετανάκη 8. Τ. Κ. 72100. Αγ. Νικόλαος.

1.1.4. Φορείς έρευνας και καταγραφής δεδομένων

Αρμόδια για την διαχείριση των υδάτων στην χώρα μας είναι η Εθνική Επιτροπή Υδάτων, η οποία χαράσσει την πολιτική για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, παρακολουθεί και ελέγχει την εφαρμογή της και εγκρίνει, μετά από εισήγηση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και γνώμη του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας.

Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων αποτελείται από:

- α) τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, ως Πρόεδρο,
- β) τον Υπουργό Οικονομίας και Οικονομικών,

γ) τον Υπουργό Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Α-ποκέντρωσης,

δ) τον Υπουργό Ανάπτυξης,

ε) τον Υπουργό Υγείας και Πρόνοιας,

στ) τον Υπουργό Γεωργίας.

Στην Επιτροπή συμμετέχουν, ύστερα από πρόσκληση του Προέδρου, και άλλοι Υπουργοί εφόσον συζητούνται θέματα αρμοδιότητάς τους. Στην Επιτροπή μετέχει και ο Υπουργός Εξωτερικών, όταν συζητούνται θέματα που αφορούν διακρατικά ύδατα.

Τα μέλη της Επιτροπής αναπληρώνονται από τους Γενικούς Γραμματείς των αντίστοιχων Υπουργείων.

Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων μπορεί να συνιστά Γνωμοδοτικές - Επιστημονικές Επιτροπές για τη στήριξη του έργου της.

Ακόμη έχει συσταθεί Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων με Πρόεδρο τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων ενώ στο μετέχουν επίσης:

1. η Ένωση Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων Ελλάδος (Ε.Ν.Α.Ε.),
2. η Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Ελλάδος (Κ.Ε.Δ.Κ.Ε.),
3. η Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Α-ποχέτευσης,
4. οι εταιρείες ύδρευσης και αποχέτευσης που δεν εκ-προσωπούνται από την Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης,
5. η Πανελλήνια Συνομοσπονδία Ένωσης Γεωργικών Συνεταιρισμών (ΠΑ.Σ. Ε. ΓΕ.Σ.),
6. ο Σύνδεσμος Ελληνικών Βιομηχανιών (Σ.Ε.Β.),
7. η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.),
8. η Γενική Συνομοσπονδία Εργατών Ελλάδος (Γ.Σ.Ε.Ε.),
9. το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.),
10. το Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος,
11. το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.),
12. το Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (Ε.Κ.Θ.Ε.),
13. το Εθνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.),
14. το Εθνικό Κέντρο Φυσικών Επιστημών (Ε.ΚΕ.Φ.Ε. Δημόκριτος),
15. το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανά-πτυξης (Ε.Κ.Π.Α.Α.),
16. το Ινστιτούτο Καταναλωτών (ΙΝ.ΚΑ.),
17. το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών και Γεωργικών Ερευνών (ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε.),
18. ο Πρόεδρος της Εθνικής Επιτροπής για την καταπολέ-μηση της Απερήμωσης.

(Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, 2008)

1.1.5. Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ).

Η εκτίμηση, πρόβλεψη, σχεδιασμός και διαχείριση των υδατικών πόρων είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης. Σε αυτό το πλαίσιο, η προστασία, ορθολογική διαχείριση και αξιοποίηση των υδατικών πόρων, αποτελούν κομβικά σημεία πολιτικής στρατηγικού σχεδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Μια πολύ σημαντική (ίσως η σημαντικότερη μέχρι τώρα) επιτυχημένη προσπάθεια στον τομέα αυτό έγινε τα τέσσερα τελευταία χρόνια από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο που για λογαριασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ εκπόνησε την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας, η οποία διαμορφώνει σε επίπεδο χώρας την απαραίτητη υποδομή για την εκτίμηση, αξιοποίηση και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της χώρας. Η ΕΤΥΜΠ χρηματοδοτήθηκε κατά 85% από το Ταμείο Συνοχής και κατά 15% από το ΥΠΕΧΩΔΕ.

Οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της ΕΤΥΜΠ αποτέλεσαν το βασικό εργαλείο εκτίμησης, επεξεργασίας και συνολικής αξιολόγησης των κλιματικών και υδρολογικών μεταβλητών που μετρώνται στην Ελλάδα. Τα τελικά προϊόντα της επεξεργασίας των στοιχείων των μεταβλητών παρατίθενται σε μορφή πινάκων, διαγραμμάτων και χαρτών, συνολικά για την Ελλάδα, ανά Υδατικό Διαμέρισμα, ανά Περιφέρεια και ανά Νομό. (Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας, 2008)

1.1.6. Νομοθεσία

Υπάρχουν νομοθετικές ρυθμίσεις οι οποίες είναι περιοριστικές (έως και απαγορευτικές) για την επιλογή της θέσης διάτρησης και για την εκτέλεση υδρογεωτρήσεων .

Υπάρχουν προδιαγραφές που απαιτούνται για την χορήγηση αδειών εκτέλεσης έργων και περιβαλλοντικοί περιορισμοί για την διαχείριση-αξιοποίηση υδατικών πόρων.

Νομοθετικά η διεξαγωγή υδρογεωτρήσεων υπάγεται στο Νόμο υπ' αριθμ. 3199/2003. "Διαχείριση υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις". Προδιαγραφές που ορίζουν, τελείως όμως επιγραμματικά, τις διαδικασίες για την κατασκευή υδρογεωτρήσεων στην Ελλάδα παρέχονται στο προσχέδιο του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων "Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές" ΠΕΤΕΠ 08-09-01-00. Τόσο το νομοσχέδιο όσο και οι τεχνικές προδιαγραφές παρατίθενται στο παράρτημα.

1.2. Τα στάδια κατασκευής μίας υδρογεώτρησης

Τα στάδια κατασκευής μιας υδρογεώτρησης είναι παρόμοια με τα στάδια για γεωτρήσεις υδρογονανθράκων και περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Προσδιορισμό της θέσης της γεώτρησης.
2. Διάτρηση με το κατάλληλο γεωτρήπανο και κοπτικό άκρο στο κατάλληλο βάθος.
3. Τοποθέτηση επένδυσης, είτε από πλαστικό σωλήνα PVC (όχι στην Ελλάδα) είτε από χαλύβδινο σωλήνα με σχισμές (φιλτροσωλήνες) που μπορεί να περιβάλλεται με πλέγμα (screen) για την διατήρηση της γεώτρησης ανοιχτής και για να επιτραπεί η είσοδος νερού στην επένδυση.
4. Τοποθέτηση τεχνητού φίλτρου για φιλτράρισμα στερεών από τη γεώτρηση, που είναι συνήθως χοντρόκοκκη άμμος ή ψιλό χαλίκι (2 – 6 mm σε διάμετρο) που τοποθετείται ανάμεσα στα τοιχώματα της γεώτρησης και της επένδυσης – πλέγμα.
5. Τοποθέτηση τσιμέντου στο δακτύλιο για την κατακράτηση μολυσμένου νερού έξω από την γεώτρηση.
6. Ανάπτυξη της γεώτρησης για την απομάκρυνση του υμενίου και της θολερότητας από το νερό.
7. Κατασκευή τσιμεντένιας βάσης γύρω από την γεώτρηση για να διατηρείται καθαρή η περιοχή γύρω από την γεώτρηση.
8. Τοποθέτηση αντλίας.
9. Απολύμανση της γεώτρησης για την καταστροφή τυχόν βακτηρίων που πιθανόν να είχαν αναπτυχθεί κατά την γεώτρηση. (Κελεσίδης, 2007)

1.3. Μέρη υδρογεώτρησης

Τα βασικά τμήματα μίας υδρογεώτρησης στην πλήρη ανάπτυξή της είναι: μία λεκάνη αποστράγγισης (Bottom sump), φιλτροσωλήνες με κατάλληλα ανοίγματα - σχισμές ή και με πλέγματα (screens) και επένδυση (σωλήνα) που περιβάλλεται με χαλίκι καθώς και κατάλληλες διατάξεις στην επιφάνεια για μόνωση και προστασία του υπεδάφους. Η επένδυση με σχισμές μπορεί να περιβάλλεται και με πλέγμα διαφόρων τύπων για καλύτερο φιλτράρισμα του παραγόμενου νερού. (Κελεσίδης, 2007)

1.4. Εξοπλισμός

1.4.1. Γεωτρύπανα

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται σήμερα για υδρογεωτρήσεις μπορεί να είναι από πολύ απλές έως πολυσύνθετα γεωτρύπανα που μπορεί να χρησιμοποιούνται επίσης και σε γεωτρήσεις για γεωτεχνικά έργα. Τα συστήματα του γεωτρύπανου, το σύστημα παροχής ισχύος, το σύστημα κυκλοφορίας πολφού και το σύστημα ανεβοκατεβάσματος της στήλης δεν διαφέρουν καθόλου από τα συστήματα των περιστροφικών γεωτρήσεων για ανεύρεση και εξόρυξη υδρογονανθράκων.

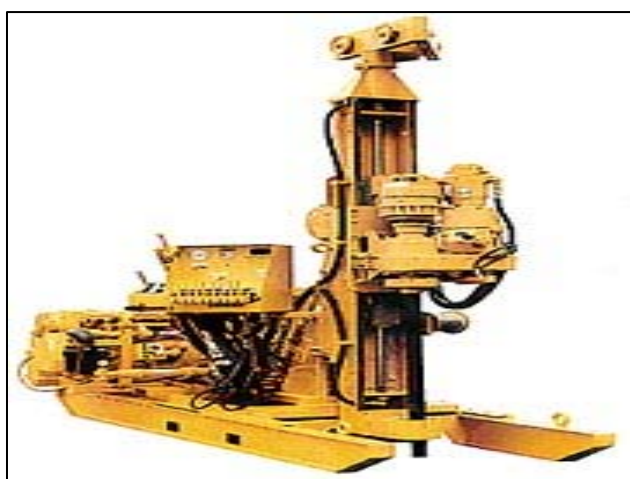
Τα περιστροφικά γεωτρύπανα που χρησιμοποιούνται στις υδρογεωτρήσεις είναι διαφόρων τύπων, σχεδιασμένα είτε να μεταφέρονται σε φορητό είτε σε πλατφόρμες. Λειτουργούν με κινητήρα που παρέχει την ισχύ σε διάφορα εξαρτήματα είτε υδραυλικά είτε μηχανικά. Πολλά εκ των χρησιμοποιούμενων γεωτρυπάνων χρησιμοποιούν είτε μηχανικό είτε υδραυλικό τρόπο περιστροφής. Στα παρακάτω σχήματα (Εικόνα 2, Εικόνα 3, Εικόνα 4) παρουσιάζονται μερικοί τύποι διαθέσιμων υδρογεωτρυπάνων. (Κελεσίδης, 2007)



Εικόνα 2. Γεωτρύπανο μοντέρνου τύπου πάνω σε φορητό (Κελεσίδης, 2007)



Εικόνα 3. Γεωτρύπανο Drilmaster 2000, της Driltech Mission, σχεδιασμένο για υδρογεωτρήσεις έως βάθη 1500 ft, με υδραυλική περιστρεφόμενη κεφαλή (Κελεσίδης, 2007)



Εικόνα 4. Γεωτρύπανο Acker Soil-X, σχεδιασμένο για εύκολη πρόσβαση σε περιορισμένους χώρους για γεωτεχνική έρευνα, παρακολούθηση υπογείων υδάτων και γεωτρήσεις δειγματοληψίας. (Κελεσίδης, 2007)

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται ακόμη ενδεικτικά κάποια μοντέλα γεωτρυπανων που χρησιμοποιούνται στις υδρογεωτρήσεις. Αναφέρονται τα ειδικά τεχνικά χαρακτηριστικά τους και παρατίθενται φωτογραφίες τους (Εικόνα 5, Εικόνα 6, Εικόνα 7, Εικόνα 8) όπως αυτά δίνονται από τις συγκεκριμένες εταιρείες στο διαδύκτιο.



Εικόνα 5. Γεωτρύπανο Water Well Drilling Rig (Shanghai Vostosun Industrial Co, 2008)

Γενικά χαρακτηριστικά:

Τόπος προέλευσης: Κίνα

Εταιρεία : Shanghai Vostosun Industrial Co

Μοντέλο : Water Well Drilling Rig (SPS-600A)

Χρήση : υδρογεωτρήσεις

Τεχνικά χαρακτηριστικά :

Βάθος γεώτρησης : 600 m

Διάμετρος γεώτρησης : 500 mm

Ροπή στρέψης : 12.4 kN.m

Ταχύτητα : 45, 79, 133 rpm

Κύρια ικανότητα ανύψωσης : 40 kN

Δευτερεύουσα ικανότητα ανύψωσης : 40 Kn

Βάρος πύργου διάτρησης : 320 kN

Ύψος πύργου : 18 m

Δύναμη διάτρησης : 58.5 kW

Εξοπλισμός:

Ενεργά διατρητικά στελέχη : 125



Εικόνα 6. Γεωτρύπανο IR DM45 Rock Drill (Errickson Equipment Co, 2008)

Γενικά χαρακτηριστικά:

Εταιρεία :Errickson Equipment Co

Χώρα : ΗΠΑ

Μοντέλο : IR DM45 Rock Drill

Χρόνος κατασκευής :1982

Τεχνικά χαρακτηριστικά :

Διπλές μηχανές

Μηχανή diesel

Ροπή :12,000 ft. lbs

Αξονική κεφαλή

Εξοπλισμός:

Αντιολισθητική αλυσίδα



Εικόνα 7. Γεωτρύπανο ZD -300 drilling rig (Shandong Fortune Group Corporation, 2008)

Γενικά χαρακτηριστικά:

Εταιρεία: Shandong Fortune Group Corporation

Χώρα προέλευσης: Κίνα

Μοντέλο : ZD -300 drilling rig

Χρήση : γεωλογική έρευνα , οικοδομικές εφαρμογές και υδρογεωτρήσεις

Τεχνικά χαρακτηριστικά :

Διάμετρος ανοίγματος : 500-600-1500 mm

Βάθος γεώτρησης: 200 -300 - 50 m

Ταχύτητα παραγωγής κεφαλής: Forward: 20,33,73 r/min Reverse: 13,23,47 r/min

Μέγιστη ροπή κεφαλής: 11.5 kN·m

Μέγιστη ικανότητα ανύψωσης κεφαλής: 100 kW

Κινητήρας: 30 kW



Εικόνα 8. Γεωτρύπανο CMD 695D Rock Drill (Πηγή: Errickson Equipment Co)

Γενικά χαρακτηριστικά:

Εταιρεία :Errickson Equipment Co

Χώρα : ΗΠΑ

Μοντέλο : CMD 695D Rock Drill

Χρόνος κατασκευής :1997

Τεχνικά χαρακτηριστικά :

Υδραυλική αντιστοίχητική αλυσίδα

Σφυρί DTH

Διπλή μηχανή

Υδραυλική κεφαλή

Δείκτης γωνίας

Ωρες μηχανής 10,543 h

Ωρες διάτρησης 5,973 h

1.4.2. Κοπτικά άκρα

Υπάρχουν πολλά είδη κοπτικών άκρων που χρησιμοποιούνται στις υδρογεωτρήσεις και είναι παρόμοια με τα κοπτικά άκρα που χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις υδρογονανθράκων. Το είδος του κοπτικού που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το πέτρωμα και κατ' επέκταση από την τεχνική γεώτρησης που θα επιλεγεί

Τα κοπτικά άκρα των υδρογεωτρήσεων διατίθενται από πλήθος εταιριών σε ποικίλες μορφές και διαστάσεις, ταξινομούνται δε σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα κοπτικά με περιστρεφόμενους κώνους (tri-cone) και η ονομασία τους προήλθε από τους τρεις κώνους που διαθέτουν, οι οποίοι περιστρέφονται και θραύουν το πέτρωμα. Διακρίνονται στους εξής τύπους:

- οδοντωτά χαλύβδινα (milled steel tooth)
- ένθετα καρβίδια βολφραμίου (TCI) ή 'κουμπωτά' κοπτικά

Τα κουμπωτά κοπτικά άκρα κατασκευάζονται από καρβίδια για την βέλτιστη απόδοση διάτρησης και την ελαχιστοποίηση της φθοράς και θραύσης τους. Η κατάλληλη επιλογή του μεγέθους και του βαθμού ενθέτων συνεισφέρει τα μέγιστα στην απομάκρυνση θραυσμάτων και στον ρυθμό διάτρησης

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα κοπτικά άκρα τριβής όπου τα δόντια είναι ενιαία με το σώμα του κοπτικού και περιστρέφονται με την περιστροφή του κοπτικού άκρου. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται είναι:

- χάλυβας
- φυσικά διαμάντια
- πολυκρυσταλλικά διαμάντια (PDC)

Σημαντικές παράμετροι για την επιλογή κοπτικού άκρου κατά την πραγματοποίηση των υδρογεωτρήσεων αποτελούν το είδος και η σκληρότητα των σχηματισμών που θα συναντήσει το γεωτρύπανο. Σήμερα τα περισσότερα κοπτικά άκρα που κατασκευάζονται δίνουν την δυνατότητα χρησιμοποίησής τους σε πολλά είδη πετρωμάτων. Τα περιστροφικά κωνικά κοπτικά άκρα με χαλύβδινα δόντια χρησιμοποιούνται σε:

- Μικρής σκληρότητας σχηματισμούς

Για την πραγματοποίηση υδρογεωτρήσεων σε σχηματισμούς μικρής σκληρότητας, όπως ψαμμίτες και αργίλους, κρίνεται σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν κοπτικά που αποτελούνται από ευρέως διαχωρισμένα κατά διαστήματα δόντια

- Μέσης σκληρότητας σχηματισμούς

Στην περίπτωση διάτρησης μέσης σκληρότητας σχηματισμών, απαιτείται η χρήση κοπτικών ακρών με μέσο μήκος δοντιών και μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των δοντιών

- Σκληρούς σχηματισμούς

Τέλος, όταν οι υπό διάτρηση σχηματισμοί είναι ψαμμίτες με μικρό πορώδες, δολομίτες και συμπαγείς ασβεστόλιθοι, χρησιμοποιούνται κοπτικά με μικρό μήκος δοντιών και μικρές αποστάσεις μεταξύ τους

Τα περιστροφικά κωνικά κοπτικά άκρα με ένθετα δόντια χρησιμοποιούνται σε:

- Μικρής - Μέσης σκληρότητας σχηματισμούς

Το μεγάλο καρβίδιο βολφραμίου χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, παρεμβάλλεται για να παρέχει υψηλότερα ποσοστά διάτρησης σμιλεύοντας τους μαλακότερους σχηματισμούς, όπως σχιστόλιθους, αργίλους, ασβεστόλιθους και αμμώδεις σχηματισμούς

- Μέσης – Μεγάλης σκληρότητας σχηματισμούς

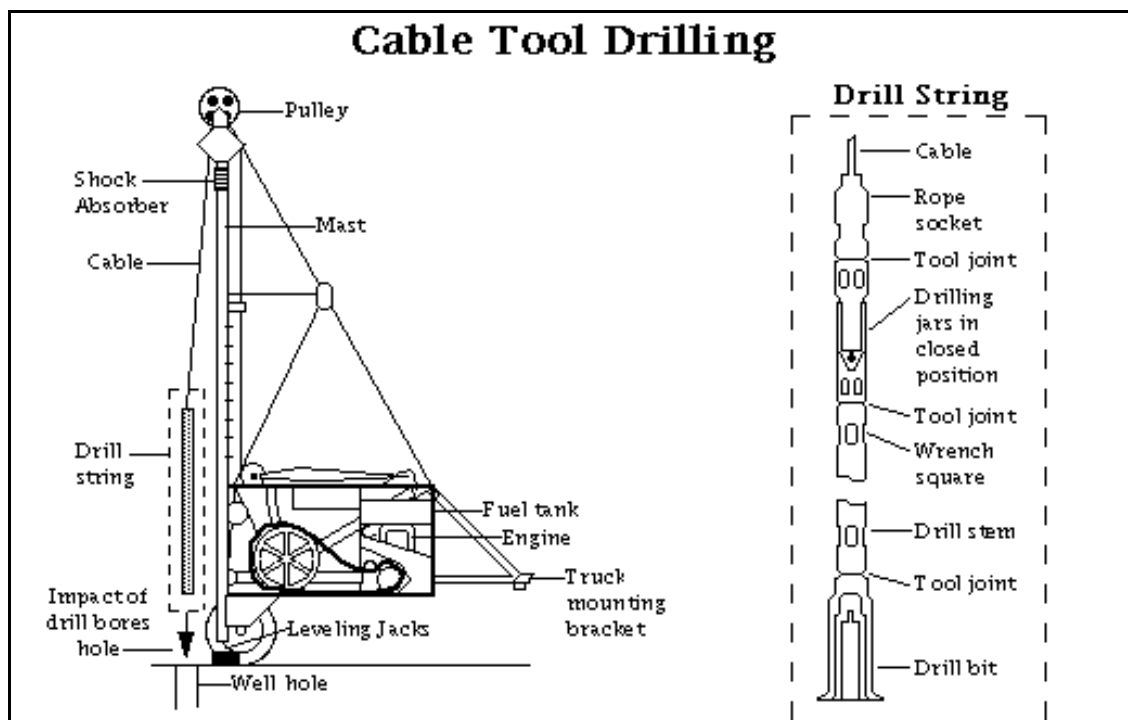
Ο τύπος του κοπτικού άκρου χρησιμοποιείται για την διάτρηση σε ποικίλους σχηματισμούς με υψηλή τάση συμπίεσης, όπως σκληρό ασβεστόλιθο, ψαμμίτη και δολομίτη.

Τέλος, τα κοπτικά άκρα τριβής χρησιμοποιούνται για την διάτρηση ιζημάτων και γενικά σχηματισμών μικρής σκληρότητας, όπως ψαμμίτες με μεγάλο πορώδες και αργίλους. (Κελεσίδης, 2007)

2. Μέθοδοι – Τεχνικές γεωτρήσεων

2.1. Κρουστική διάτρηση

Η μέθοδος κρουστικής διάτρησης (cable tool drilling) είναι σχετικά απλή. Η διατρητική στήλη αποτελείται από τέσσερα τμήματα: το περιστρεπτό socket , τα διατρητικά ελατήρια (drilling jars), τα διατρητικά στελέχη και το κοπτικό άκρο (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Σχηματικό διάγραμμα κρουστικού γεωτρήσανου (από www.drillshop.com)

Το περιστρεπτό socket περιστρέφει το κοπτικό επιτρέποντάς το να χτυπά σε διαφορετικό τμήμα του πυθμένα κάθε φορά που πέφτει στον πυθμένα. Τα ελατήρια αποτελούνται από δύο χαλαρά συνδεόμενες ράβδους με στόχο να επιτρέπουν ανάστροφη σφυρηλάτηση για να ελευθερώσουν το κοπτικό και τα στελέχη εάν μαγκώσουν στη γεώτρηση.

Η διατρητική στήλη με το κοπτικό ανέρχεται και κατέρχεται στον πυθμένα με την βοήθεια του συρματόσχοινου και με τα διαρκή χτυπήματα του κοπτικού στον πυθμένα θραύονται τα πετρώματα. Η διάτρηση επιτυγχάνεται με την διατήρηση του συρματόσχοινου σε εφελκυσμό όταν το κοπτικό άκρο χτυπά τον πυθμένα. Ο περιστρεπτός μηχανισμός επιτρέπει την περιστροφή της διατρητικής στήλης κατά μερικές μοίρες έτσι ώστε το κοπτικό να χτυπά κάθε

φορά σε διαφορετικό τμήμα του πυθμένα για να γίνεται η προχώρηση επειδή έχει βρεθεί ότι η περιστροφή του κοπτικού άκρου είναι απαραίτητη για την δημιουργία κυκλικής οπής.

Συνήθως προστίθεται νερό (πολλές φορές προστίθεται και πολφός) στην γεώτρηση έτσι ώστε τα τρίμματα να αιωρούνται στον πολφό και να μην παρεμποδίζουν την κίνηση του κοπτικού. Περιοδικά δε αφαιρούνται με την χρήση του συρματόσχοινου και κατάλληλου εργαλείου, τύπου κουβά (bailer) ή με την χρήση αντλίας. Εάν η διάτρηση γίνεται σε σταθερά πετρώματα δεν απαιτείται επένδυση. Εάν όμως τα πετρώματα είναι μη συνεκτικά, η γεώτρηση γίνεται με την βοήθεια επένδυσης, που ωθείται με μικρή περιστροφή προς τα κάτω, καθαρίζεται η γεώτρηση, διανοίγεται το νέο τμήμα και συνεχίζεται η προχώρηση, πάντα με την βοήθεια της επένδυσης. Η τεχνική περιορίζεται σε διαμέτρους μικρότερες των 75 cm (30 in .) και βάθη μικρότερα των 600 m (2,000 ft).

Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής είναι το χαμηλό κόστος και η ικανότητα διάτρησης σε ποικιλίες συνθηκών. Επίσης παρέχει την δυνατότητα για ακριβή διασκόπηση των αλλαγών των σχηματισμών επειδή η τεχνική είναι ευαίσθητη στις αλλαγές των σχηματισμών που επιτρέπουν τον γεωτρυπανιστή να προσαρμόσει τα διαστήματα δειγματοληψίας. Χρησιμοποιεί λιγότερο νερό από τις υπόλοιπες μεθόδους (που χρησιμοποιούν υγρά) με συνέπεια να θεωρείται καλή τεχνική σε περιοχές που δεν υπάρχει πρόσβαση σε νερό.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι οι αργοί ρυθμοί διάτρησης, οι περιορισμοί στις διαμέτρους και στα βάθη των διατρήσεων και η ανάγκη για την ώθηση επένδυσης μαζί με κρούσεις, όταν γίνεται διάτρηση σε μη συνεκτικά πετρώματα. (Κελεσίδης, 2007)

2.2. Περιστροφική διάτρηση

2.2.1. Γενικά

Οι τεχνικές περιστροφικής διάτρησης διακρίνονται ανάλογα με το ρευστό που χρησιμοποιείται αλλά και ανάλογα με τον τρόπο κυκλοφορίας του ρευστού σε α) διάτρηση με απευθείας κυκλοφορία πολφού, β) διάτρηση με απευθείας κυκλοφορία αέρα, γ) διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία ρευστού, δ) διάτρηση με απευθείας πρόωση της σωλήνωσης και ε) διάτρηση με κυκλοφορία αφοριστικού. Παρακάτω αναλύονται οι τεχνικές αυτές με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

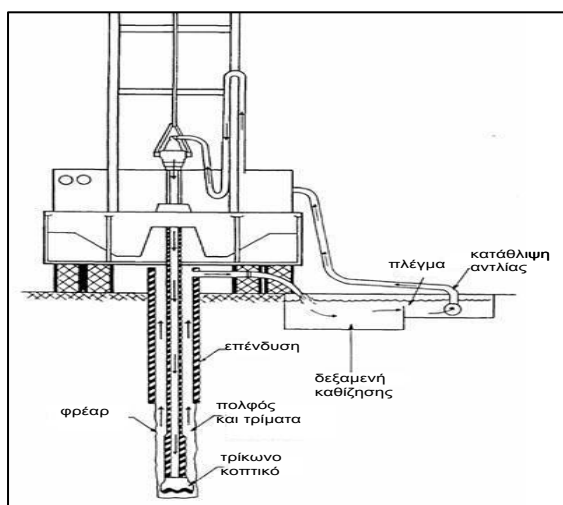
2.2.2. Διάτρηση με απευθείας κυκλοφορία πολφού

Η τεχνική διάτρησης με απευθείας κυκλοφορία πολφού (Direct Mud Rotary Drilling) (που περιέχει τον όρο απευθείας για διάκριση με την τεχνική ανάστροφης κυκλοφορίας που θα αναφερθεί παρακάτω) παρέχει μεγάλη ευελιξία, είναι γρήγορη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φρέατα διαφόρων διαμετρημάτων σε συμπαγείς αλλά και σε μη συμπαγείς σχηματισμούς. Προτιμάται ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μεσαίου ή μεγάλου βάθους γεωτρήσεων με την προϋπόθεση ότι πιθανή μόλυνση από τα γεωτρητικά ρευστά δεν είναι πρόβλημα.

Η λειτουργία των περιστροφικών γεωτρήσεων (Εικόνα 10) στηρίζεται στην κατακόρυφη δύναμη που ασκείται από την γεωτρητική στήλη στο κοπτικό άκρο και την περιστροφική κίνηση του κοπτικού άκρου το οποίο περιστρέφεται μαζί με ολόκληρη την διατρητική στήλη. Από το εσωτερικό του κοπτικού άκρου διοχετεύεται γεωτρητικό ρευστό που είναι νερό με κάποια κατάλληλα πρόσθετα το οποίο παρασύρει τα θραύσματα και τα οδηγεί στην επιφάνεια. Στην επιφάνεια τα θραύσματα διαχωρίζονται μέσα σε μια δεξαμενή καθίζησης. Το γεωτρητικό ρευστό οδηγείται και πάλι στο κοπτικό άκρο δια μέσου των διατρητικών στελεχών με την βοήθεια αντλίας. Για την γεωτρητική διαδικασία φυσιολογικά δεν απαιτείται σωλήνωση, αλλά η σωλήνωση μπορεί να τοποθετηθεί εν συνεχεία αν αυτό κριθεί απαραίτητο. Τα θραύσματα που φτάνουν στην επιφάνεια από την κυκλοφορία της λάσπης δεν είναι αντιπροσωπευτικά μπορεί όμως να προσδιοριστεί κατά προσέγγιση η στρωματογραφία της περιοχής.

Εικόνα 10. Τυπική διάταξη περιστροφικού γεωτρήσανου κανονικής κυκλοφορίας

(Κελεσίδης, 2007)



Τα πλεονεκτήματα της περιστροφικής γεώτρησης με απευθείας κυκλοφορία πολφού σε σχέση με άλλες τεχνικές είναι τα ακόλουθα:

1. Δυνατότητα για πραγματοποίηση γεωτρήσεων σε διάφορα είδη εδαφών και σκληρά πετρώματα.
2. Σταθερότητα του φρέατος σε μη συμπαγείς σχηματισμούς λόγω του σχηματισμού υμενίου στα τοιχώματα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συμπαγείς σχηματισμούς.
3. Πολύ μεγάλο επιχειρησιακό βάθος
4. Δυνατότητα για μέτριας αξιοπιστίας διαγραφές προσδιορισμού της λιθολογίας από τα θραύσματα που έρχονται στην επιφάνεια με την κυκλοφορία της λάσπης.
5. Σχετικά γρήγορους ρυθμούς διάτρησης.
6. Μετρίου κόστους τεχνική, με ευρεία εμπορική διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.
7. Είναι ταχύτερη από τη κρουστική διάτρηση με συρματόσχοινο για σκληρούς σχηματισμούς εκτός από βασάλτη όπου δεν μπορεί να διατηρηθεί η κυκλοφορία του πολφού λόγω των ρωγμών που απαντώνται.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί της τεχνικής είναι:

1. Η χρήση γεωτρητικού ρευστού αλλά και η απόθεση του υμενίου στα τοιχώματα μπορούν να αλλοιώσουν όχι μόνο τις υδραυλικές ιδιότητες αλλά και την χημεία του φρέατος.
2. Λιπαντικά που χρησιμοποιούνται σε διάφορα τμήματα του εξοπλισμού και στον γεωτρητικό πολφό μπορεί να επιμολύνουν τα φυσικά ρευστά που υπάρχουν στο φρέαρ αλλά και τα δείγματα εδάφους.
3. Η θέση των υδροφόρων ζωνών κατά τα διάρκεια της γεώτρησης είναι δυσκολότερο να εντοπιστεί.
4. Μπορούν να σημειωθούν μεγάλες απώλειες γεωτρητικού ρευστού όταν τα πετρώματα είναι ρηγματωμένα ή περιέχουν χαλίκια.

5. Όταν υπάρχουν μεγάλες κροκάλες και πέτρες είναι δύσκολη η διατήρηση της κυκλοφορίας της λάσπης γιατί αυτά τα υλικά δεν μπορούν να φτάσουν στην επιφάνεια και συσσωρεύονται στον πυθμένα του φρέατος.
6. Σε πετρώματα ευαίσθητα στο νερό (όπως οι εύθρυπτοι ψαμμίτες) ή εδάφη που καταρρέουν εύκολα, αποκλείεται η χρήση αυτής της τεχνικής.
7. Δημιουργείται σχετικά μεγάλη ποσότητα αποβλήτων. (Κελεσίδης, 2007)

2.2.3. Διάτρηση με απευθείας κυκλοφορία αέρα

Η διάτρηση με απευθείας κυκλοφορία αέρα (Direct air-rotary drilling) έχει πολλές ομοιότητες με την περιστροφική διάτρηση με υδατικής βάσης γεωτρητικό ρευστά όσον αφορά τον εξοπλισμό και την λειτουργία, μόνο που στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται συμπιεσμένος αέρας ως γεωτρητικό ρευστό. Ο συμπιεσμένος αέρας παράγεται από συμπιεστή, διοχετεύεται μέσα από την διατρητική στήλη στο κοπτικό άκρο εξέρχεται από τα ακροφύσια του κοπτικού, εισέρχεται στον δακτύλιο και παρασύρει τα θραύσματα προς την επιφάνεια, όπου αυτά διαχωρίζονται με τη βοήθεια αεροκυκλώνα.

Η τεχνική αυτή δίδει την δυνατότητα γεώτρησης και δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας διάφορα είδη δειγματοληπτών και μπορεί να πραγματοποιηθεί στα περισσότερα είδη εδαφών και πετρωμάτων. Το ρεύμα αέρα που δημιουργείται δεν παρέχει σταθερότητα στο φρέαρ όπως συμβαίνει με την κυκλοφορία της λάσπης στην περιστροφική διάτρηση με υγρό ρευστό. Επιπρόσθετα, λόγω των πολύ υψηλών ταχυτήτων που απαιτούνται για την απομάκρυνση των θραυσμάτων υπάρχει μεγάλος κίνδυνος διάβρωσης των πετρωμάτων στα τοιχώματα της γεώτρησης. Κατά συνέπεια η σταθερότητα του φρέατος εξαρτάται μόνο από την φυσική σταθερότητα των σχηματισμών που σημαίνει ότι η τεχνική αυτή περιορίζεται σε μερικώς πετροποιημένα εδάφη και πετρώματα.

Συχνά ξεκινά γεώτρηση με γεωτρητικό ρευστό υδατικής βάσης για να γίνει η γεώτρηση μέσα από μη συνεκτικούς σχηματισμούς και στη συνέχεια ακολουθεί γεώτρηση με χρήση αέρα όταν η γεώτρηση φτάσει σε συμπαγή πετρώματα. Ένας τρόπος για να βελτιωθεί ο ρυθμός διάτρησης και να είναι πιο αποτελεσματική η απομάκρυνση των θραυσμάτων είναι η προσθήκη κάποιου τασενεργού που δημιουργεί αφρό στο ρεύμα του αέρα. Η χρήση του

αφρού επίσης μειώνει τις απώλειες του αέρα από τα τοιχώματα του φρέατος, αλλά μπορεί να επηρεάσει τη χημεία του φρέατος.

Βασικά πλεονεκτήματα της τεχνικής είναι ότι επιτυγχάνεται γρήγορος ρυθμός διάτρησης σε συμπαγή υλικά και δεν απαιτείται η χρήση γεωτρητικού ρευστού με βάση το νερό και η δειγματοληψία γίνεται γρήγορα και αποτελεσματικά. Επίσης, είναι εύκολο να εντοπιστούν οι υδροφόρες ζώνες από την εμφάνιση σταγονιδίων στο ρεύμα του αέρα. Η τεχνική χρησιμοποιείται συχνά για την πραγματοποίηση γεωτρήσεων σε συμπαγείς σχηματισμούς. Ενδείκνυται επίσης για ρηγματωμένα πετρώματα επειδή στις περιπτώσεις αυτές η χρήση υδατικής βάσης γεωτρητικού ρευστού μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα λόγω απώλειας στους σχηματισμούς. Μπορούν να επιτευχθούν βάθη γεωτρήσεων μεγαλύτερα από 300m (1000ft). Το κόστος αυτού του είδους των γεωτρήσεων κινείται σε μεσαία επίπεδα, όμως δεν θεωρείται οικονομικό για περιορισμένο αριθμό γεωτρήσεων λόγω της αναγκαιότητας χρήσης αεροσυμπιεστή.

Μερικά μειονεκτήματα της τεχνικής περιλαμβάνουν την ανεπαρκή σταθερότητα του φρέατος για μη συμπαγείς σχηματισμούς, την πιθανή διαφυγή πτητικών ρύπων μέσω της κυκλοφορίας του αέρα καθώς και δημιουργία σύννεφων σωματιδίων σκόνης που παρασύρονται από τον αέρα. Η τεχνική δεν είναι τόσο αποτελεσματική σε μαλακούς σχηματισμούς κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα και σε αυτή την περίπτωση απαιτείται η χρήση σωλήνωσης για να παραμείνει ανοικτό το φρέαρ. Χρειάζεται προσοχή στη λειτουργία του αεροσυμπιεστή και των φίλτρων αέρα, γιατί μπορεί να προκληθεί μόλυνση από τα λάδια που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του συστήματος. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι όταν χρησιμοποιούνται τασενεργές ουσίες για το σχηματισμό αφρού για την καλύτερη κυκλοφορία των θραυσμάτων, μπορεί αυτές οι ουσίες να αλλοιώσουν την χημική σύσταση των δειγμάτων νερού. (Κελεσίδης, 2007)

2.2.4. Διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία γεωτρητικού ρευστού

Η τεχνική διάτρησης με ανάστροφη κυκλοφορία γεωτρητικού ρευστού (αέρα ή πολφού) (Reverse circulation drilling) είχε σχεδιαστεί αρχικά για γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου σε μη συνεκτικά πετρώματα, με κατ' ελάχιστο διάμετρος 16'-in. (40.64-cm), κυριώς λόγω αδυναμίας καθαρισμού των φρεάτων με τα ρευστά κατά την διαδικασία απευθείας κυκλοφορίας ρευστού, καθώς απαιτούνταν πολύ υψηλές ταχύτητες.

Η μέθοδος αυτή παρέχει τα καλύτερα δείγματα τριμμάτων από οποιαδήποτε άλλη τεχνική λόγω του μεγάλου ανοίγματος των κοπτικών άκρων που χρησιμοποιούνται (> 5'-in.). Επίσης φέρει στην επιφάνεια τα τρίμματα πολύ ταχύτερα, κάτι που είναι ιδιαίτερα θετικό σε σχετικά μεγάλα βάθη με συνέπεια να είναι πολύ καλή τεχνική για την δειγματοληψία. Η διάταξη ενός γεωτρύπανου αντίστροφης ροής περιλαμβάνει ένα σωλήνα με μονά ή διπλά τοιχώματα, όπου πεπιεσμένος αέρας εισάγεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή ή πολφός με βοήθεια πηλαντλίας στο διάκενο είτε του φρέατος και του εσωτερικού σωλήνα (διάταξη μονού σωλήνα) είτε του εξωτερικού και του εσωτερικού σωλήνα (διάταξη διπλού σωλήνα). Στο κάτω μέρος της γεωτρητικής στήλης υπάρχει το περιστρεφόμενο κοπτικό άκρο (ανάλογο με αυτά που χρησιμοποιούνται στα κλασσικά περιστροφικά γεωτρύπανα) που σπάει τα πετρώματα και τα θραύσματα που προκύπτουν οδηγούνται μέσα από αυτό και τον εσωτερικό σωλήνα στην επιφάνεια με την βοήθεια των γεωτρητικών ρευστών. Τα θραύσματα επιβραδύνονται και διαχωρίζονται από τον αέρα με τη βοήθεια αεροκυκλώνα ή καθιζάνουν στην δεξαμενή καθίζησης στην περίπτωση χρήσης πολφού.

Αντί για το κλασσικό περιστρεφόμενο κοπτικό άκρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοπτικό άκρο τύπου σφύρας το οποίο είναι πιο αποτελεσματικό σε ξηρούς σχηματισμούς και σκληρά πετρώματα. Αντίθετα, το περιστρεφόμενο τρίκωνο κοπτικό άκρο αποδίδει καλύτερα κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα και σε μαλακούς ή υγρούς σχηματισμούς.

Η ελάχιστη ταχύτητα του αέρα στον σωλήνα που απαιτείται για την μεταφορά των θραυσμάτων στην επιφάνεια μπορεί τώρα να είναι πολύ μεγαλύτερη καθώς δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης των πετρωμάτων και κυμαίνεται μεταξύ 20 και 30 m/s (4.500 ft/min και 6000 ft/min)

Το βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι μπορεί να γίνει γεώτρηση σε ασταθείς σχηματισμούς που θα κατέρρεαν με την εφαρμογή των τεχνικών απευθείας κυκλοφορίας. Μεταξύ δε άλλων πλεονεκτημάτων θα μπορούσαμε να αναφέρουμε:

1. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στα περισσότερα είδη εδαφών και πετρωμάτων
2. Στρωματογραφικές και λιθολογικές διαγραφίες είναι μερικές φορές δυνατό να ληφθούν από τα θραύσματα που φτάνουν στην επιφάνεια.
3. Η εξωτερική σωλήνωση του διπλού-τοιχώματος γεωτρητικού σωλήνα εμποδίζει την καθίζηση του τοιχώματος του φρέατος κατά τη διάρκεια της γεώτρησης.

4. Οι απώλειες στην κυκλοφορία του γεωτρητικού ρευστού κατά τη διάρκεια της γεώτρησης περιορίζονται όταν χρησιμοποιείται γεωτρητικός σωλήνας διπλού-τοιχώματος.
5. Η εξωτερική σωλήνωση του γεωτρητικού σωλήνα διπλού-τοιχώματος απομονώνει ζώνες με μόλυνση μέσα στο φρέαρ.
6. Ο γεωτρητικός σωλήνας διπλού-τοιχώματος ελαχιστοποιεί την εισβολή γεωτρητικού ρευστού στα εδάφη και πετρώματα.
7. Η τεχνική γεώτρησης διπλού-τοιχώματος αντίστροφης κυκλοφορίας μειώνει την αβεβαιότητα του βάθους από το οποίο τα θραύσματα εδάφους έχουν προέρθει. Για αυτό οι διαγραφές για τη στρωματογραφία είναι πολύ πιο αξιόπιστες.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν:

1. Οι γεωτρήσεις με αυτή την τεχνική έχουν υψηλό κόστος λόγω του ακριβού εξοπλισμού και της μικρής εμπορικής διαθεσιμότητας.
2. Παράγεται μεγάλος όγκος αποβλήτων. (Κελεσιδής, 2007)

2.2.5. Διάτρηση με απευθείας προώθησης της σωλήνωσης

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τις κλασσικές διατάξεις της απευθείας κυκλοφορίας αέρα ή πολφού με την διαφοροποίηση ότι τοποθετείται σωλήνωση ταυτόχρονα με την κάθοδο του γεωτρήσανου. Επιτρέπει την πραγματοποίηση γεωτρήσεων και δειγματοληψίας σε σχηματισμούς που περιέχουν νερό κάτι που θα ήταν δύσκολο να επιτευχθεί με τις κλασσικές τεχνικές λόγω της πιθανής κατάρρευσης του φρέατος. Επιπλέον, με την ταυτόχρονη προώθηση της σωλήνωσης περιορίζεται το πρόβλημα της απώλειας γεωτρητικών ρευστών μέσα στο φρέαρ και το πρόβλημα πιθανής μόλυνσης στα πετρώματα. (Κελεσιδής, 2007)

2.2.6. Διάτρηση με κυκλοφορία αφριστικών

Η διάτρηση με χρήση αφριστικών πολλές φορές ενδείκνυται για τον καλύτερο καθαρισμό του φρέατος, αντί για χρήση μόνο αέρα και όταν δεν ενδείκνυται η χρήση πολφού ή νερού. Ένας καλός αφρός έχει υφή όπως ένας τυπικός αφρός ξυρίσματος με μικρή περιεκτικότητα υγρού ενώ μπορεί να κατασκευαστεί με σπιτικό υγρό καθαρισμού και πολφό με βιοδιασπώμενο

πολυμερές. Η χρήση αφρού ως γεωτρητικού ρευστού παρέχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα αλλά έχει επίσης μερικά μειονεκτήματα τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα:

- Διάτρηση με αφρό απαιτεί λιγότερο νερό, αναλώσιμα και ισχύ από οποιαδήποτε άλλη τεχνική διάτρησης
- Η διάτρηση με αφρό είναι διάτρηση υπο-ισοσταθμισμένης κατάστασης. Συνεπώς ενδείκνυται για γεωτρήσεις όπου οι αναμενόμενες πιέσεις νερούς στον σχηματισμό είναι χαμηλότερες των κανονικών.
- Δεν απαιτούνται δεξαμενές πολφού και δεν υπάρχει το πρόβλημα απόθεσης του πολφού (παραμένει όμως το πρόβλημα απόθεσης – απομάκρυνσης αφρού)
- Παρέχει τα πλεονεκτήματα της διάτρησης με κυκλοφορία αέρα και ελαχιστοποιεί τις φθορές στα εξαρτήματα, καθώς το ρευστό διέρχεται μόνο μία φορά από το σύστημα κυκλοφορίας
- Δεν εισβάλλει στους πόρους των πετρωμάτων και κατά συνέπεια δεν επιμολύνει τους σχηματισμούς
- Συνήθως οι καλοί αφροί είναι βιοδιασπόμενοι και συνεπώς έχει ελάχιστη επίπτωση στο περιβάλλον
- Ο αφρός είναι ικανός να μεταφέρει στην επιφάνεια μεγάλες ποσότητες νερού από τον πυθμένα και συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση υδροφόρων οριζόντων που θα ήταν δύσκολη με την χρήση νερού ή πολφού ως ρευστού
- Η δειγματοληψία τριμάτων είναι εύκολη και αξιόπιστη
- Ο εξοπλισμός είναι σχετικά φθηνός ελαφρύς και εύκολος στην χρήση

Μειονεκτήματα:

- Ο αφρός παρέχει μόνο περιορισμένη υποστήριξη των τοιχωμάτων της γεώτρησης και δεν θα αποτρέψει την κατάρρευση

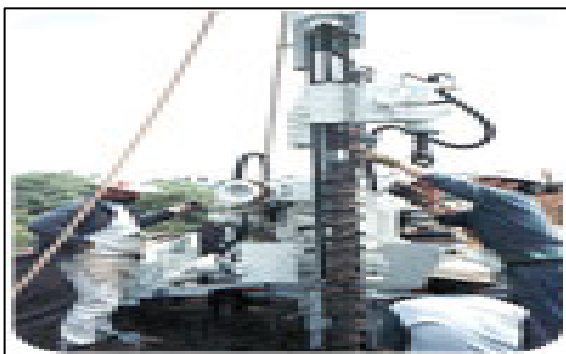
- Πρέπει να υπάρχει κατάλληλη πρόνοια για την 'διάλυση' του αφρού και την μη μόλυνση του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται μη βιοδιασπώμενα πολυμερή. (Κελεσίδης, 2007)

2.3. Νέες εξελίξεις στην τεχνική γεωτρήσεων

2.3.1. Μέθοδος ελικοειδούς διάτρησης (Auger Drilling)

Η μέθοδος ελικοειδούς διάτρησης (Auger Drilling) (Εικόνα 11) διευκολύνει την ακριβή και χρήσιμη εδαφολογική δειγματοληψία από τα διαφορετικά στρώματα. (Unknown a, 2006)

Ο σκοπός των εδαφολογικών διατρήσεων είναι να επιτευχθεί η πρόσβαση στα κάτω από την επιφάνεια πετρώματα σε διευκρινισμένες θέσεις και βάθη. Οι διατρήσεις επιτρέπουν επίσης την εγκατάσταση των φρεάτων ελέγχου υπόγειου νερού και τα επιτόπιων συστημάτων επανόρθωσης. Ο τύπος εξοπλισμού που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τη γεωλογία της περιοχής και το διαθέσιμο εξοπλισμό ελέγχου. Ο έλεγχος των τριμμάτων και άλλων ενδεχομένως μολυσμένων υλικών που προέρχονται από το τρυπάνι μπορεί να επηρεάσει την επιλογή μεθόδου διάτρησης. Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα εξοπλισμού και τη γεωλογία της περιοχής, περισσότερες από μια μέθοδοι μπορούν να συνδυαστούν για να ολοκληρώσουν έναν συγκεκριμένο σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από αυτές:



Εικόνα 11. Auger Drilling (Unknown a, 2006)

2.3.1.1. Hollow-stem Augering

Η διάτρηση Hollow -stem χρησιμοποιεί τα μεγάλης διαμέτρου (μέχρι 14-ίντσες εξωτερική διάμετρο) τρυπάνια «συνεχούς-πτήσης», τα οποία ανασκάπτουν μηχανικά τα υλικά από τη γεώτρηση. Αυτά τα τρυπάνια «χτίζονται» με ένα μεγάλο (μέχρι 10 1/4-ίντσες εσωτερική διάμετρο) αξονικό άνοιγμα για να επιτρέψουν την πρόσβαση στο κατώτατο σημείο της τρύπας χωρίς απόσυρση των τρυπανιών. Τα τρυπάνια ενεργούν ως προσωρινό περίβλημα κατά τη διάρκεια και την ολοκλήρωση της διάτρησης για να διευκολύνουν τη δειγματοληψία του ιζήματος και του ύδατος και την εγκατάσταση των φρεατίων ελέγχου. Μερικά πλεονεκτήματα της διάτρησης Hollow -stem είναι :

- Η διάτρηση είναι σχετικά γρήγορη – ειδικά στις ρηχές εφαρμογές μέσα σε ιζήματα.
- Απαιτείται ελάχιστο ή κανένα εξωτερικό ρευστό στη διαδικασία διάτρησης.
- Αν και παράγεται ένας σχετικά μεγάλος όγκος τριμμάτων ανακτάται εύκολα.
- Ο όγκος των αποβλήτων είναι χαμηλότερος από ότι σε άλλες μεθόδους.
- Οι εγκαταστάσεις γεώτρησης είναι σχετικά απλές, ενώ υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να μολυνθεί η γεώτρηση.

Υπάρχουν μερικά μειονεκτήματα και περιορισμοί στη χρήση της μεθόδου όσον αφορά την κατασκευή των φρεατίων ελέγχου:

- Περιορίζεται σε βάθη περίπου 150 ποδιών.
- Ύπαρξη ρηχού στρώματος βράχου ή άλλα υλικά μπορεί να μειώσουν αυτό το βάθος σημαντικά.

Τα τρυπάνια είναι επιρρεπή σε μόλυνση από τα ρευστά μέσα στη γεώτρηση κατά μήκος του μεγάλου δακτυλιοειδούς διαστήματος γύρω από τη σωλήνωση των τρυπανιών.

Οι υψηλές υδροστατικές πιέσεις στη γεώτρηση μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα με την ανύψωση άμμου επάνω στα τρυπάνια κατά τη διάρκεια των διαδικασιών δειγματοληψίας.

Οι ευρείες παραλλαγές στο μέγεθος γεωτρήσεων, μπορούν να περιπλέξουν την αποτελεσματική σφράγιση του δακτυλιοειδούς διαστήματος κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης φρεατίων ελέγχου.

Τα τρίμματα μπορούν να σφραγίσουν τα τοιχώματα των γεωτρήσεων στα αργιλώδη ιζήματα και να παρεμποδίσουν τη ροή των ρευστών.

Η Hollow -stem διάτρηση είναι συνήθως κατάλληλη για ιζήματα. Η μέθοδος ταιριάζει επίσης καλά για διάτρηση σε μεγάλη κλίση. (Unknown a, 2006)

2.3.1.2. Solid -stem Augers

Η διάτρηση Solid-stem (Εικόνα 12) ενσωματώνει τα τρυπάνια «συνεχούς-πτήσης» που κόβουν μηχανικά και μεταφέρουν συνεχώς τα τρίμματα στην επιφάνεια εδάφους. Τα τρυπάνια πρέπει να είναι ικανοποιητικής διαμέτρου (περ. 3-5 ίντσες, μεγαλύτερα στη διάμετρο από τη διάμετρο του φρεατίου ελέγχου) ώστε να επιτρέπεται η αποτελεσματική τοποθέτηση του φίλτρου και των υλικών σφραγίσματος. Η διάτρηση Solid -stem έχει διάφορα πλεονεκτήματα.

Παράγει ένα μέτριο ποσό εύκολα ανακτήσιμων τριμμάτων ενώ απαιτείται ελάχιστο ή κανένα ρευστό στη διαδικασία διάτρησης.

Όλη η επιφάνεια των τρυπανιών είναι προσιτή, διευκολύνοντας την πλήρη και απλουστευμένη απολύμανση.

Οι εγκαταστάσεις της γεώτρησης είναι σχετικά απλές ενώ υπάρχουν λιγότερες πιθανότητες να μολυνθεί η γεώτρηση.

Η μέθοδος ταιριάζει καλά στη διάτρηση σε σχετικά συνεκτικά ιζήματα που περιέχουν άφθονους μεγάλους λίθους και μπορούν να διαπεραστούν με μεγάλη δυσκολία. (Unknown a, 2006)



Εικόνα 12. Solid-stem Augers (Unknown a, 2006)

2.3.1.3. Bucket Auger Method

Η διάτρηση με κάδους (Εικόνα 13) χρησιμοποιεί έναν περιστρεφόμενο κυλινδρικό κάδο με τέμνουσες λεπίδες που τοποθετείται σε ένα κατώτατο σημείο για να κόψει και να ανυψώσει τα στερεά από τη γεώτρηση, σαν τη λειτουργία ενός κοινού τρυπανιού. Μια παραλλαγή της μεθόδου είναι η μέθοδος Stoveripe. Αυτή η παραλλαγή περιορίζει πολύ την πιθανότητα μόλυνσης από τα ρευστά μέσα στη γεώτρηση. Πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα, αποκλείουν τη διάτρηση με αυτή τη μέθοδο. (Unknown a, 2006)



Εικόνα 13. Bucket Auger Method (Unknown a, 2006)

2.3.2. Ηχητική διάτρηση (Sonic Drilling)

Η ηχητική διάτρηση χρησιμοποιεί τις μηχανικές ταλαντώσεις υψηλής συχνότητας, που αναπτύσσονται σε ειδική κεφαλή των τρυπανιών, για να διαβιβάσουν τις ηχητικές δονήσεις και την περιστροφική ισχύ μέσω ειδικά σχεδιασμένων τρυπανιών, επιτρέποντας την επιτάχυνση της διείσδυσης χωρίς την ανάγκη ρευστών διάτρησης. Οι συχνότητες που παράγονται κυμαίνονται από 50 Hz έως 180 Hz.

Ένας πεπειραμένος χειριστής απαιτείται για αυτήν την μέθοδο. Οι δαπάνες συντήρησης, χρόνου διακοπής και κινητοποίησης του εξοπλισμού είναι χαρακτηριστικά υψηλότερες στην ηχητική διάτρηση σε σχέση με άλλες τεχνικές.

Για τις βαθιές γεωτρήσεις η μέθοδος αυτή συμφέρει όσον αφορά το ποσοστό παραγωγής, την ποιότητα των δειγμάτων και του γενικού κόστους ανά πόδι.

Η κυκλοφορία του ρευστού διάτρησης όπως αναφέρθηκε δεν απαιτείται με την ηχητική διάτρηση. Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δύο κύριους λόγους – να διευκολυνθεί η διεύθυνση στα πολύ σκληρά εδαφολογικά υλικά όταν η επιτόπια περιεκτικότητα σε υγρασία δεν είναι αρκετά υψηλή και να ελεγχθεί η ανύψωση των στερεών στο κατώτατο σημείο της γεώτρησης. (U.S. Army Corps of Engineers, 2007)

2.3.3. Έρευνα για διάτρηση με λέιζερ (Laser –drilling)

Εργαστηριακά εξετάζεται η δυνατότητα της χρήσης τεχνολογίας υψηλής ισχύος λέιζερ σε εφαρμογές διάτρησης. Τα πειράματα διεξάγονται από το εργαστήριο εφαρμογών λέιζερ στο Argonne National Laboratory. Η αρχική φάση έχει ως σκοπό να καθιερώσει μια επιστημονική βάση για ένα εμπορικό τρυπάνι και να καθορίσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας για τη συνέχιση της μελλοντικής έρευνας. Εάν η διάτρηση με τα λέιζερ αποδειχθεί τελικά βιώσιμη, θα μπορούσε να είναι η ριζικότερη αλλαγή στην τεχνολογία διάτρησης στον τελευταίο αιώνα.

Το νέο σύστημα θα μετέφερε την ελαφριά ενέργεια από τα λέιζερ στην επιφάνεια, κάτω από τη γεώτρηση μέσω οπτικών ινών και μια σειρά φακών που θα κατεύθυνε το φως του λέιζερ στο πέτρωμα.

Οι ερευνητές θεωρούν ότι τα λέιζερ έχουν τη δυνατότητα να διαπεράσουν το πέτρωμα 10 έως 100 φορές γρηγορότερα από τις συμβατικές τεχνολογίες – ένα τεράστιο όφελος στη μείωση των υψηλών δαπανών που έχει η εγκατάσταση τρυπανιών γεώτρησης .

Ενώ το θέλγητρο της διάτρησης με λέιζερ είναι η ταχύτητα, ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι τα μεγάλα ποσά ενέργειας που θα απαιτούνταν.

Μια άλλη πτυχή της έρευνας θα είναι να καθοριστεί εάν τα λέιζερ μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρουσία ρευστών διάτρησης. (Unknown b, 2007)

2.4. Ανάπτυξη υδρογεωτρήσεων

2.4.1. Γενικά

Κατά την διάτρηση δημιουργούνται αλλαγές στα υλικά των τοιχωμάτων της γεώτρησης και ιδιαίτερα στα στρώματα του υδροφόρου ορίζοντα, όπως δημιουργία πολύ λεπτών σωματιδίων, συμπίεση κοκκωδών υλικών, φράξιμο των πόρων. Όλα αυτά πρέπει να αφαιρεθούν και να επανέλθει το σύστημα στην αρχική του κατάσταση, στο βαθμό που αυτό φυσικά είναι εφικτό. Δηλαδή στο να υπάρχουν τα στρώματα του υδροφόρου ορίζοντα με καθαρούς πόρους και με υψηλή διαπερατότητα για να υπάρχει απρόσκοπτη και χωρίς μεγάλες απώλειες πίεσης ροή του νερού από το υπέδαφος στην επιφάνεια.

Οι ενέργειες που κάνουμε για την βελτίωση της ροής περιλαμβάνονται στην φάση της ανάπτυξης της υδρογεώτρησης. Έχει αναπτυχθεί ένα εύρος ενεργειών και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από το είδος των προβλημάτων που πρέπει να επιλυθούν.

Οι τεχνικές γεώτρησης που προξενούν τις μεγαλύτερες καταστροφές στα στρώματα του υδροφόρου και απαιτούν συνεπώς περισσότερο τεχνικές ανάπτυξης είναι:

1. Περιστροφική διάτρηση με πολφό, ιδιαίτερα όταν δεν επιτυγχάνεται σωστή ρύθμιση των ιδιοτήτων του πολφού (ιδιαίτερα του ιξώδους και του ρυθμού διήθησης με συνέπεια την εισβολή διηθήματος στους πόρους των σχηματισμών). Το βάθος εισβολής του διηθήματος του πολφού μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο και εξαρτάται από τις ιδιότητες του πολφού, την υδροστατική πίεση και την διαπερατότητα των σχηματισμών.
2. Διάτρηση με ελικοειδούς σπείρας τρυπάνι λόγω της δημιουργίας κρούστας στα τοιχώματα από την δράση του τρυπανιού αυτού που επικαλύπτει τους πόρους φράζοντας την ροή νερού.
3. Κρουστική διάτρηση με συρματοσχοινο, λόγω της συμπίεσης των πετρωμάτων από την ώθηση της επένδυσης, όταν αυτή χρησιμοποιείται, και λόγω της εισβολής λεπτών σωματιδίων στους πόρους κατά το συνεχές ανεβοκατέβασμα της στήλης, μολονότι είναι κατά πολύ καθαρότερη τεχνική από τις πρώτες δύο που αναφέρθηκαν.
4. Ανάστροφη περιστροφική διάτρηση μονού σωλήνα, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται πολφός, με προβλήματα όπως στην πρώτη τεχνική.

5. Περιστροφική με αέρα, που είναι ίσως η καθαρότερη τεχνική, ιδιαίτερα όταν ο αέρας δεν περιέχει πρόσθετα, αλλά ίσως έχουμε προβλήματα με το φράξιμο των πόρων από τα λεπτά σωματίδια που πιθανό να εισχωρούν σε ρωγμές και στους πόρους των πετρωμάτων. (Κελεσίδης, 2007)

2.4.2. Μέθοδοι ανάπτυξης

Υπάρχουν τουλάχιστον έξι βασικές μέθοδοι ανάπτυξης υδρογεωτρήσεων που περιγράφονται κατωτέρω:

1. Ανάπτυξη με έγχυση νερού υπο πίεση (Jetting), που παρέχει υψηλή ποσότητα υδραυλικής ενέργειας για την καταστροφή του υμενίου που πιθανόν να έχει αναπτυχθεί στα τοιχώματα. Τυπικές ταχύτητες έγχυσης είναι 45 – 60 m/s (150 – 190 ft/s) με ακροφύσιο διαμέτρου ¼ με ½ in.
2. Η δεύτερη μέθοδος ανάπτυξης είναι η μέθοδος με την χρήση εμβόλου ή ξέστρου γραμμής (line swab) λειτουργεί με το διαδοχικό ανέβασμα και κατέβασμα του εμβόλου που αποξένει τα τοιχώματα. Το έμβολο κινείται με την βοήθεια συρματόσχοινου από την επιφάνεια. Τυπικές ταχύτητες είναι της τάξης του 1 m/s. Το έμβολο έχει ελαστομερές στην περιφέρεια για την απόξεση και μία πτερυγωτή βαλβίδα (flapper valve) για την λειτουργία του εμβόλου στο κατέβασμα. Μία παραλλαγή της προηγούμενης μεθόδου χρησιμοποιεί ένα παλινδρομικό βραχίονα για την δημιουργία της παλινδρομικής κίνησης, με μία συχνότητα 30 ανεβοκατεβάσματα / λεπτό με ένα μήκος ανεβάσματος (ή κατεβάσματος) της τάξης του ενός μέτρου.
3. Η τρίτη μέθοδος ενέχει την εισπίεση νερού κάτω από ένα μονό έμβολο που είναι τοποθετημένο σε διατρητική στήλη, έτσι ώστε το έμβολο αναγκάζει την επιστρεφόμενη ροή να διέλθει δια του σχηματισμού παρακάμπτοντας έτσι το έμβολο καθαρίζοντας έτσι τους πόρους του σχηματισμού. Το έμβολο μπορεί να ανεβάζεται και να κατεβάζεται ταυτόχρονα με την εισπίεση με μία ταχύτητα περίπου 2.5 m/s .
4. Η τέταρτη μέθοδος χρησιμοποιεί διπλό έμβολο τοποθετημένο στη διατρητική στήλη. Το υγρό εισπιέζεται μεταξύ των δύο εμβόλων και αναγκάζεται να διέλθει δια του σχηματισμού παρακάμπτοντας το άνω έμβολο.
5. Η πέμπτη μέθοδος γίνεται με την εγκατάσταση εκτόξευσης αέρα με αεροσυμπιεστή (air lift). Είναι η πλέον διαδεδομένη τεχνική, ιδιαίτερα σε γεωτρήσεις που έγιναν με την

περιστροφική τεχνική με χρήση πολφού και φυσικά υλοποιείται σε περιπτώσεις που μπορεί να τοποθετηθεί σωλήνας για εισπύηση του αέρα. Απαιτείται όμως προσοχή για να μην εισπνεσθεί αέρας στους πόρους των πετρωμάτων και 'κλειδώσει' η γεώτρηση.

6. Η έκτη μέθοδος περιλαμβάνει την κυκλοφορία καθαρού νερού με την πηλαντλία (έκπλυση), όπου με την εισαγωγή σωλήνα εισπνέζουμε καθαρό νερό για την εκτόπιση του πολφού, εάν έχει γίνει διάτρηση με πολφό. Η διαδικασία αυτή όμως δεν καθαρίζει ουσιαστικά τους πόρους των πετρωμάτων παρά μόνον αλλάζει τον πολφό σε νερό μέσα στην γεώτρηση και δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιείται ως τεχνική ανάπτυξης, ιδιαίτερα εάν υπάρχουν προβλήματα φραξίματος των πόρων. (Κελεσίδης, 2007)

2.4.3. Προβλήματα κατά την λειτουργία των υδρογεωτρήσεων και τεχνικές επεξεργασίας

Αποκατάσταση της παραγωγής και μείωση της άντλησης άμμου:

Πολλά φρέατα παρουσιάζουν μείωση της παραγωγής κατά τη διάρκεια ζωής τους ενώ η άντληση άμμου δημιουργεί συχνά προβλήματα λειτουργίας και συντήρησης.

Η πρόοδος όσον αφορά την επεξεργασία και τις τεχνολογίες αποκατάστασης προσφέρουν μια λύση. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν επεξεργασία χρησιμοποιώντας εξειδικευμένα εργαλεία, χημικές ουσίες, και την εγκατάσταση συσκευών ελέγχου ροής- αναρρόφησης μέσα στη γεώτρηση.

2.4.4. Τύποι προβλημάτων

Η απόδοση συχνά μειώνεται κατά τη διάρκεια της ζωής του φρέατος. Η πτώση μπορεί να οφείλεται σε έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Χαμήλωμα της στατικής στάθμης του νερού
2. Ανεπαρκής άντληση που προκαλείται από διαβρωμένες αντλίες
3. Παρεμπόδιση από τη λάσπη και την άμμο
4. Αποθέσεις στις αντλίες

5. Αποτυχία του τοιχώματος της γεώτρησης.

Η στατική στάθμη του ύδατος πρέπει να ελεγχθεί κατά τη διάρκεια του χρόνου ώστε να ανιχνευθεί εάν οφείλεται σε περιφερειακές στατικές πτώσεις του νερού.

Τα προβλήματα των αντλιών μπορούν να προσδιοριστούν με επιθεώρηση. (Bruce Kroeker and Carl Nuzman, 2004)

2.4.4.1. Μηχανική παρεμπόδιση

Υπάρχουν δύο τύποι μηχανικής παρεμπόδισης, που μπορούν να ενεργήσουν για να περιορίσουν τη μετακίνηση του υπόγειου νερού σε ένα φρέαρ. Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει τη μετακίνηση των υλικών λεπτόκοκκου χώματος από το φυσικό σχηματισμό στο πρόσωπο της γεώτρησης. Ο δεύτερος τύπος προκαλείται από τα υποπροϊόντα διάβρωσης των μετάλλων.

Η υπεράντληση μπορεί να προκαλέσει ταραχώδη ροή στο σχηματισμό και να προωθήσει τη μετακίνηση των λεπτόκοκκων υλικών. (Bruce Kroeker and Carl Nuzman, 2004)

2.4.4.2. Χημική κρουστοποίηση (Encrustation)

Η χημική κρουστοποίηση είναι η απόθεση των μεταλλευμάτων ή αμμοχάλικου που μπορούν να περιορίσουν τη μετακίνηση του νερού σε ένα φρέαρ. Η χημική κρουστοποίηση προκαλείται από την πτώση των μεταλλευμάτων που διαλύονται στο υπόγειο νερό λόγω των αλλαγών στους όρους της ροής ή της πίεσης στο φρεάτιο. (Bruce Kroeker and Carl Nuzman, 2004)

2.4.4.3. «Βακτηριδιακή ενόχληση»

Ο όρος «Βακτηριδιακή ενόχληση» χρησιμοποιείται για να περιγράψει ποικίλους μικροοργανισμούς που μπορούν να προκαλέσουν απόφραξη στα φρέατα, τις σωληνώσεις και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Τα βακτηρίδια δεν θεωρούνται ότι μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας αλλά είναι ένα πρόβλημα στην παραγωγή και τη μεταφορά των υπόγειων νερών. Τα βακτηρίδια αυτά έχουν χαρακτηριστεί από την ασυνήθιστη ικανότητά τους να συσσωρεύουν ένυδρη ουσίας(σιδήρου) γύρω από τα κύτταρά τους. (Bruce Kroeker and Carl Nuzman, 2004)

2.4.5. Τεχνικές αποκατάστασης

Μια πτώση στην στάθμη απόδοσης μπορεί συχνά να αντιμετωπιστεί από τις κατάλληλες διαδικασίες καθαρισμού και αποκατάστασης. Πολλές τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για να αποκαταστήσουν τα φρέατα. Οι περισσότερες τεχνικές έχουν παράσχει μερικά ευεργετικά αποτελέσματα .

Ένα σημαντικό εμπόδιο στην επιτυχή επεξεργασία των φρεάτων ύδατος είναι η έλλειψη κατανόησης της αιτίας του προβλήματος

Η επεξεργασία περιλαμβάνει χρήση χημικών ουσιών για να χωρίσει τα κρουστοποιημένα υλικά. Οι μηχανικές τεχνικές όπως το καλώδιο που «βουρτσίζει», μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν τη χημική επεξεργασία.

Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με την χρήση ενός κατάλληλα επιλεγμένου συνδυασμού μεθόδων επεξεργασίας. Οι μέθοδοι αυτοί είναι :

1. Φυσικές μέθοδοι όπως βούρτσες καλωδίων ή άλλες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αφαιρεθούν τα υλικά στο εσωτερικό ενός φρέατος. Το υλικό μπορεί να αφαιρεθεί από το φρέαρ με άντληση.
2. Το Jetting μερικές φορές χρησιμοποιείται στην επεξεργασία για τα προβλήματα λόγω της μηχανικής παρεμπόδισης. Όταν χρησιμοποιείται από κοινού με τα πολυφωσφορικά άλατα, το jetting μπορεί να χαλαρώσει και να «πλύνει» τα λεπτόκοκκα υλικά.
3. Χημικές μέθοδοι όπως η χρήση των πολυφωσφορικών αλάτων είναι επιτυχής σε μερικές περιπτώσεις προβλημάτων λόγω μηχανικής παρεμπόδισης. Τα λεπτόκοκκα υλικά μπορούν να διασκορπιστούν από τα πολυφωσφορικά άλατα.

Τα οξέα χρησιμοποιούνται για να διαλύσουν χημικά την κρουστοποίηση που διαμορφώνεται σε ένα φρέαρ. Τα οξέα μπορούν να διαλύσουν τα ορυκτά αποθέματα ασβεστίου και μαγνησίου αλλά δεν είναι αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση των βακτηριδίων .

Οι φυσικές μέθοδοι καθαρισμού, όπως το βούρτσισμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν την όξινη επεξεργασία.

Τα απολυμαντικά είναι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για να σκοτώσουν τα βακτηρίδια. Οι ενώσεις χλωρίου είναι τα ευρύτερα χρησιμοποιημένα απολυμαντικά επειδή είναι ανέξοδα, εύκολα διαθέσιμα και αποδειγμένα αποτελεσματικά ενάντια σε πολλούς τύπους βακτηριδίων.

Όλες οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια του καθαρισμού πρέπει να αφαιρεθούν προσεκτικά και να διατεθούν κατάλληλα. Το νερό πρέπει να αντληθεί από το φρέαρ έως ότου η ποιότητα του να είναι ουσιαστικά η ίδια όπως πριν από την επεξεργασία. (Bruce Kroeker and Carl Nuzman, 2004)

2.4.5.1. Έλεγχος ροής αναρρόφησης

Η υπεράντληση και οι υπερβολικές ταχύτητες εισόδου είναι η αιτία πολλών προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένης της άντλησης άμμου. Μια συσκευή ελέγχου της ροής αναρρόφησης σχεδιάζεται για να διανείμει πιο ομοιόμορφα τη ροή σε ένα φρέαρ. Η εγκατάσταση αυτών των μονάδων ελέγχου ροής αναρρόφησης έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στον έλεγχο της άντλησης άμμου σε πολλά φρέατα. (Bruce Kroeker and Carl Nuzman, 2004)

2.4.5.2. Ένα πρόγραμμα αποκατάστασης

Μόλις προσδιοριστεί ένα πρόβλημα, οι πιθανές πηγές του προβλήματος πρέπει να αξιολογηθούν. Το ιστορικό της λειτουργίας πρέπει να αναθεωρηθεί μαζί με τα αποτελέσματα οποιωνδήποτε προηγούμενων προσπαθειών επεξεργασίας. Στη συνέχεια τα υπάρχοντα στοιχεία πρέπει να συμπληρωθούν και να εξεταστούν.

Ένα παράδειγμα αντιμετώπισης προβλημάτων που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή Mission Beach του Σαν Φραντζίσκο παρουσιάζεται στην συνέχεια.

Το πρόγραμμα αφορά την αντιμετώπιση προβλημάτων σε μια εφαρμογή HHD (horizontal directional drilling) διατρήσεων σε παράλια περιοχή προκειμένου να ενισχυθεί κατά την τουριστική περίοδο. Οι γεωτρήσεις κάλυπταν μια περιοχή με μήκος 1.500 πόδια και βάθος 40 ποδιών. Ταυτόχρονα έπρεπε να ληφθούν όλες οι απαραίτητες προφυλάξεις ώστε να

προστατευτεί η γύρω περιοχή από την μόλυνση από ρευστά διάτρησης και να επιτευχθεί σωστή διάθεση των απόβλητων των γεωτρήσεων.

Επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν ρευστά διάτρησης μπεντονίτη υψηλής απόδοσης σε μια μονάδα ανακύκλωσης λάσπης 4.000 γαλονιών. Ένα θέμα που απασχόλησε τους εργολάβους ήταν το πώς ο μπεντονίτης θα απέδιδε στα αμμώδη και λασπώδη εδάφη που ήταν διαποτισμένα με θαλασσινό νερό. Το ρευστό διάτρησης αναμίχθηκε έτσι ώστε να έχει ιξώδες 70 sec (Marsh Funnel) με γλυκό νερό αφού το pH είχε ρυθμιστεί με ανθρακικό νάτριο (soda ash) σε 10.

Κατα την διάτρηση των πρώτων 80 – 100 ft δεν παρουσιάστηκαν προβλήματα με ελάχιστες αλλαγές στο ρευστό διατρήσης το pH, το ιξώδες και τη δύναμη γέλης. Μεταξύ των 120 -150 ft, παρατηρήθηκε ότι το ιξώδες του ρευστού διάτρησης που επέστρεφε στη μονάδα ανακύκλωσης, είχε ελαττωθεί από 70 σε 60 sec, η δύναμη γέλης ήταν μειωμένη και το pH είχε μειωθεί σε 8,5. Έγινε ρύθμιση του pH ώστε να είναι ξανά 10, προστέθηκε μπεντονίτης και ένα φυσικό κυτταρινικό πολυμερές σώμα, πολυανιονική κυταρρίνη (rac), το οποίο αύξησε περαιτέρω το ιξώδες σε 80 sec.

Ο σκοπός του πολυμερούς σώματος ήταν να βοηθήσει να σταθεροποιήσει τον μπεντονίτη από την δυσμενή επίδραση των αλατουχων εδαφολογικών σχηματισμών που ήταν κάτω από τον κόλπο σε βάθος 50 ποδιών και να συγκρατήσει οποιαδήποτε μεταναστεύοντα ύδατα. Μετά από τη διάτρηση στα 150 -180 ft το ρευστό που επιστράφηκε στη μονάδα ανακύκλωσης και εξετάστηκε είχε ιξώδες 80 έως 75, καμία αλλαγή στην δύναμη γέλης και pH 9,5.

Προστέθηκε γλυκό νερό στο σύστημα, ρυθμίστηκε το pH ξανά σε 10, ενώ προστέθηκε επιπλέον μπεντονίτης και rac μέχρι να φτάσουμε σε ένα ιξώδες 85 sec. Συνεχίστηκε η διάτρηση άλλα 30 πόδια χωρίς προβλήματα ενώ το ρευστό δεν παρουσίασε σημαντικές αλλαγές.

Η διάτρηση συνεχίστηκε έως ότου έφθασε στα 1.500 ft χωρίς οποιαδήποτε προβλήματα με το ρευστό διατρήσης ή την επιστροφή του. Η γεώτρηση διευρύνθηκε και οι σωλήνες τοποθετήθηκαν ακίνδυνα. (Piasecki, 2002)

3. Γεωτρητικά ρευστά

3.1. Γενικά

Οι τρεις βασικοί τύποι γεωτρητικών ρευστών που χρησιμοποιούνται στις υδρογεωτρήσεις είναι αέρας, νερό ή πολφός (υδατικό αιώρημα μπεντονίτη) και αφρός. Τα γεωτρητικά ρευστά χρησιμοποιούνται για τους ίδιους λόγους που χρησιμοποιούνται στις γεωτρήσεις υδρογονανθράκων και στις γεωτρήσεις δειγματοληψίας, δηλαδή, να καθαρίζουν τα θραύσματα των πετρωμάτων κάτω από το κοπτικό άκρο και να τα μεταφέρουν στην επιφάνεια, να ασκούν υδροστατική πίεση στα τοιχώματα του φρέατος ώστε να αποτρέπουν την εισροή ρευστών πετρωμάτων στο φρέαρ, να διατηρούν το φρέαρ καθαρό έως ότου γίνει η επένδυση με σωλήνα και να ψύχουν και να λιπαίνουν την διατρητική στήλη και το κοπτικό άκρο.

3.2. Αέρας

Η χρήση του αέρα στις γεωτρήσεις εφαρμόζεται στις γεωτρήσεις πολύ σκληρών πετρωμάτων παρέχοντας τους υψηλότερους ρυθμούς διάτρησης, λόγω της μη άσκησης υδροστατικής πίεσης στον πυθμένα που θα οδηγούσε στην κατακράτηση τριμμάτων.

Χρησιμοποιείται στις περιστροφικές γεωτρήσεις και στις γεωτρήσεις με αερόσφουρα σε συνδυασμό με τα κατάλληλα κοπτικά άκρα. Επίσης προτιμάται από τον πολφό ή το νερό στις περιπτώσεις που υπάρχουν σπηλαιώσεις ή έντονες ρηγματώσεις που οδηγούν σε απώλειες πολφού και η αναπλήρωσή τους είναι αρκετά δαπανηρή υπόθεση.

Πολλές φορές με την χρήση κατάλληλου εξοπλισμού εγχέονται στο ρεύμα αέρα πολυμερή ή άλλα γεωτρητικά πρόσθετα για δημιουργία αφρού διαφόρων τύπων, για τον καλύτερο καθαρισμό της γεώτρησης και μεταφορά των τριμμάτων στην επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή η απαιτούμενη ταχύτητα αέρα – αφριστικού για μεταφορά των τριμμάτων είναι σημαντικά μειωμένη προστατεύοντας έτσι τα τοιχώματα της γεώτρησης. Επιπρόσθετα, δεν απαιτείται τεράστιος εξοπλισμός αεροσυμπιεστή. (Κελεσίδης, 2007)

3.3. Νερό-πολφός

Το νερό χρησιμοποιείται ως γεωτρητικό ρευστό όταν τα πετρώματα είναι σταθερά. Η ύπαρξη αργιλωδών εδαφών κατά την διάρκεια της διάτρησης δίδει τις απαιτούμενες ποσότητες αργίλων για την αύξηση και του ιξώδους αλλά και για την μικρή αύξηση της πυκνότητας του γεωτρητικού πολφού που συχνά επαρκούν για την γεώτρηση. Όταν όμως απαιτείται σωστή

ρύθμιση των ιδιοτήτων του ρευστού, του ιξώδους και της διηθητικής ικανότητας, δεν μπορούμε να στηριχθούμε στις προσθήκες αυτές και ρυθμίζουμε τις ιδιότητες του πολφού με την προσθήκη αργιλικών ουσιών, κυρίως μπεντονίτη.

Ο έλεγχος και η ρύθμιση των ιδιοτήτων του πολφού, ιδιαίτερα σε ρηχές γεωτρήσεις δοκιμών αλλά και κατά την εγκατάσταση νέων υδρογεωτρήσεων, είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στις περιστροφικές γεωτρήσεις. Πρέπει να δημιουργηθεί υμένιο στα τοιχώματα της γεώτρησης για την αποφυγή εισβολής πολφού στα υδροφόρα στρώματα, που είναι και ένα σημαντικό πρόβλημα της χρήσης γεωτρητικών πολφών όταν ο πολφός δεν είναι σωστά παρασκευασμένος. Φυσικά, το υμένιο πρέπει αργότερα να απομακρυνθεί για την τεθεί η υδρογεώτρηση σε παραγωγή. Επιπρόσθετα, με το κατάλληλο ιξώδες, η αιώρηση των τριμάτων της γεώτρησης στον πολφό είναι ευκολότερη με συνέπεια την απομάκρυνσή τους από την γεώτρηση και τον καλύτερο καθαρισμό του φρέατος. (Κελεσίδης, 2007)

3.4. Αφρός

Πολλές φορές προστίθενται υγρά υλικά στον συμπιεσμένο αέρα που δημιουργούν είτε αφρό είτε σταγονίδια με στόχο την βελτίωση της απόδοσης του αέρα ως γεωτρητικού ρευστού, ιδιαίτερα όταν απαντάται αρκετό νερό κατά την γεώτρηση με αέρα σχηματισμών που περιέχουν αργίλους και σχιστόλιθους. Ο αφρός θα βοηθήσει στο να διατηρήσει τα θραύσματα διαχωρισμένα, θα μειώσει τις επιπτώσεις αναπήδησης του κοπτικού στα τρίματα (balling), στην απομάκρυνση του νερού από τη γεώτρηση και θα επιτρέψει την απομάκρυνση μεγαλύτερων τριμάτων από το υπέδαφος. Λόγω των χαρακτηριστικών αυτών η ταχύτητα διάτρησης μπορεί ακόμη και να αυξηθεί λόγω του καλύτερου καθαρισμού της γεώτρησης ενώ επιμηκύνεται η διάρκεια ζωής του κοπτικού άκρου καθώς δεν επαναλέγεται τα τρίματα. Ο αφρός επίσης χρησιμοποιείται και ως καταστολέας σκόνης που δημιουργείται στη διάτρηση με αέρα, βοηθά και στην μείωση των απωλειών αέρα στους σχηματισμούς γεγονός που επιτρέπει την διάτρηση σε περιοχές που είναι γνωστό ότι περιέχουν ζώνες απωλειών ρευστών.

Τα υλικά που δημιουργούν αφρούς είναι συνήθως βιοδιασπώμενα μίγματα αφριστικών. Κατά την διάτρηση, εγχέεται στο ρεύμα του συμπιεσμένου αέρα ένα μίγμα αφριστικού και νερού με ρυθμό 1000 με 2000 lt/hr με τις πραγματικές συνθήκες να καθορίζουν την ακριβή ποσότητα. Ο αφρός που δημιουργείται μπορεί να είναι ένα νεφέλωμα σταγονιδίων (mist) με την ποσότητα του αφριστικού να κυμαίνεται από 0.25 lt ανά 380 lt νερού, έως πολύ σκληρό αφρό

(stiff foam) που μπορεί να αποτελείται από μίγμα μπεντονίτη ή οργανικό πολυμερές, νερό και αφριστικό. Τα σταγονίδια είναι γενικά επαρκή για την καταστολή της σκόνης, την καταπολέμηση μικρών εισροών νερού και την απομάκρυνση κολλωδών αργίλων, υγρής άμμου και μικρών χαλικιών από την γεώτρηση. Σκληρότερος αφρός απαιτείται σε δυσκολότερες καταστάσεις, όπως για παράδειγμα, για απομάκρυνση μεγαλύτερων θραυσμάτων, όταν υπάρχει σημαντική εισροή νερού ή όταν απαντώνται σχηματισμοί που δημιουργούν ασταθή πετρώματα (Εικόνα 14). (Κελεσίδης, 2007)



Εικόνα 14. Υδρογεώτρηση με 'σκληρό' αφρό (Κελεσίδης, 2007)

4. Μπεντονίτης

4.1. Γενικά

Η έννοια μπεντονίτης δεν είναι επιστημονικός όρος ο οποίος έχει ένα αποδεκτό σαφή ορισμό. Αναφέρθηκε στη βιβλιογραφία πρώτη φορά το 1898 από τον Αμερικάνο γεωλόγο Knight, ο οποίος με τον όρο αυτόν χαρακτήρισε τότε την άργιλο της τοποθεσίας Fort Benton (ΗΠΑ , πολιτεία Wyoming). Εν γένει όμως με τον όρο μπεντονίτης εννοούμε μία άργιλο η οποία αποτελείται κατά μεγάλο μέρος από ορυκτά της ομάδος των σμεκτιτών και ιδιαίτερα μοντμοριλλονίτη, τα οποία επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τις ιδιότητες του (διόγκωσιμότητα μέσω προσθήκης νερού, υψηλή πλαστικότητα).

Οι σημαντικότερες ιδιαιτερότητες των μοντμοριλλονιτών, οι οποίες καθορίζουν τις δυνατότητες χρήσεως των μπεντονιτών είναι:

1. Η περίσσεια αρνητικών φορτίων
2. Ο ασθενής δεσμός μεταξύ των τριπλών στρώσεων
3. Το πολύ μικρό μέγεθος των κόκκων

Από τις ιδιαιτερότητες αυτές προκύπτουν και οι κύριες ιδιότητες των μπεντονιτών,

δηλαδή :

- Η μεγάλη ειδική επιφάνεια
- Η μεγάλη ικανότητα προσρόφησης
- Η μεγάλη ικανότητα διόγκωσης
- Η μεγάλη συνδετική ικανότητα
- Η υψηλή διασπαρτότητα (διασπαρτική ικανότητα Dispergierbarkeit)και ικανότητα αιώρησης(Suspendierbarkeit)
- Η ιοντοανταλλακτική ικανότητα
- Η θιξοτροπία

Οι μπεντονίτες είναι άργιλοι πλούσιοι στο ορυκτό σμεκτίτης ανεξάρτητα από τον τρόπο γένεσης ή τον τρόπο εμφάνισης τους. Αποκαλούνται και άργιλοι με τις χίλιες χρήσεις λόγω των πολλών εφαρμογών τους. Η πληθώρα των εφαρμογών τους και η μεγάλη ποικιλία των μορφών με τις οποίες απαντούν οι μπεντονίτες έχει οδηγήσει σε σύγχυση σε ότι αφορά την εμπορική και την επιστημονική ορολογία στην Αμερική και την Ευρώπη. (Χρησιτίδης, 2002) (Κωστάκης, 2003)

4.2. Χρήσεις

Οι μπεντονίτες βρίσκουν εφαρμογές στις γεωτρήσεις πετρελαίου (λίπανση του γεωτρήσανου, στεγανοποίηση τοιχωμάτων γεώτρησης, μεταφορά τεμαχίων γεώτρησης), στα χυτήρια (σφαιροποίηση σιδηρομεταλλευμάτων, κατασκευή καλουπιών χύτευσης), στις κατασκευές (παρασκευή ειδικού μπετόν, στεγανοποίηση εδαφών, κατασκευή φραγμάτων κλπ), ως προσροφητικά υλικά, στην προστασία του περιβάλλοντος κλπ (Εικόνα 15). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα παράγωγα των μπετονιτών που προκύπτουν μετά από αντίδραση με οργανικές ενώσεις (οργανοφιλικόι μπετονίτες) και με ανόργανες ενώσεις (όξινα ενεργοποιημένοι και υποστυλωμένοι μπεντονίτες) τα οποία βρίσκουν εφαρμογές σε πολλές βιομηχανίες. Οι οργανοφιλικόι μπετονίτες χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία χρωμάτων, καλλυντικών και στην προστασία του περιβάλλοντος, ενώ οι υποστυλωμένοι σμεκτίτες (παράγωγα μπεντονιτών που προκύπτουν μετά από αντίδραση με ανόργανες ενώσεις) χρησιμοποιούνται ως καταλύτες στη βιομηχανία του πετρελαίου. Τέλος τα τελευταία χρόνια έχουν παρασκευαστεί οι λεγόμενοι ανόργανο-οργανοφιλικόι μπεντονίτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται με επιτυχία στην κατακράτηση συγκεκριμένων οργανικών ενώσεων ρυπαντών, οι οποίες δεν κατακρατούνται από απλούς οργανοφιλικούς μπεντονίτες. Οι ανόργανο-οργανοφιλικόι μπεντονίτες παρασκευάζονται μετά από αντίδραση με ανόργανες και οργανικές ενώσεις. Στη βιομηχανία τροφίμων είναι επίσης ποικίλες οι χρήσεις του μπεντονίτη. Στο κρασί και τον μούστο π.χ. είναι δυνατή, με προσρόφηση στον μπεντονίτη, η απομάκρυνση των λευκωμάτων και της τανίνης.

Ένα άλλο πεδίο διάθεσης του μπεντονίτη είναι ορισμένα δομικά έργα. Σε διάφορα υπόγεια έργα, όπως π.χ. κατασκευή σιδηρόδρομων, υπογείων σιδηροδρομικών γραμμών, θεμελιώσεις σε πυκνοδομημένες περιοχές, χρησιμοποιείται συχνά πυκνό αιώρημα μπεντονίτη για την σταθεροποίηση τοιχωμάτων εκσκαφών, κατά την διάρκεια των έργων, χωρίς να γίνονται καλουπίσματα.

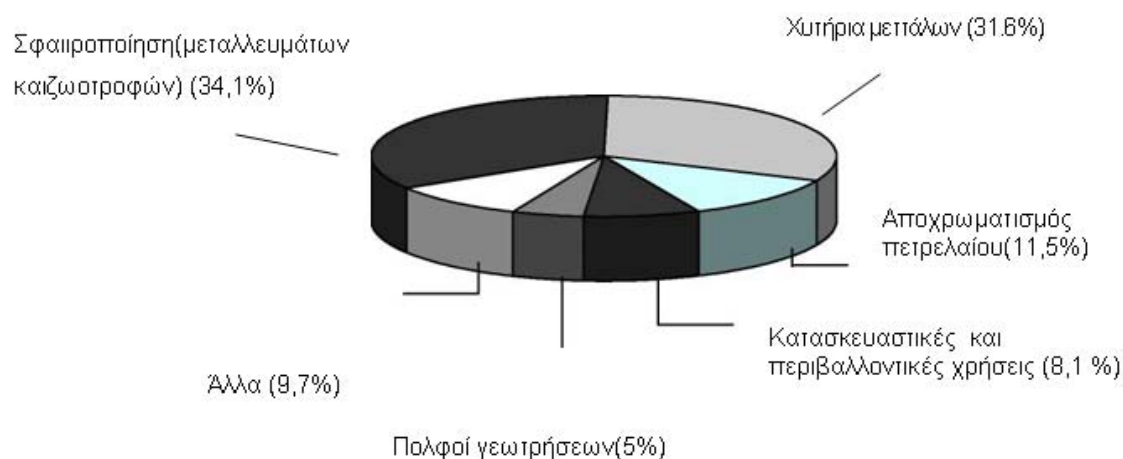
Στη βιομηχανία χάρτου χρησιμοποιούνται μπεντονίτες σαν πληρωτικό υλικό ή σαν προσθήκη του χρώματος του χάρτου π.χ. για βελτίωση των ιδιοτήτων του χαρτιού που έχουν σχέση με το τύπωμα ή για την απομάκρυνση ινών, χρωμάτων ή άλλων βλαπτικών ουσιών.

Μπεντονίτες ενεργοποιημένοι με οργανικές ενώσεις χρησιμοποιούνται σαν προσθήκη σε μπογιές, λίπη λιπάνσεως, κόλλες, αλοιφές, κολλοειδή διαλύματα πλαστικών προκειμένου να εμποδίζουν το κατακάθισμα και να πυκνώνουν το υλικό στο οποίο προστίθενται. Με την διόγκωση οργανόφιλων μπεντονιτών σε οργανικά υγρά και διαλυτικά μέσα αυξάνεται το ιξώδες και δημιουργείται θιξοτροπική ικανότητα, έτσι ώστε π.χ. σε χρώματα βαρείες χρωστικές ουσίες, όπως το μίνιο ή η σκόνη ψευδαργύρου, δεν κατακαθίζουν.

Ένας κύριος τομέας χρησιμοποίησης του μπεντονίτη είναι ως διαυγαστικό μέσο στις βιομηχανίες εξευγενισμού ελαίων, παραφινών, κεριών κ.α.

Για γεωτρήσεις (π.χ. για πετρέλαιο ή φυσικό αέριο) χρησιμοποιούνται νατριούχοι μπεντονίτες λόγω των ιδιαίτερων πεολογικών χαρακτηριστικών τους. Το αιώρημα του μπεντονίτη γελοποιείται όταν σταματήσει το γεωτρήπανο και αποτρέπει την πτώση τεμαχίων των πετρωμάτων του τοιχώματος. Τα αιωρήματα πρέπει να πληρούν μία σειρά απαιτήσεων ως προς τις ρεολογικές των ιδιότητες. (Χρηστίδης, 2002) (Κωστάκης, 2003)

Πολλές είναι οι χώρες που παράγουν μπεντονίτη. Μερικές από αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.



Εικόνα 15. Κύριες αγορές, κατά όγκο, για όλα τα προϊόντα μπεντονίτη το 2003 (Agnello, 2005)

USA	4,080,000	JAPAN	415,115
GREECE	1,150,000	UKRAINE	300,000
CIS	700,000	BRAZIL	275,000
TURKEY	636,273	MEXICO	269,731
ITALY	600,000	OTHERS	1,300,000
GERMANY	500,000		

Πίνακας 2. Η παγκόσμια παραγωγή όλων των τύπων μπεντονίτη υπολογίστηκε ότι είναι περίπου 10,226,119 tons το 2001(Murray, 2002) Παραγωγή κατά χώρα

4.3. Παραγωγή μπεντονίτη στην Ελλάδα

Ο Όμιλος S&B είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός μπεντονίτη στην Ευρώπη και ο δεύτερος παγκοσμίως. Ξεκίνησε το 1934 στην Ελλάδα, με δύο μεταλλευτικές εταιρίες:την Α.Ε.Μ.Βωξίται Παρνασσού και την Α.Ε.Ε.Αργυρομεταλλευμάτων & Βαρυτίνης. Η S&B Βιομηχανικά Ορυκτά Α.Ε., μητρική εταιρία του Ομίλου S&B, σχηματίστηκε από τη συγχώνευση αυτών των δύο εταιριών το 1996 ενώ το νέο όνομα και η νέα εταιρική της ταυτότητα υιοθετήθηκαν το 2003.

Η S&B αποτελεί σήμερα τον πολυεθνικό Όμιλο S&B με περισσότερες από 40 εταιρίες και εκτετα μένη διεθνή δραστηριότητα σε 23 χώρες σε 5 ηπείρους. Διαθέτει 42 ορυχεία και εγκαταστάσεις σε 14 χώρες. Από τις θέσεις αυτές προμηθεύει τους πελάτες της σε 69 χώρες διεθνώς.

Κατά το 2007 τα έσοδα από πωλήσεις του κλάδου μπεντονίτη αυξήθηκαν κατά 26,9%,φθάνοντας το νέο ρεκόρ των € 173 εκατ., ως αποτέλεσμα ισχυρής οργανικής ανάπτυξης σε όλες τις αγορές αλλά και της ενσωμάτωσης (Μάιος 2007) των πωλήσεων της CEBO (απόκτηση του 50% του μετοχικού κεφαλαίου στη CEBO International B.V, η οποία διατηρεί μονάδα παραγωγής στο IJmuiden της Ολλανδίας και προμηθευτικό δίκτυο,το οποίο εξυπηρετεί τη σχετική βιομηχανία στη Βόρεια Θάλασσα)

Επίσης,δόθηκε μεγάλη έμφαση στη γεωγραφική διεύρυνση του δικτύου κοιτασμάτων και μονάδων παραγωγής του Κλάδου, ειδικά στην Ευρώπη,την Αφρική και τη Βόρεια

Αμερική.Την παραγωγή του ομίλου ανα περιοχή και χρήση βλέπουμε στον πίνακα 3 και πίνακα 4. (S&B, 2007)

Πωλήσεις μπεντονίτη το 2007 ανά περιοχή
Ευρωπαϊκή Ένωση 82 %
B. Αμερική 7,8 %
A. Ευρώπη 7,0 %
Λοιπές περιοχές 3,4 %

Πίνακας 3. Πωλήσεις μπεντονίτη το 2007 από τον όμιλο S&B ανά περιοχή (S&B, 2007)

Πωλήσεις μπεντονίτη το 2007 ανά χρήση
Χυτήρια 42,5 %
Σφαιροποίηση σιδήρου 12,8 %
CEBO 10,4 %
Χύδην προϊόντα 9,6 %
Έργα πολιτικού μηχανικού 8,1 %
Άμμος υγιεινής 7,2 %
Ειδικές εφαρμογές 5,1 %
Γεωτρήσεις 1,6 %

Πίνακας 4. Πωλήσεις μπεντονίτη το 2007 από τον όμιλο S&B ανά χρήση (S&B, 2007)

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί και η Μυκομπάρ Μεταλλευτική Εταιρεία Α.Ε. που είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός μπεντονίτη στο νησί της Μήλου.

5. Ρευστά γεωτρήσεων με συστατικό τον μπεντονίτη

5.1. Γενικά

Η χρήση ρευστών διάτρησης χρονολογείται από τον 3ο αιώνα στην Αίγυπτο όπου το νερό χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει στην ανάκτηση των τριμμάτων από τις ρηχές γεωτρήσεις λατομείων. Από τότε, οι μόνες σημαντικές βελτιώσεις που αφορούν τη διαδικασία διάτρησης και τα ρευστά διατρήσεων έχουν εμφανιστεί τον τελευταίο αιώνα. Παρά αυτές τις προόδους, το νερό παραμένει το αρχικό συστατικό των ρευστών διάτρησης φρεάτων νερού, βοηθώντας στη μεταφορά τριμμάτων. Εντούτοις, τώρα ενσωματώνουμε ένα πλήθος πρόσθετων ουσιών στο νερό για να βοηθήσουμε και να βελτιώσουμε την απόδοσή του ως ρευστό. Σήμερα, οι συνηθέστερα χρησιμοποιημένες πρόσθετες ουσίες είναι ο νατριούχος μπεντονίτης, η πολυανιονική (polyanionic) κυτταρίνη (PAC) και το μερικώς υδρολυμένο πολυακρυλαμίδιο polyacrylamide (PHPA). Τα ρευστά διατρήσεων υποβάλλονται σε φορτία πίεσης και θερμοκρασίας κατά την κυκλοφορία τους στα φρέατα. Εντούτοις, λίγες πληροφορίες υπάρχουν για τις ποσοτικές αλλαγές του ιξώδους των ρευστών κατά τη διάρκεια της συνεχούς κυκλοφορίας. Επιπλέον ερευνάται εάν τα ρευστά είναι σε θέση να ενισχύσουν το αρχικό ιξώδες μετά από την εφαρμογή φορτίων πίεσης και αλλαγής της θερμοκρασίας. Ο μπεντονίτης έχει μια σύνθετη και ισχυρή εξάρτηση μεταξύ ιξώδους, χρόνου ενώ η έγχυση ρευστού κονιάματος μπεντονίτη μπορεί να είναι μια επιτυχής επιλογή για τις εφαρμογές στεγανοποίησης, αλλά όλη η εργασία δεν θα έχει αποτελέσματα αν δεν ακολουθηθούν τα κατάλληλα βήματα.(Fiber *et al*, 2006)

Η γεωλογία και ο στόχος της παραγωγής ύδατος υπαγορεύουν τις πρόσθετες ουσίες που θα χρησιμοποιηθούν. Οι ιδιότητες των ρευστών βελτιστοποιούνται για τον καθαρισμό και τη σταθερότητα των τοιχωμάτων των γεωτρήσεων ενώ πρέπει να ελαχιστοποιηθεί η ζημία στον παραγωγικό σχηματισμό για να εξασφαλιστεί μέγιστη παραγωγικότητα. (Borthakur *et al*, 1997)

5.2. Πρόσθετα ρευστών διάτρησης

Έχουν αναπτυχθεί διάφορα προϊόντα (πρόσθετα) για τη βιομηχανία υδρογεωτρήσεων συμπεριλαμβανομένων των πολυμερών, των ρευστοκονιαμάτων μπεντονίτη (Byrd, 2006) καθώς και προϊόντων όπως το EZ - Mud®, το Quik - Grout®, και το Aqua - Clear® PFD, ενώ πολλές είναι και οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον τομέα των ρευστών

διάτρησης. (Unknown c, 2007)

Η εταιρεία CETCO ®Drilling Products για παράδειγμα είναι μια εταιρεία που έχει εστιάσει στην κατασκευή ρευστών διάτρησης για γεωτρήσεις νερού. Η εταιρεία έχει εξελιχθεί σε πρωτοπόρο στον τομέα της κατασκευής ρευστών διάτρησης με μπετονίτη μερικά από τα σημαντικότερα προϊόντα της είναι: το Super Gel- X® και το Pure Gold ® που χρησιμοποιούνται για περιβαλλοντικές εφαρμογές. Η επιχείρηση παράγει επίσης διάφορα προϊόντα αποκατάστασης που περιλαμβάνουν διάφορα οξέα και καθαρισμού του πολφού μπετονίτη. (Unknown d, 2007)

Το σουλφονικό αλκυλικό Polyglycoside είναι άλλο ένα πρόσθετο που κυκλοφορεί στην αγορά και έχει σαν πλεονέκτημα την μείωση αφρίσματος ενώ έχει καλύτερη προσρόφηση στην επιφάνεια των μορίων αργίλου μπετονίτη. Το σουλφονικό αλκυλικό polyglycoside μπορεί να είναι σταθερό σε υψηλές θερμοκρασίες και έχει μεγαλύτερη διαλυτότητα στο νερό ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ βαθιά φρεάτια. (Chang *et al*, 2007)

5.3. Επιλογή του σωστού μίγματος ρευστού

Η επιλογή λανθασμένου ρευστού γεώτρησης σημαίνει πολλά χαμένα χρήματα οπότε η σωστή επιλογή είναι πρωτεύουσας σημασίας. Πολλοί εργολάβοι με στόχο να εξοικονομήσουν χρήματα κάνουν το λάθος να περιορίσουν ακόμη και επαρκή χρήση ρευστού κάτι που τελικά σημαίνει μεγαλύτερο τελικό κόστος αφού πολλά προβλήματα είναι πιθανόν να παρουσιαστούν. Δεδομένου μάλιστα ότι το κόστος του ρευστού κυμαίνεται μόλις στο 5 τοις εκατό του συνολικού κόστους βλέπουμε ότι πρόκειται για τραγικό λάθος.

Στα περισσότερα ρευστά, ο μπετονίτης, συγκεκριμένα ο νατριούχος μπετονίτης υψηλής απόδοσης (high yield), καθορίζει το ιξώδες και τη δύναμη γέλης (gel strength). Αυξημένο ιξώδες, επηρεάζει τα τρίμματα κατά την άντληση ενώ η υψηλή τιμή της δύναμης γέλης περιορίζει τη καθίζηση των τριμμάτων όταν η άντληση σταματάει. Πρόσθετα όπως το PAC και το PHPA μπορούν να συμβάλουν στο ιξώδες ενώ έχουν μικρότερη επίδραση στη δύναμη γέλης.

Στην ουσία, τα ρευστά διατρήσεων είναι ένα μίγμα νερού που εμπλουτίζονται με τις πρόσθετες ουσίες ρευστού διατρήσεων και είναι ευεργετικά επειδή σταθεροποιούν τη γεώτρηση ενώ επιτρέπουν στο προϊόν να ανακτάται ευκολότερα. Επιπλέον ψύχουν τον

εξοπλισμό και αφαιρούν τα τρίμματα της γεώτρησης. (Kaback, 2002) Οι παράγοντες που θα καθορίσουν τον τύπο του ρευστού που θα χρησιμοποιηθεί είναι:

5.3.1. Ο εδαφολογικός τύπος

Ο μηχανικός πρέπει να ξέρει τον βασικό τύπο του εδάφους στο οποίο θα γίνει η γεώτρηση. Η άμμος και η άργιλος έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν επιπτώσεις στην εγκατάσταση της γεώτρησης και τη διαδικασία της διάτρησης. Παραδείγματος χάριν, η άργιλος μπορεί να διογκωθεί και να γίνει κολλώδης όταν έρθει σε επαφή με το νερό. (Watkins-Miller, 2007)

Τα αμμώδη υλικά μπορούν επίσης να σταματήσουν τον εξοπλισμό εργασίας. Η πορώδης φύση της άμμου επιτρέπει στο νερό να κινηθεί και έτσι η λίπανση περιορίζεται και κάνει δυσκολότερη την μεταφορά των τριμμάτων. Ένα ρευστό μίγμα μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων.

Η διάτρηση ιδιαίτερα σε άμμους μπορεί να οδηγήσει σε ένα πλήθος προβλημάτων όπως οι χαμένες επιστροφές, κόλλημα του διαφορικού κ.τ.λ. (Amanullah, 2007) Διάφορες λύσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων όπως τα μπαλώματα τσιμέντου ή οι συμπίεσεις μπορεί να είναι δαπανηρές λύσεις και όχι πάντα επιτυχείς. Η χρήση των ρευστών, οι προσπάθειες έμπειρων τεχνικών ομάδων και η κατάλληλη εφαρμοσμένη μηχανική έχουν το προβάδισμα στην ανάπτυξη μιας καινοτόμου προσέγγισης για να αποτρέψουν τα προβλήματα και να αποφύγουν τις σύνθετες διαδικασίες στις απώλειες πολφού και τους κολλημένους σωλήνες. Ένα πρόσφατα αναπτυγμένο πρόσθετο για παράδειγμα αποτρέπει τη διήθηση και μπορεί να προστεθεί σε ένα βασισμένο στο νερό ρευστό (Morita, 1992). Πρόκειται για ένα τροποποιημένο υγρό αδιάλυτο πολυμερές σώμα που σχεδιάζεται για να μειώσει τη μετάδοση πίεσης των πόρων. Αυτό το χαρακτηριστικό βοηθά στην προστασία του σχηματισμού και εμποδίζει την απώλεια του ρευστού κατά την κυκλοφορία. Τα παραπάνω έχουν τα εξής αποτελέσματα:

(1) Η κοντινή περιοχή στα φρεάτια μετατρέπεται σε βράχο επειδή τα μόρια στη νέα λάσπη τείνουν να εμποδίσουν τα διαστήματα των πόρων

(2) Λόγω αυτής της παρεμπόδισης, η κοντινή δύναμη του πετρώματος αυξάνεται. Αυτή η επίδραση αυξάνει τις μαζικές και έκτατες δυνάμεις του αλλαγμένου βράχου και αυξάνει την πίεση σπασίματος. (Kroeker –Nuzman, 2004)

5.3.2. Ελαχιστοποίηση καταστροφής πορώδων σχηματισμών, σταθεροποίηση γεωτρήσεων

Η σταθερότητα των γεωτρήσεων μπορεί να επιτευχθεί μέσω των ρευστών που κατασκευάζονται διαφορετικά, ανάλογα με τη γεωλογία της περιοχής. Ο μπεντονίτης υψηλής απόδοσης στα φρέατα ύδατος είναι κατάλληλος για την ανάπτυξη ιξώδους με ελάχιστα στερεά. Έτσι ελαχιστοποιεί την πυκνότητα του ρευστού και με αυτόν τον τρόπο ασκώντας λιγότερη πίεση στη γεώτρηση ελαχιστοποιείται και η διήθηση του ρευστού στον περιβάλλοντα σχηματισμό. Χαρακτηριστικά, η πυκνότητα του ρευστού διάτρησης θα είναι λιγότερη από 1,02 g/cm³. Αυτό μπορεί να επιτρέψει στο σχηματισμό να παραμείνει σταθερός. Το PAC χρησιμοποιείται για να βοηθήσει μειώνοντας τη περαιτέρω διήθηση των ρευστών στο πέτρωμα.

Οι σχηματισμοί αργίλου και σχιστόλιθου τείνουν να διασκορπίσουν ή να «διογκωθούν» κατά την επαφή με το νερό. Οι διογκωμένοι σχηματισμοί περιορίζουν τη γεώτρηση. Το RHPA μπορεί να προστεθεί στον μπεντονίτη περιορίζοντας έτσι τη διόγκωση και τη διασπορά. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της διαμέτρου της γεώτρησης.

Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα ρευστού διάτρησης που συνδυάζεται με αποδοτικό εξοπλισμό ελέγχου στερεών, μπορεί να οδηγήσει στην αποδοτική παραγωγή στα φρέατα νερού. Παρά τις βελτιώσεις στην τεχνολογία διάτρησης, μια θεμελιώδης γνώση στη χρήση των ρευστών διάτρησης μπορεί να παρέχει πιο αποδοτικά φρέατα νερού. (Anderson, 2001)

5.3.3. Ρευστά διατρήσεων βασισμένα στο νερό

Τα ρευστά διατρήσεων δεν ήταν ποτέ τόσο δημοφιλή ή κρίσιμα για τις βιομηχανίες από ότι είναι σήμερα. Ακόμη τα σημερινά τρυπάνια έχουν τη δυνατότητα να τρυπήσουν βαθύτερα και σε λιγότερο χρόνο από πριν. Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα να τρυπήσουν περισσότερους τύπους σχηματισμών σε ποικίλες γωνίες.

Δεδομένου ότι το 95 - 99 % του ρευστού αποτελούνται από το νερό, είναι σημαντικό το νερό να έχει μια χαμηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο (< 200 PPM) και να έχει ένα pH της τάξης 8-9. Τύποι ρευστού και προσθετικών που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι:

- μπεντονίτης - υψηλής ποιότητας μπεντονίτης νατρίου Wyoming.

- μερικώς υδρολυμένο polyacrylamide (PHPA) - υγρό ή ξηρό πολυμερές σώμα που χρησιμοποιείται με ή χωρίς μπεντονίτη για να αυξήσει το ιξώδες του ρευστού και να εμποδίσει τον άργιλο και το σχιστόλιθο από τη διόγκωση .
- κυτταρίνη Polyaniionic (PAC) - υγρό ή ξηρό πολυμερές σώμα που χρησιμοποιείται με ή χωρίς μπεντονίτη για να αυξήσει τη σταθερότητα της γεώτρησης στους μη σταθεροποιημένους σχηματισμούς.
- απορρυπαντικά - μέσα που χρησιμοποιούνται με τα ρευστά διατρήσεων μπεντονίτη για να μειώσουν την επιφανειακή τάση των στερεών
- ανθρακικό άλας νατρίου (σόδα) - πρόσθετη ουσία που αυξάνει το pH του ύδατος

Υπάρχουν βέβαια πολλοί άλλοι τύποι πολυμερών σωμάτων και πρόσθετων ουσιών που είναι διαθέσιμοι στη βιομηχανία, όμως αυτές οι πέντε ουσίες αποτελούν την πλειοψηφία των συστατικών των ρευστών που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Το να χρησιμοποιούμε όσο πιο απλή λάσπη μπορούμε είναι πολύ σημαντικό. Μια καλή εμπειροτεχνική μέθοδος είναι: στα λεπτά χώματα (άργιλος), χρησιμοποιούμε ένα πολυμερές σώμα ή ένα σύστημα πολυμερών σωμάτων μπεντονίτη ενώ σε πιο χονδροειδή εδαφολογικά στρώματα (άμμος και αμμοχάλικο) χρησιμοποιούμε ένα μπεντονίτη ή ένα σύστημα μπεντονίτη και πολυμερών σωμάτων (Πίνακας 5). (Papp, 2001)

Χαμηλό Ph/Σκληρό νερό	Τύπος ρευστού	Δόση
αμμώδη υλικά	μπεντονίτης	15-30 lib/bbl
αμμώδη υλικά και χαλίκια	μπεντονίτης και PAC	20-35/4 gal
άργιλοι	μπεντονίτης και PHPA	10-15/4 gal
διογκωμένοι και κολλώδεις άργιλοι	πρόσθετο απορρυπαντικό στον υπάρχον πολφό	1-3 /4 gal
χαμηλό Ph/σκληρό νερό	soda ash (ανθρακικό νάτριο)	0.25-0.5 lib/bbl

Πίνακας 5. Επιλογή ρευστού ανάλογα με τις συνθήκες της γεώτρησης (Papp, 2001)

5.3.4. Ρευστά διατρήσεων βασισμένα σε πολυμερή

Εργαστηριακά πειραματικά προγράμματα, όπως αυτό στο πανεπιστήμιο του Μισούρι - Κολούμπια έχουν αναλάβει να αναπτύξουν καλύτερες μεθόδους διάτρησης ειδικά σε σχιστόλιθο. Αρχικός στόχος τους είναι να αναπτυχθεί ένα σύνολο πειραματικών διαδικασιών και που θα οδηγήσει στο να μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά ουσίες βασισμένες σε άργιλο. (Likos, 2005)

5.3.4.1. Παρατηρήσεις και συμπεράσματα

Μερικά από τα γενικά συμπεράσματα που ελήφθησαν από αυτήν την μελέτη είναι:

1. Η προετοιμασία των πολυμερών ΡΗΡΑ δεν απαιτεί παρατεταμένο χρόνο ανάμιξης.
2. Οι στερεοί (κοκκώδεις) πολυμερείς πηλοί αναπτύσσουν ιξώδες γρηγορότερα (5-18 ώρες) από τους υγρούς (γαλακτωματοποιημένους) πολυμερείς πηλούς (> 48 ώρες).
3. Δεν υπάρχει καμία σημαντική εξάρτηση από τον τύπο (κατασκευαστής) ή τη μορφή (στερεό ή υγρό) των πολυμερών πολφών.
4. Η διόγκωση των δειγμάτων εμποδίζεται με την χρήση του πολυμερούς πηλού.
5. Ο μαζικός δείκτης σκληρότητας συστηματικά αυξάνεται με την αυξανόμενη συγκέντρωση πολυμερούς πηλού. (Likos, 2005)



Εικόνα 16. Προετοιμασία ρευστού (Likos, 2005)

Για να υπάρχει μια ικανοποιητική ρεολογία των ρευστών διάτρησης μπορεί να γίνει χρήση πολυμερών σωμάτων που ενισχύουν το ιξώδες της υγρής φάσης των λασπών. Η ρεολογία θα μπορούσε περαιτέρω να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας πρόσθετα όπως τα MMH (Mixed Metal Hydroxide) και FCLS (Ferrochromme Lignosulfonate) τα οποία βοηθούν σε υψηλές θερμοκρασίες. Ένα βελτιστοποιημένο κατιονικό ρευστό πολυμερών διατρήσεων αναπτύχθηκε με το ιξώδες του διευθετήσιμο σε 55-180 sec (Marsh Funnel). Αυτή η λάσπη που κατασκευάστηκε στο Κολούμπια χρησιμοποιήθηκε για υδρογονάνθρακες σε τρία φρεάτια στην πετρελαιοφόρο περιοχή Jiudong και βρέθηκε να είναι πολύ επιτυχής. (Ai, 2007)

5.3.5. Η σύσταση του νερού

Ο μπεντονίτης και τα πολυμερή σώματα αποδίδουν καλύτερα στο νερό όταν υπάρχει το σωστό και κατάλληλο pH. Η πηγή του νερού πρέπει να ελέγχεται και να ρυθμίζεται ώστε να λάβει το σωστό pH. Ο μηχανικός μπορεί να κάνει μια απλή εξέταση για να κάνει αυτή την εκτίμηση. Ακόμη πρέπει επίσης να ελεγχθεί το νερό για την παρουσία ασβεστίου, η οποία μπορεί να εμποδίσει το μπετονίτη από το να αναμιχθεί κατάλληλα. Ακόμη ο μπετονίτης δεν αναμιγνύει καλά το αλμυρό νερό επομένως, πρέπει να αποφευχθεί σε τέτοιες περιπτώσεις. (Liu, 2007)

Ο υπολογισμός του κατάλληλου όγκου του νερού είναι επίσης σημαντικός κάτι που είναι εφικτό με χρήση ειδικού λογισμικού. (Watkins-Miller, 2007)

Ένας νέος downhole αισθητήρας pH που τοποθετείται μέσα στο φρέαρ έχει λοιπόν αναπτυχθεί για να παρέχει μια επιτόπια μέτρηση pH του νερού του ύδατος σχηματισμού. Η τεχνική μέτρησης βασίζεται σε χρωστικές ουσίες που αλλάζουν χρώμα σύμφωνα με το pH του νερού του σχηματισμού ενώ η καταγραφή γίνεται με τη βοήθεια ενός οπτικού ανιχνευτή. Το pH αλλάζει εξαιτίας όξινων αερίων και αλάτων.

5.4. Ρευστά διατρήσεων που ανακυκλώνονται (αναφορά από μικρότερες εγκαταστάσεις γεώτρησης HDD)

Τα ρευστά διατρήσεων που ανακυκλώνονται έχουν βρει την εύνοια των μηχανικών και των εργολάβων που ασχολούνται με τις γεωτρήσεις. Τα πλεονεκτήματα όπως το λιγότερο νερό που χρησιμοποιείται και η λιγότερη λάσπη που παράγεται μειώνουν το κόστος και το χρόνο εργασίας στη διάτρηση.

Αρχές λειτουργίας:

Το ρευστό διατρήσεων που αντλείται περνάει σε δονούμενη γέφυρα διαλογής όπου τα μεγαλύτερα τρίμματα από τη διάτρηση αφαιρούνται. Το ρευστό έπειτα οδηγείται υδροκυκλώνες για την αφαίρεση των λεπτότερων στερεών. Η υπερχειλίση των υδροκυκλώνων δίνει τελικά καθαρό υγρό που οδηγείται σε μια καθαρή δεξαμενή και είναι έτοιμο για επαναχρησιμοποίηση ή βελτίωση. Ο επεξεργασμένος όγκος που δεν στέλνεται πίσω στην εγκατάσταση γεώτρησης ρέει πίσω στο πρώτη δεξαμενή για επανεπεξεργασία.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αποκατάστασης μέσω υπερχειλίσης υδροκυκλώνων

Αν και οι υδροκυκλώνες είναι σε θέση να αποβάλλουν τα πολύ λεπτά στερεά, το απομένον υλικό είναι ένας πηλός που μπορεί να αποτελέσει μέχρι και 15 τοις εκατό του συνολικού υγρού των επεξεργασμένων υλικών. Το πλεονέκτημα στην απόρριψη αυτού του πηλού είναι η αφαίρεση εξαιρετικά λεπτών στερεών. Το μειονέκτημα είναι τα μεγάλα ποσά αποβλήτων που πρέπει να ξεφορτωθούμε. (Fletcher, 2001)

5.5. Εκτιμήσεις για την ανακύκλωση ρευστού διάτρησης

Η ανακύκλωση της λάσπης χρειάζονται πολύ λιγότερο χρόνο από ότι η διαδικασία της κατασκευής της. Η κατάλληλη ρύθμιση του pH του νερού είναι κρίσιμη επειδή μεγάλα ποσά μπετονίτης θα απορριφθούν. Η χρήση των απορρυπαντικών (surface active agents=surfactants), που χρησιμοποιούνται στη διάτρηση των κολλωδών αργίλων, πρέπει να περιοριστεί στο ελάχιστο, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μαζί με πολυμερές σώμα.

Με μια πρόχειρη εκτίμηση και σύμφωνα με την σχέση
$$V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D_{hole}}{12} \right)^2 \times L \times 7.481$$
 όπου V =όγκος του φρέατος (αμερικάνικα γαλόνια), D_{hole} =διάμετρος φρέατος (inch) και L =το βάθος της γεώτρησης (ft), (Hyeon – Shik B. *et al*, 2000) για μια γεώτρηση περίπου 300 m με διάμετρο περίπου 17 ίντσες, θα χρειαζόνταν περίπου 1060,23 US gallons ή 4009,58 lit. ρευστού διάτρησης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο όγκος που μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί είναι το 85 % όποτε έχουμε έναν όγκο ρευστού της τάξεως των 3,408 lit που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά.

6. Πειραματική Μεθοδολογία

6.1. Εισαγωγή – Στόχος πειραμάτων

Κατά την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας εκτελέστηκαν σειρά πειραμάτων που είχαν σαν σκοπό την μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων των πολφών γεωτρήσεων οι οποίοι έχουν σαν βάση τον μπεντονίτη κάτω από την επίδραση εξωγενών παραμέτρων. Τα πειράματα εκτελέστηκαν στο εργαστήριο της Τεχνικής Γεωτρήσεων στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Η διαδικασία όσον αφορά τα δείγματα πολφών που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν βασίζεται στις οδηγίες των εγχειριδίων του American Petroleum Institute (API, 2003) Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συνοπτικός πίνακας (Πίνακας 6) των πειραμάτων:

Τύπος δείγματος (πολφού)	Επίδραση NaCl	Επίδραση KCl	Αραίωση με θαλασσινό νερό	Αραίωση με προσομοιω μένο θαλασσινό νερό	Αραίωση με απιονισμένο νερό	Ανάδευση (Rolling)	Σύγκριση μετρήσεων με διαφορετικού ς ρότορες (bobs)	Μέτρηση σε φιλτροπρέσα χαμηλής πίεσης
Wyoming 2% 0M	X	X						
Wyoming 2%0.01M	X	X						
Wyoming 2% 0.1M	X	X						
Wyoming 5% 0M	X	X	X					
Wyoming 5%0.01M	X	X						
Wyoming 5% 0.1M	X							
Wyoming 6% 0M			X				X	
Wyoming 6.42% 0M	X	X				X		
Wyoming 6.42%0.01M	X	X						
Wyoming 6.42% 0.1M	X	X						
Zenith 2% 0M	X	X						
Zenith 2% 0.01M	X	X						
Zenith 2% 0.1M	X	X						
Zenith 5% 0.01M	X							
Zenith 5% 0.1M		X				X		
Zenith 6.42% 0M	X	X						
Zenith 6.42%0.01M	X							
Zenith 6.42%0.1M			X	X	X			
Προενυδατωμένος Wyoming 3.5 %			X	X	X			
Προενυδατωμένος Wyoming 4%			X	X	X			
Προενυδατωμένος Wyoming 4.5%			X					X
Προενυδατωμένος Wyoming 5%			X					X
Προενυδατωμένος Wyoming 5.5%			X					X
Προενυδατωμένος Wyoming 6%			X					X
Προενυδατωμένος Wyoming 6.5%				X				X

Πίνακας 6. Πίνακας υλοποιηθέντων πειραμάτων

6.2. Θεωρητικό υπόβαθρο – Ρεολογία ρευστών

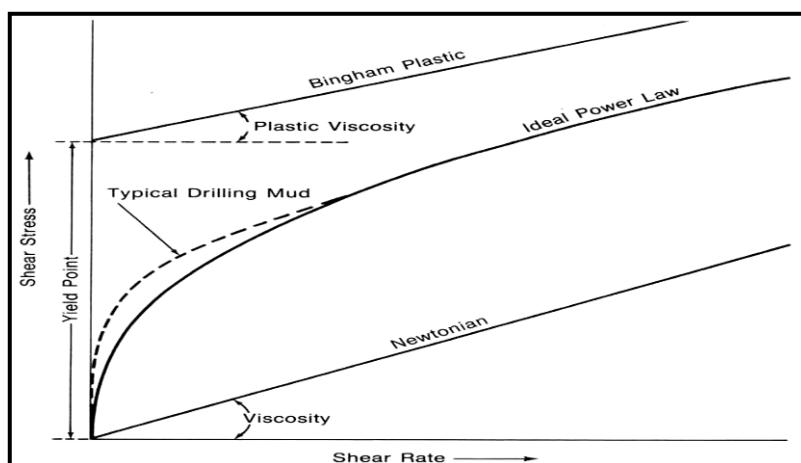
Η επιστήμη της ρεολογίας εξετάζει τα φαινόμενα παραμόρφωσης (εξαλλοίωσης σχήματος) όλων των μορφών της ύλης, αλλά η σημαντικότερη εφαρμογή, στην οποία οφείλει και τη ραγδαία ανάπτυξή της, είναι η μελέτη της συμπεριφοράς ροής μέσω σωλήνων και καναλιών μεταφοράς ρευστών. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην σχέση μεταξύ πίεσης και ρυθμού ροής, καθώς και τις επιπτώσεις των ρεολογικών παραμέτρων του ρευστού στις παραπάνω παραμέτρους. Υπάρχουν δύο βασικές διαφορετικές συμπεριφορές :

Το καθεστώς γραμμικής ροής σε χαμηλές ταχύτητες ροής. Η ροή είναι στρωτή και η σχέση πίεσης – ταχύτητας ροής είναι συνάρτηση των παραμέτρων του ιξώδους ρευστού

Το καθεστώς τυρβώδους ροής σε υψηλές ταχύτητες. Η ροή είναι μη στρωτή και διέπεται βασικά από τις αδρανειακές ιδιότητες του ρευστού σε κίνηση. Οι σχέσεις ροής είναι εμπειρικές.

Οι σχέσεις της γραμμικής ροής που συσχετίζουν τα χαρακτηριστικά του ρευστού με τη συμπεριφορά της ροής, βασίζονται σε συγκεκριμένα ρεολογικά μοντέλα. Τα ρεολογικά μοντέλα διακρίνονται σε Νευτώνειο και μη Νευτώνεια. (Αυλωνίτης, 2006)

Τα μοντέλα ροής απεικονίζονται συνήθως σαν καμπύλες, σε διαγράμματα πίεσης ροής – ρυθμού ροής ή διατμητικής τάσης (shear stress) – βαθμίδας ταχύτητας (shear rate), (περιστροφής ιξωδομέτρου rpm)



Εικόνα 17. Ιδανικές καμπύλες ρεολογικών μοντέλων (Κελεσιδης, 2007)

6.3. Ρεολογικά μοντέλα

6.3.1. Νευτώνειο μοντέλο

Οι δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται σε απλά Νευτώνεια ρευστά χαρακτηρίζονται από το δυναμικό ιξώδες (ή ιξώδες) ρευστού. Παραδείγματα Νευτώνειων ρευστών είναι το νερό, τα αέρια, το πετρέλαιο.

Το μοντέλο αυτό υποδηλώνει ότι η διατμητική τάση, τ , που αναπτύσσεται στο ρευστό λόγω ροής είναι απευθείας ανάλογη της βαθμίδας ή κλίσης της ταχύτητας, $\dot{\gamma} = du/dx$, ως εξής $\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$, όπου μ είναι σταθερά αναλογίας και ονομάζεται ιξώδες του ρευστού.

Το ιξώδες εκφράζεται σε poises και $1 \text{ poise} = 1 \text{ dyne-sec/cm}^2 = 1 \text{ g/cm-sec}$. Συνήθως το ιξώδες εκφράζεται σε centipoises (cP) = 0,01 poise. (Κελεσίδης, 2007)

6.3.2. Μη Νευτώνεια μοντέλα

Αιωρήματα όπως οι λάσπες γεώτρησης, που περιέχουν σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο των μορίων σε σημαντικές συγκεντρώσεις, κολλοειδή διαλύματα και ουσίες όπως η ζελατίνη, το γάλα, το υγρό τσιμέντο, το αίμα, κτλ δεν υπακούουν στο νόμο του Newton και κατηγοριοποιούνται ως μη Νευτώνεια ρευστά. Στα μη Νευτώνεια ρευστά το μετρούμενο φαινομενικό ιξώδες εξαρτάται από την βαθμίδα ταχύτητας (shear rate), το προηγούμενο ιστορικό των βαθμίδων ταχύτητας (prior shear rate history), δηλαδή $\mu_a = \mu_a(\dot{\gamma})$ και προσδιορίζεται ως $\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$. Είναι σημειακό και για Νευτώνεια $\mu_a = \mu$.

Εάν το φαινομενικό ιξώδες ελαττώνεται με την αύξηση της βαθμίδας ταχύτητας ονομάζονται ψευδοπλαστικά – pseudoplastic και εάν αυξάνεται ονομάζονται διασταλτικά.

Επιπρόσθετα, εάν το φαινομενικό ιξώδες ελαττώνεται με τον χρόνο κατόπιν της αύξησης της βαθμίδας ταχύτητας σε νέα τιμή ονομάζεται θιξοτροπικό – thixotropic, εάν δε αυξάνεται ονομάζεται ρεοπηκτικό – rheopectic.

Απλά αξίζει εδώ να αναφέρουμε ότι τα ρευστά γεώτρησης είναι συνήθως ψευδοπλαστικά και θιξοτροπικά.

Η ψευδοπλαστική συμπεριφορά των ρευστών γεώτρησης μοντελοποιείται με την χρήση των μοντέλων πλαστικό Bingham (Bingham plastic), εκθετικού νόμου (power law) και μοντέλο Herschel – Bulkley.

Έτσι έχει βρεθεί ότι υδατικά αιωρήματα μπεντονίτη περιγράφονται πολύ καλά με το μοντέλο Herschel – Bulkley (Kelesidis et al., 2007 a, b, c) που περιγράφεται από την εξίσωση:

$\tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n$ όπου τ η διατμητική τάση, τ_y η τάση διολίσθησης, K ο οδηγός συνάφειας, $\dot{\gamma}$ ο ρυθμός διάτμησης και n ο οδηγός συμπεριφοράς ροής. (Κελεσίδης, 2007)

6.3. Περιγραφή εργαστηριακού εξοπλισμού

6.3.1. Όργανα μέτρησης ιξώδους

Τα ακόλουθα όργανα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του ιξώδους των ρευστών:

1. Marsh funnel – (χωνί Marsh) – μια απλή συσκευή για μετρήσεις ρουτίνας (Εικόνα18).
2. Ομοαξονικό ιξωδόμετρο περιστρεφόμενου κυλίνδρου (Εικόνα 19).

6.3.1.1. Marsh funnel

Ακολουθώντας τις πρότυπες διαδικασίες, το χωνί Marsh έχει διαστασιολογηθεί έτσι ώστε, ο χρόνος εκροής καθαρού νερού, όγκου ίσου με ένα τέταρτο του γαλονιού (946 cm^3) σε θερμοκρασία $70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{F}$ ($21 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$), να είναι $26 \pm 0,5$ δευτερόλεπτα. Ένα βαθμονομημένο δοχείο χρησιμοποιείται σαν δέκτης. Στη συνέχεια ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα

Εικόνα18. Marsh Funnel (Κελεσίδης, 2007)



- Το κάτω στόμιο καλύπτεται και παρέχεται φρεσκοφτιαγμένο ρευστό στο καθαρό και στεγνό χωνί, μέχρι τη κορυφή του (946 cm^3).
- Απελευθερώνεται γρήγορα το στόμιο και μετράται ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρωση του βαθμονομημένου δοχείου συλλογής.
- Ο μετρούμενος χρόνος στρογγυλοποιείται χωρίς δεκαδικό ψηφίο, όπως και η θερμοκρασία του δείγματος.

Σύγχρονα ιξωδόμετρα που στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας παρέχουν καλύτερη ακρίβεια και σε πολύ μικρό χρόνο, όπως του τύπου «Boekel cur». Το ιξώδες προσδιορίζεται μετρώντας τον χρόνο σταθερής ροής δείγματος από την κάτω οπή του κυπέλλου. Το συγκεκριμένο όργανο μετράει ιξώδες σε ένα εύρος μεταξύ 18 και 1725 centistokes, σε χρόνο λιγότερο από 90 δευτερόλεπτα. (Κελεσίδης, 2007)

6.3.3.2. Ιξωδόμετρο εργαστηρίου

Πρόκειται για ένα ψηφιακό αυτόματο όργανο της Grace Instruments. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι το M3500a και είναι ένα κλασσικό ομοαξονικό κυλινδρικό περιστροφικό ιξωδόμετρο τύπου Couette (Εικόνα 19).



Εικόνα 19. Ιξωδόμετρο Grace Instrument M3500a

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου ιξωδομέτρου είναι:

- ◆ Έχει ένα εύρος στροφών από 0,02 – 600 rpm συνεχόμενα (χωρίς ενδιάμεση παύση) και όχι μεμονομένες τιμές (πχ. 3, 6, 100, 200, 300, 600 rpm). (Πίνακας 7)
- ◆ Φέρει θερμαινόμενο δοχείο για έλεγχο σε θερμοκρασίες πέρα από την θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ◆ Διαθέτει λογισμικό που επιτρέπει τη ρύθμιση των παραμέτρων του πειράματος μέσω Η/Υ, καθώς και τη δυνατότητα εκτέλεσης πειράματος σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα συλλέγονται με ψηφιακή μορφή σε βάση δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία. (Κελεσίδης, 2007)

ΕΥΡΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΟΡΓΑΝΟΥ	
Ταχύτητα περιστροφής	0,02 – 600 rpm (συνεχόμενα)
Ρυθμός διάτμησης	0,0027 – 3254 sec ⁻¹
Θερμοκρασία	10 °F - 212 °F, (-12 °C - 100 °C)
Πίεση	Ατμοσφαιρική
Ιξώδες	0,5 – 5.000.000 cp
Ροπή	0 – 1 oz-in ή 0 – 5 oz-in
Διατμητική τάση	1 – 37.000 dyn/cm ²
Ακρίβεια	± 0,5 % του συνολικού εύρους

Πίνακας 7. Εύρη μετρήσεων ιξωδομέτρου Couette (Κελεσίδης, 2007)

6.4. Καθιερωμένη διαδικασία ελέγχου ρευστών γεώτρησης

Το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (API) έχει προτείνει μια σειρά διαδικασιών πειραματικής μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό διαφόρων ιδιοτήτων των ρευστών γεώτρησης, όπως η πυκνότητα, το ιξώδες και τη δύναμη γέλης (gel strength), τη διύλιση, τη χημική ανάλυση κ.α. που αναφέρονται σε εγχειρίδια όπως τα: API Recommended Practice 13I και API Recommended Practice 13D. Στην συνέχεια αναπτύσσεται η προτεινόμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό του ιξώδους και της δύναμης γέλης. Οι διαδικασίες αυτές πρέπει να εφαρμόζονται όπου είναι δυνατόν, ώστε οι μετρήσεις να είναι τυποποιημένες και τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα με αυτά που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. (Κελεσίδης, 2007)

6.5. Ρεολογικά μοντέλα για ομοαξονικό κυλινδρικό ιξωδόμετρο

6.5.1. Ιξωδόμετρο και εξίσωση ροής

Η γεωμετρία του βασίζεται στα πρότυπα που έχουν οριστεί από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (API) για την αξιολόγηση όλων των ρευστών της βιομηχανίας πετρελαίου. Το ρευστό περιέχεται σε ειδικό δοχείο (cup). Ένα εξωτερικό κάλυμμα (rotor sleeve) περιστρέφεται ομόκεντρα γύρω από έναν εσωτερικό συμπαγή κύλινδρο (bob), ο οποίος εξαρτάται από περιστροφικό ελατήριο (torsional spring). Το κενό μεταξύ των δύο κυλίνδρων (rotor – bob) είναι μικρό, περίπου 1mm. Ένας μετρητής, προσαρμοσμένος στο ελατήριο, καταγράφει την γωνία περιστροφής (απόκλισης) κατά τη λειτουργία του οργάνου (Εικόνα 20).

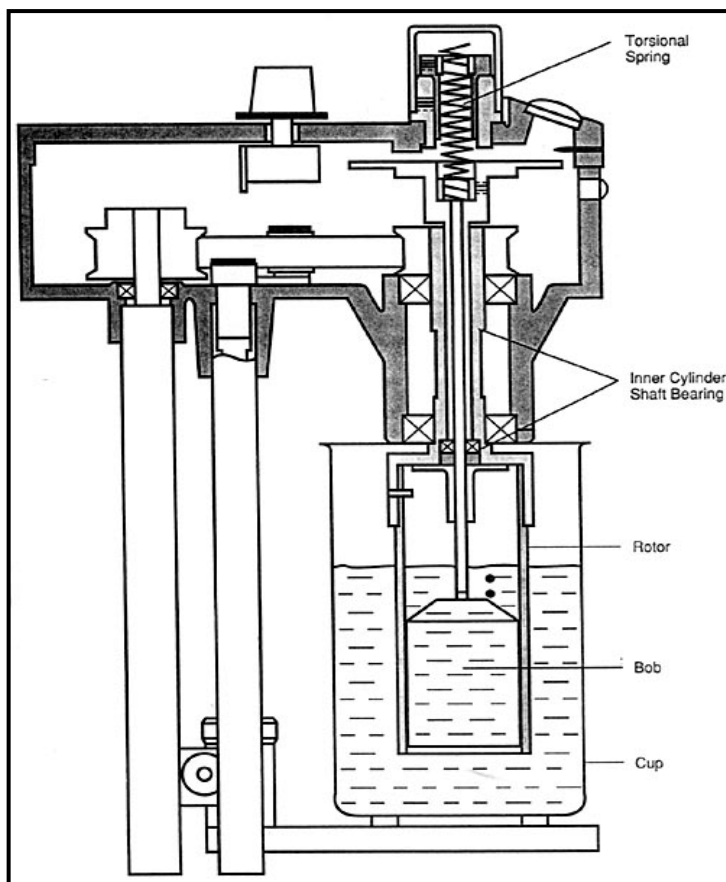
Η δοκιμή του ρευστού γίνεται μεταξύ των δύο ομόκεντρων κυλίνδρων (rotor – bob), ακτίνων R_o και R_i , εκ των οποίων ο εξωτερικός περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω . Ας υποθέσουμε ότι η κίνηση του ρευστού λαμβάνει χώρα κατά επίπεδα ομόκεντρων κύκλων γύρω από τον κοινό άξονα. Καθώς ο εξωτερικός κύλινδρος περιστρέφεται προκαλεί διατμητική τάση μεταξύ των επιπέδων του ρευστού, από το εξωτερικό (R_o) προς το εσωτερικό (R_i). Αποτέλεσμα αυτού είναι να “επάγεται” ροπή στον εσωτερικό κύλινδρο που μετράται και εξαρτάται από την γωνιακή ταχύτητα βάσει της σχέσης για Νευτώνεια ρευστά με ιξώδες, μ :

$$\tau = \frac{T}{2\pi L R_i^2} = \frac{2\mu S^2 \omega}{S^2 - 1}$$

όπου $S = \frac{R_o}{R_i}$ και $\omega = \frac{2\pi N}{60}$, (N τα rpm)

μετρώνται το T (ροπή) και ω ενώ γνωρίζουμε τις υπόλοιπες παραμέτρους και συνεπώς υπολογίζουμε το μ .

Για μη Νευτώνεια ρευστά έχουμε τα ζεύγη τιμών T_i (ή τ_c) και ω_i (ή $\dot{\gamma}_i$) και με μή γραμμική παλινδρόμηση προσδιορίζεται ο τύπος του ρεολογικού μοντέλου. Για Herschel – Bulkley ρευστά η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο είναι: $\tau = \tau_y + \mu \dot{\gamma}$, για εκθετικού νόμου είναι: $\tau = K \dot{\gamma}^n$ και για μοντέλο Bingham Plastic, έχει εξίσωση: $\tau = \tau_y + \mu \dot{\gamma}$



Εικόνα 20. Σχηματικό διάγραμμα ομοαξονικού κυλινδρικού ιξωδομέτρου, τύπου Couette

6.6. Διαδικασία μετρήσεων – Επεξεργασία δεδομένων

Σύμφωνα με τις οδηγίες του API που προαναφέρθηκε, ορίζουμε στο λογισμικό του οργάνου (μέσω του Η/Υ που είναι συνδεδεμένος με το ιξωδομέτρο) κάποια συγκεκριμένα βήματα (steps) χρονικής διάρκειας 60 sec και με σταθερή ταχύτητα περιστροφής του rotor sleeve για κάθε βήμα (Πίνακας 8). Η ταχύτητα στο πρώτο βήμα είναι 600 rpm και ορίζουμε εμείς στο όργανο πόσες μετρήσεις θέλουμε να πάρει μέσα στο διάστημα των 60 sec. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αλλά και γενικότερα 6 μετρήσεις σε κάθε βήμα (1 ανά 10 sec) είναι ικανοποιητικός αριθμός. Σε κάθε βήμα επίσης ορίζουμε και την επιθυμητή θερμοκρασία του ρευστού μας ή απλά και μόνο την θερμοκρασία περιβάλλοντος στην οποία επιθυμούμε να μετρήσουμε το ιξώδες του ρευστού. Παρακάτω φαίνονται τα βήματα αλλά και οι ταχύτητες περιστροφής που ορίζουμε σύμφωνα με την μεθοδολογία.

Αριθμός βήματος	Ταχύτητα Καλύμματος (rpm)	Διάρκεια (sec)
Βήμα 1	600	60
Βήμα 2	300	60
Βήμα 3	100	60
Βήμα 4	60	60
Βήμα 5	6	60
Βήμα 6	3	60

Πίνακας 8. Βήματα και ταχύτητες ιξωδομέτρου (Κελεσίδης, 2007)

Το όργανο μετρά ταυτόχρονα και μας δίνει στην οθόνη του υπολογιστή αλλά και στην δικιά του οθόνη, την διατμητική τάση, που ασκείται στον εσωτερικό συμπαγή κύλινδρο από το ρευστό (με μετατροπή της απόκλισης του ελατηρίου λόγω της ροπής που αναπτύσσεται από το κινούμενο ρευστό στον εσωτερικό κύλινδρο, όπως αναπτύχθηκε στην αρχή λειτουργίας του οργάνου), την θερμοκρασία, το ιξώδες κατευθείαν σε κάθε χρονική στιγμή μέτρησης και την δύναμη γέλης. Ταυτόχρονα μας υπολογίζει τον ρυθμό διάτμησης σε κάθε βήμα μετατρέποντας την περιστροφική ταχύτητα που του έχουμε ορίσει σε sec^{-1} .

Δίνοντας επομένως εμείς τις διάφορες περιστροφικές ταχύτητες στο περιστροφικό κάλυμμα, δημιουργείται μια διατμητική τάση από το ρευστό στον εσωτερικό κύλινδρο του οργάνου, έτσι σε αναφορά που τελικά μπορούμε να πάρουμε από το όργανο έχουμε τιμές της τ για κάθε βαθμίδα ταχύτητας $\dot{\gamma}$.

Έχουμε δηλαδή ζεύγη τιμών $\tau - \dot{\gamma}$ από τα οποία μπορεί να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα και να τοποθετηθούν τα ζεύγη αυτά των τιμών, από την μορφή της καμπύλης που προσαρμόζεται στα δεδομένα, προκύπτουν τα συμπεράσματά μας για το ρεολογικό μοντέλο στο οποίο ανήκει η συμπεριφορά του ρευστού μας.

Από δεδομένα $\omega_i - \tau_i$ και $\dot{\gamma}_i - \tau_i$ κατασκευάζουμε δηλαδή τα αντίστοιχα διαγράμματα και προσαρμόζουμε μια καμπύλη στα δεδομένα μας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση λογισμικού που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωτρήσεων και εφαρμόζει μή γραμμική παλινδρόμηση ενώ παράλληλα δίνει και γραφικές παραστάσεις. Από την μορφή της προκύπτουσας καμπύλης και την καλή ή όχι προσαρμογή της (ο συντελεστής συσχέτισης R^2 - συντελεστής του Pearson - να πλησιάζει στην τιμή 1 και το άθροισμα των τετραγώνων $\sum Q^2$ να είναι πολύ μικρό) συμπεραίνουμε σύμφωνα με ποιο ρεολογικό μοντέλο συμπεριφέρεται το προς εξέταση και μέτρηση ρευστό. Το αναφερόμενο λογισμικό έχει δυνατότητα τουλάχιστον δέκα προταθέντων μοντέλων.

Γενικά τα δεδομένα που προκύπτουν από κάθε ιξωδομέτρηση είναι της μορφής (ω_i, τ_i) . Σκοπός της επεξεργασίας τους είναι η διαπίστωση σε ποιο ρεολογικό μοντέλο ταιριάζουν. Για να διαπιστώσουμε από ποιο μοντέλο περιγράφεται ένα συγκεκριμένο ρευστό πρέπει να ελέγξουμε την προσαρμογή των δεδομένων σε κάθε μοντέλο και να επιλέξουμε τη βέλτιστη. Παρόλαυτα πειράματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 9 καθώς και διαγράμματα που παρουσιάζονται στο παράρτημα 3 δείχνουν ότι ίσως τα 60 sec να μην είναι αρκετά κατά την ιξωδομέτρηση για όλα τα πειράματα. (Κελεσίδης, 2007)

6.6.1. Δύναμη γέλης (gel strength)

Τοποθετούμε το δείγμα στο κατάλληλο δοχείο και εμβαπτίζουμε το κάλυμμα ακριβώς μέχρι την εγκοπή. Περιστρέφουμε με μέγιστη ταχύτητα (600 rpm) για 10 δευτερόλεπτα.

Αφήνουμε το δείγμα να ηρεμήσει για 10 δευτερόλεπτα. Στη συνέχεια, στη περίπτωση χειροκίνητου ιξωδομέτρου, περιστρέφουμε το μοχλό αργά έτσι ώστε να πάρουμε θετική

μέτρηση. Στην περίπτωση ηλεκτροκίνητου ιξωδομέτρου, η αρχική δύναμη γέλης δίνεται από τη μετρούμενη τιμή στις 3 rpm. Αναφέρουμε την θερμοκρασία του δείγματος.

Περιστρέφουμε, αμέσως μετά, στη μέγιστη ταχύτητα για 10 δευτερόλεπτα και περιμένουμε για 10 λεπτά. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία όπως προηγουμένως και αναφέρουμε σαν μέση δύναμη γέλης των 10 λεπτών τη μέγιστη μετρούμενη τιμή σε $\frac{lb}{100sqft}$. Αναφέρουμε την θερμοκρασία του δείγματος. (Κελεσίδης, 2007)

6.6.2. Λειτουργία ροόμετρου – Μέτρηση τάσης διολίσθησης

Το σημείο γέλης (yield point) είναι το σημείο όπου ένα υλικό αρχίζει να ρέει. Η τάση διολίσθησης (yield stress) είναι ιδιότητα που σχετίζεται με το σημείο γέλης και είναι η διατμητική τάση που έχει το υλικό όταν αρχίσει να ρέει και η παραμόρφωση που έχει το υλικό λόγω της τάσης αυτής αντίστοιχα.

Πολλά υλικά έχουν σχεδιαστεί ώστε να έχουν τέτοιο σημείο γέλης που να ικανοποιεί διάφορες ιδιότητες τις οποίες επιθυμούμε όπως τα χρώματα, τα τρόφιμα κ.τ.λ.

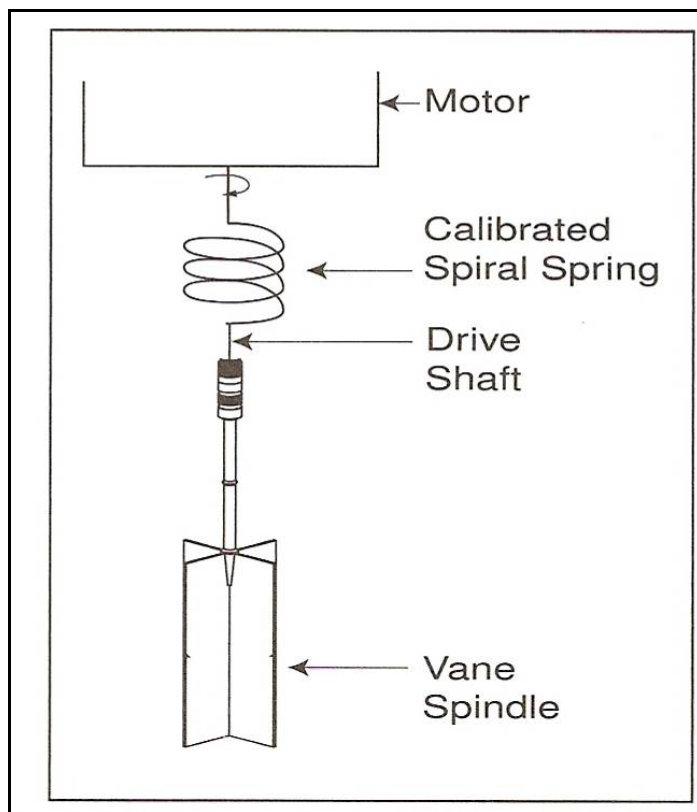
Το ροόμετρο λειτουργεί σε πολύ χαμηλούς διατμητικούς ρυθμούς ($\dot{\gamma} \rightarrow 0$) και το λογισμικό του οργάνου παρέχει τιμή για την τάση γέλης χωρίς όμως άλλα στοιχεία.

Η βασική αρχή λειτουργία του ροόμετρου YR-1 είναι να οδηγεί μια φτερωτή μέσω ενός βαθμονομημένου ελατηρίου που ενώνεται με ένα στέλεχος στο υπο εξέταση δείγμα.

Η φτερωτή βυθίζεται στο υλικό που θέλουμε να εξετάσουμε. Η αντίσταση του υλικού στην κίνηση μετράται παρατηρώντας την αύξηση της ροπής καθώς το ροόμετρο περιστρέφεται. Η μέγιστη τιμή της ροπής είναι το σημείο γέλης ενώ έπειτα μέσω ενός αλγόριθμου μετατρέπουμε την μέγιστη ροπή σε μια τιμή τάσης. Υπολογίζεται από τον τύπο: $\tau_{vane} = (TK * YMC * Tm) / 10$ όπου τ_{vane} η τάση γέλης, Tm η μέγιστη ροπή, TK και YMC σταθερές από τον κατασκευαστή που εξαρτώνται από το μέγεθος και το σχήμα του ελατηρίου.

Χρησιμοποιούνται δύο φτερωτές, η πρώτη με μήκος 4,333 cm και διάμετρο 2,167 cm (για διατμητική τάση 2-20 Pa) και η δεύτερη με μήκος 2,535 cm και διάμετρο 1,267 cm (για διατμητική τάση 10-100 Pa). Ο ελάχιστος ρυθμός περιστροφής της φτερωτής είναι 0,1 rpm. (Τσαμαντάκη, 2002)

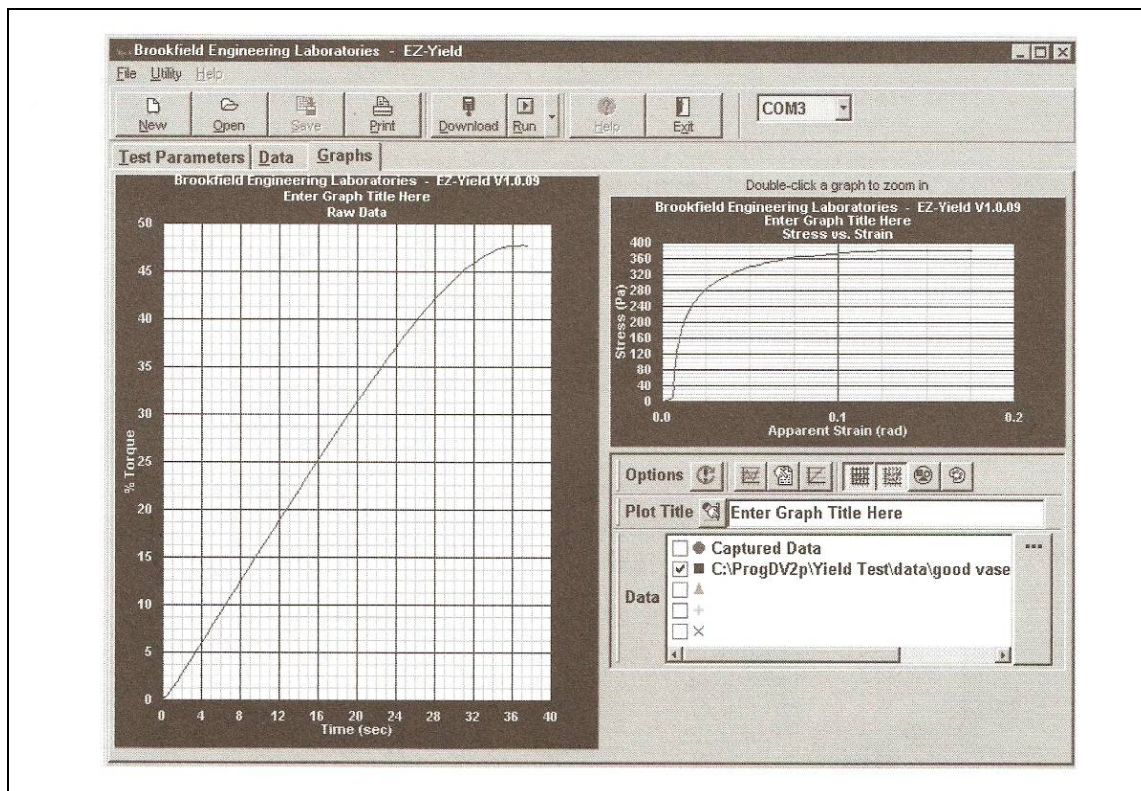
Το ροόμετρο χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία των πειραμάτων μέτρησης ιξώδους με διαφορετικούς ρότορες στο ιξωδόμετρο σε κάποια από τα δείγματα.



Εικόνα 21. Βασικά μέρη ροόμετρου (Brookfield manual)

Το μοντέλο του ροόμετρου που διαθέτει το εργαστήριο είναι το YR- 1 με φτερωτές (vanes)

V- 72 και V-73 με εύρος μετρήσεων στα 2 – 20 και 10 – 100 Pa



Εικόνα 22. Τυπικό διάγραμμα λογισμικού ροομέτρου (το σημείο που σταματάει η καμπύλη είναι και η τιμή της τάσης γέλης)

7. Πειράματα επίδρασης ηλεκτρολυτών σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith.

7.1. Εισαγωγή

Στην πειραματική αυτή διαδικασία θα αναμίξουμε πολφούς μπεντονίτη με δύο ειδών ηλεκτρολύτες: NaCl και KCl σε διάφορες συγκεντρώσεις ώστε να μελετήσουμε την επίδραση τους στις ρεολογικές ιδιότητες των πολφών.

Όπως ξέρουμε ο μπεντονίτης είναι μίγμα ένυδρων αργιλοπυριτικών ορυκτών που ανήκουν κυρίως στην ομάδα του μοντμοριλλονίτη. Η δομική του μονάδα αποτελείται από ένα φύλλο αλλουμίνας [Al(ήMg)-O-OH] τοποθετημένου μεταξύ δύο φύλλων πυριτίου [Si-O]. Μεταξύ των δομικών μονάδων και των πλατειών επιφανειών αυτών συγκρατούνται διάφορα κατιόντα όπως Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , H^+ . Επειδή τα κατιόντα αυτά μπορούν να αντικατασταθούν, ονομάζονται και ανταλλάξιμα κατιόντα. Ανάλογα με τον τύπο των κατιόντων διαφοροποιούνται και οι ιδιότητες, ιδιαίτερα ο βαθμός διόγκωσης του μπεντονίτη.

Όταν κόκκοι μπεντονίτη έλθουν σε επαφή με το νερό, μόρια νερού προσροφώνται, εισχωρούν στο κενό που υπάρχει μεταξύ των πλατειών επιφανειών των δομικών μονάδων, με αποτέλεσμα τη διόγκωση των αργιλικών σωματιδίων. Με τη διόγκωση εξασθενούν σημαντικά οι ελκτικές δυνάμεις που συγκρατούν τις δομικές μονάδες, γεγονός που οδηγεί στην αποσύνθεση και το διασκορπισμό των αργιλικών σωματιδίων στην υδάτινη φάση, καθώς και τον σχηματισμό πολύ λεπτομερών σωματιδίων κολλοειδών διαστάσεων.

Η κύρια αιτία καταστροφής ενός σταθερού κολλοειδούς συστήματος νερού-μπεντονίτη είναι η εισαγωγή σε αυτό κάποιου ηλεκτρολύτη. Η εισαγωγή, για παράδειγμα, κατιόντων νατρίου Na^+ ή Ca^{++} στο σύστημα νερού-μπεντονίτη προκαλεί τα παρακάτω φαινόμενα: Οι ηλεκτρολύτες απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού και απομακρύνουν από τα αργιλικά σωματίδια τα μόρια νερού που έχουν προσροφηθεί από αυτά, προκαλώντας ένα είδος εξαλάτωσης. Εξουδετερώνουν τα αρνητικά φορτία στις πλατιές επιφανειών των αργιλικών σωματιδίων, με αποτέλεσμα να ενισχύονται οι τάσεις προσέγγισης των σωματιδίων, να επικρατούν οι δυνάμεις συνοχής της ύλης και να επέρχεται συσσωμάτωση.

Σε ιδιαίτερα προβληματικές περιπτώσεις αργιλικών σχηματισμών, η πρόσθεση KCl στο σύστημα νερού-μπεντονίτη είναι περισσότερο αποτελεσματική δεδομένου ότι η δράση των

κατιόντων καλίου είναι ακόμα ισχυρότερη στη μείωση της διόγκωσης των σχηματισμών αυτών. (Σταματάκη- Δημητρέλου, 2007)

7.2. Μελέτη επίδρασης ηλεκτρολύτη KCl σε πολφό μπεντονίτη Zenith και Wyoming

7.2.1. Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος

Για την παρασκευή πολφού μπεντονίτη συγκέντρωσης 5,00 % κ.β βάζουμε στο ειδικό δοχείο ανάμιξης: 500 ml ηλεκτρολύτη KCl συγκέντρωσης 0.01M (0,745 g στο 1 lit απιονισμένου νερού) και 25 g μπεντονίτη. Για την παρασκευή πολφού μπεντονίτη 6,42 % κ.β χρησιμοποιούμε αντίστοιχα 32,1 g.

Με τη βοήθεια του αναμεικτηρίου μοντέλου Hamilton Beach αναδεύουμε το δείγμα στις 11000 rpm για 5 min. Κατεβάζουμε το δοχείο με το μείγμα του μπεντονίτη, καθαρίζουμε τα τοιχώματα και αναδεύουμε για άλλα 15 min (συνολικός χρόνος ανάδευσης 20 min στις 11000 rpm).

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας ηλεκτρολύτη συγκέντρωσης 0.1 M αυτή την φορά (7,45 g KCl στο 1 lit απιονισμένο νερό)

Έπειτα αφήνουμε τα αιωρήματα να ωριμάσουν και να ενυδατωθούν αφού αποθηκευτούν σε κλειστά δοχεία σε θερμοκρασία δωματίου για τουλάχιστον 16 ώρες

Στη συνέχεια μετρούνται οι ρεολογικές ιδιότητες του κάθε δείγματος με χρήση του περιστροφικού ιξωδομέτρου τύπου Couette, σε θερμοκρασία δωματίου, στις ταχύτητες περιστροφής 600, 300, 200, 100, 60, 6, και 3 rpm.

7.3. Μελέτη επίδρασης ηλεκτρολύτη NaCl σε πολφό μπεντονίτη Zenith και Wyoming 2,00%, 5,00% και 6,42% κ.β.

7.3.1. Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος

Για την παρασκευή πολφού μπεντονίτη συγκέντρωσης 2,00%, 5,00 %, και 6,42 % κ.β βάζουμε στο ειδικό δοχείο ανάμιξης : 500 ml ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0.01M (0,745 g στο 1 lit απιονισμένου νερού) και 10 g μπεντονίτη για συγκέντρωση 2,00 % κ.β , 25 g μπεντονίτη για συγκέντρωση 5,00 % κ.β και 32,1 g μπεντονίτη για συγκέντρωση 6,42 % κ.β.

Με τη βοήθεια του αναμεικτηρίου μοντέλου Hamilton Beach αναδεύουμε το δείγμα στις 11000 rpm για 5 min. Κατεβάζουμε το δοχείο με το μείγμα του μπεντονίτη, καθαρίζουμε τα τοιχώματα και αναδεύουμε για άλλα 15 min (συνολικός χρόνος ανάδευσης 20 min στις 11000 rpm).

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας ηλεκτρολύτη συγκέντρωσης 0.1 M αυτή την φορά (7,45 g NaCl στο 1 lit απιονισμένου νερού)

Έπειτα αφήνουμε τα αιωρήματα να ωριμάσουν και να ενυδατωθούν αφού αποθηκευτούν σε κλειστά δοχεία σε θερμοκρασία δωματίου για τουλάχιστον 16 ώρες

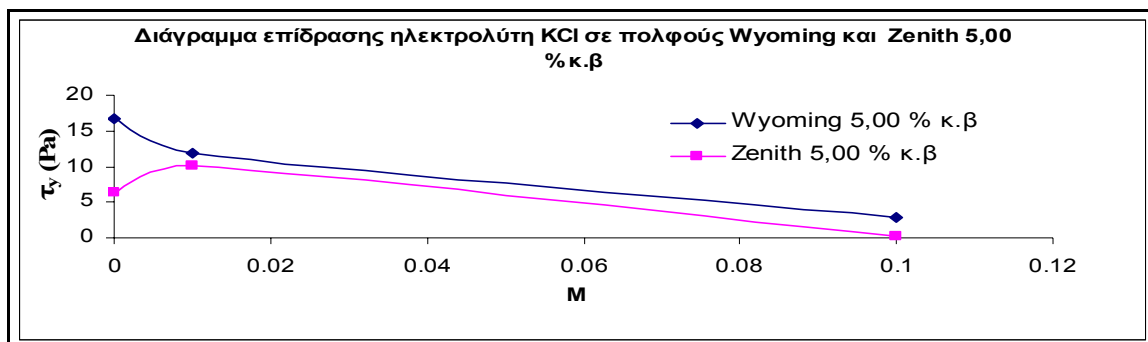
Στη συνέχεια μετρούνται οι ρεολογικές ιδιότητες του κάθε δείγματος με χρήση του περιστροφικού ιξωδομέτρου τύπου Couette, σε θερμοκρασία δωματίου, στις ταχύτητες περιστροφής 600, 300, 200, 100, 60, 6, και 3 rpm.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ιξωδομέτρου επεξεργάζονται με την βοήθεια του αναφερθέντος λογισμικού, από όπου προκύπτουν οι ρεολογικές παράμετροι τ_y (Pa) , K ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) και (n) καθώς και όλα τα ρεολογικά δεδομένα που μπόρεσαν να προσομοιωθούν με το μοντέλο Herschel – Bulkley.

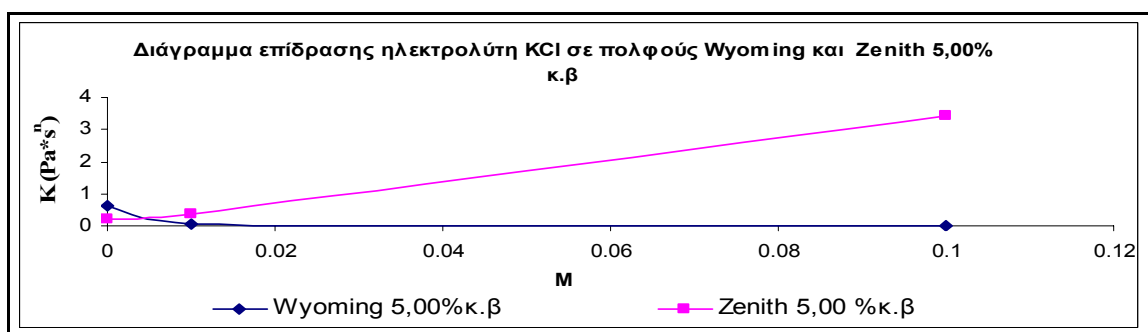
Παρακάτω παρουσιάζονται οι μεταβολές των ρεολογικών παραμέτρων του μοντέλου Herschel-Bulkley συναρτήσει της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη για τους δύο μπεντονίτες και τους δύο ηλεκτρολύτες καθώς και την κ.β.συγκέντρωση των μπεντονιτών.

Οι μεταβολές αυτές παρουσιάζονται σε μορφή τόσο ξεχωριστών όσο και συγκεντρωτικών διαγραμμάτων και πινάκων για την κάθε ρεολογική παράμετρο ξεχωριστά.

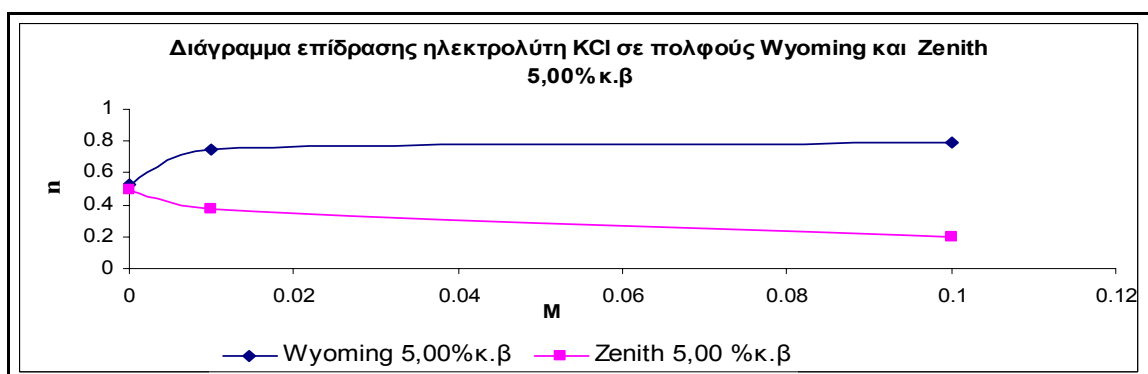
7.4. Διαγράμματα επίδρασης ηλεκτρολυτών NaCl και KCl συγκέντρωσης 0 M , 0,01 M και 0,1 M στις ρεολογικές παραμέτρους σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith με συγκέντρωση 2,00 % κ.β ,5,00 % κ.β και 6,42 % κ.β.



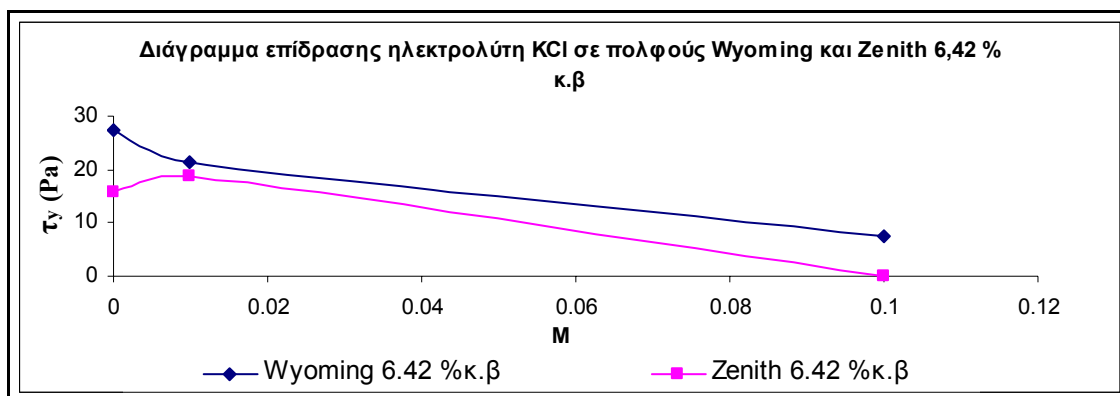
Διάγραμμα 1. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



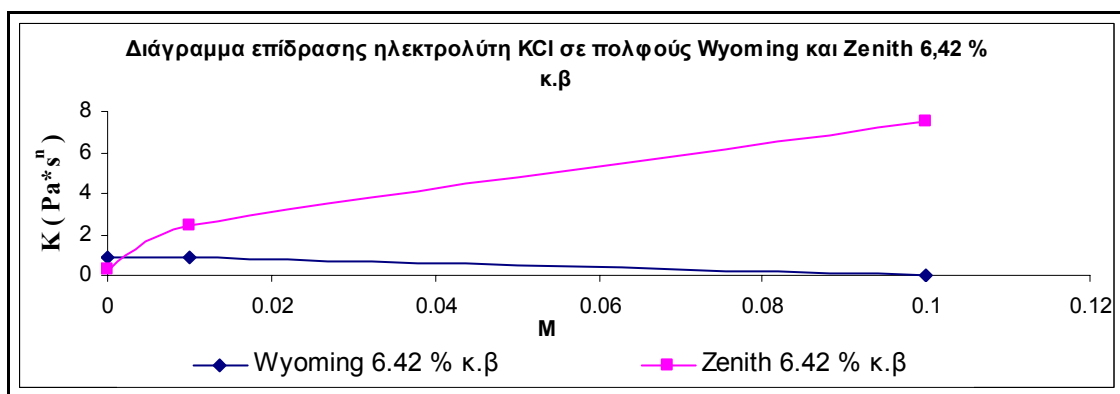
Διάγραμμα 2. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



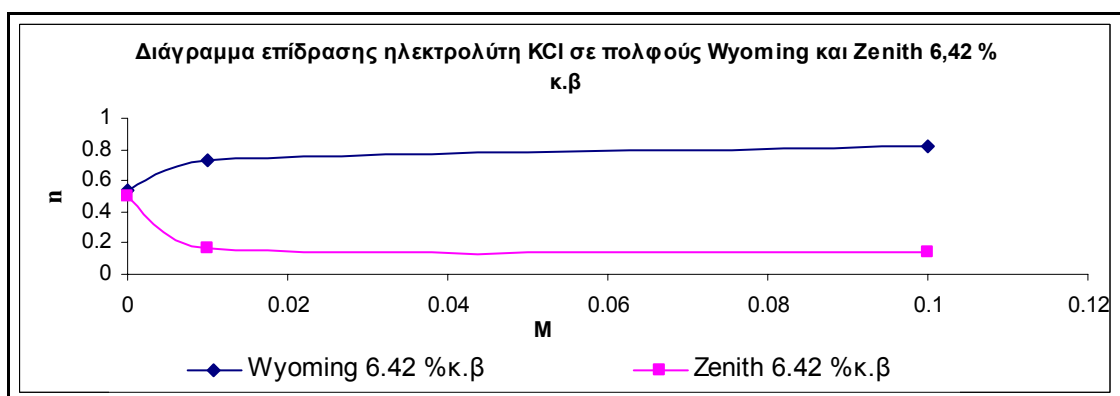
Διάγραμμα 3. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β.



Διάγραμμα 4. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 5. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 6. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β

Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από την παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων διαπιστώνουμε ότι ο μπεντονίτης τύπου Wyoming παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τάσης διολίσθησης τ_y από τον μπεντονίτη τύπου Zenith, τόσο για συγκέντρωση μπεντονίτη 5,00 % κ.β όσο και για συγκέντρωση 6,42 % κ.β.

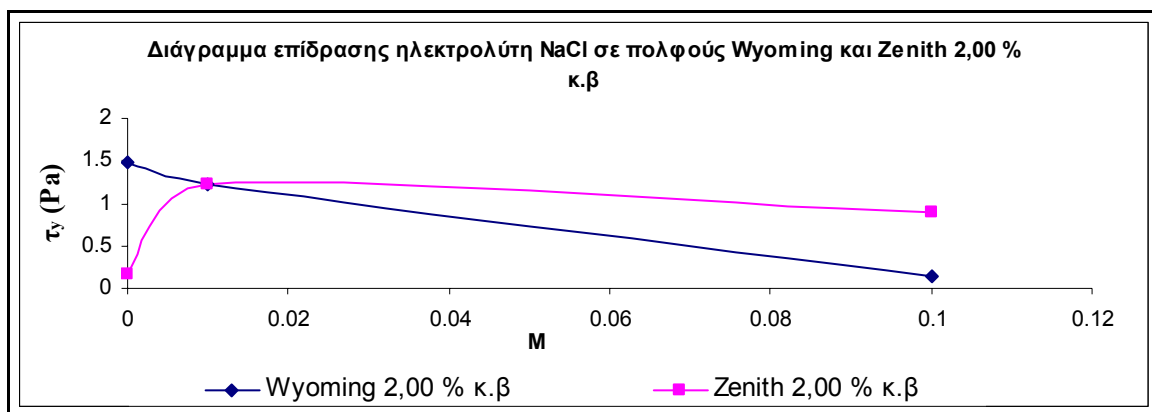
Όταν έχουμε ανάμειξη και των δύο τύπων με ηλεκτρολύτη KCl ο μπεντονίτης τύπου Wyoming παρουσιάζει επίσης μεγαλύτερες τιμές τάσης διολίσθησης από τον μπεντονίτη τύπου Zenith, για συγκέντρωση 0,01M του ηλεκτρολύτη, και για τις δύο κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β.

Επίσης και οι δύο τύποι, για τις δύο κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, παρουσιάζουν μείωση της τιμής του τ_y κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη που καταλήγει, για συγκέντρωση 0,1M του ηλεκτρολύτη, να είναι κατα πολύ μικρότερη από την τιμή της τάσης διολίσθησης που έχει ο πολφός πριν την ανάμειξη με τον ηλεκτρολύτη.

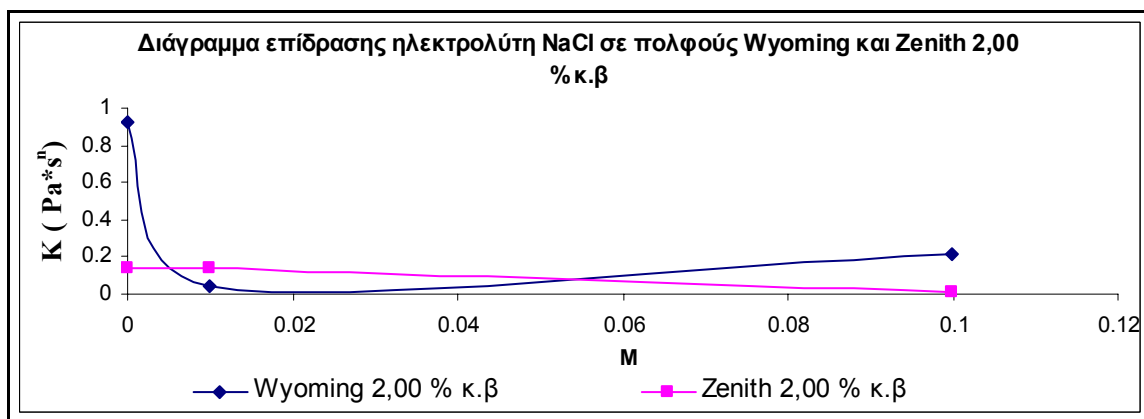
Όσον αφορά την τιμή του οδηγού συνάφειας K οι δύο μπεντονίτες, για τις δύο κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, έχουν αρχικά πολύ κοντινές τιμές ενώ βλέπουμε ότι μετά από ανάμειξη και των δύο με ηλεκτρολύτη KCl ο K έχει μεγαλύτερη τιμή στον μπεντονίτη Zenith και παρουσιάζει αύξηση κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη KCl ενώ αντίστοιχα στον μπεντονίτη Wyoming η τιμή δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική αλλαγή.

Η τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) είναι παρόμοια για τους δύο μπεντονίτες, για τις δύο κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, ενώ μετά από ανάμειξη και των δύο με ηλεκτρολύτη KCl είναι μεγαλύτερη στον μπεντονίτη Wyoming και μικρότερη στον μπεντονίτη Zenith για συγκέντρωση 0,01M του ηλεκτρολύτη, με μικρές διακυμάνσεις κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη KCl.

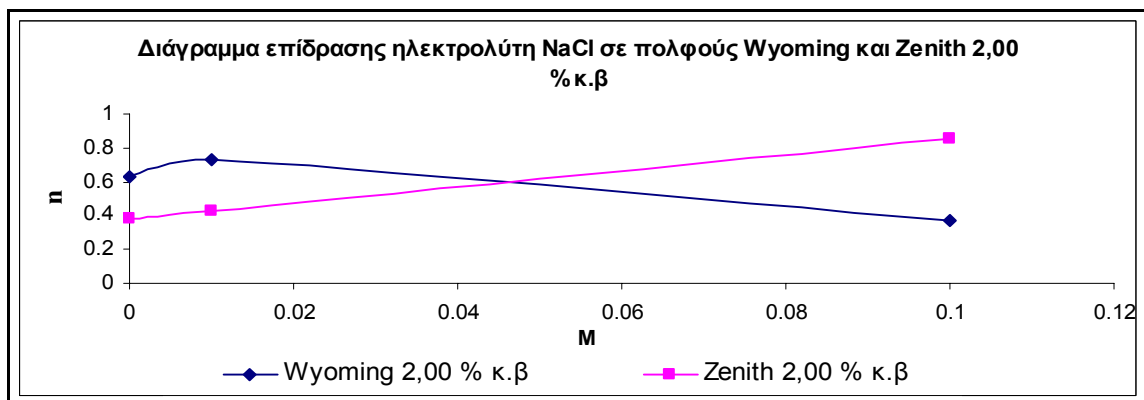
Σχετικά με την συγκέντρωση του μπεντονίτη, για τις δύο κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, βλέπουμε ότι και στους δύο τύπους, Wyoming και Zenith, η αύξηση της κατά βάρος συγκέντρωσης του μπεντονίτη οδηγεί στην άξηση των τιμών της τάσης διολίσθησης ενώ δεν επηρεάζει σημαντικά τις τιμές των άλλων ρεολογικών παραμέτρων K και (n).



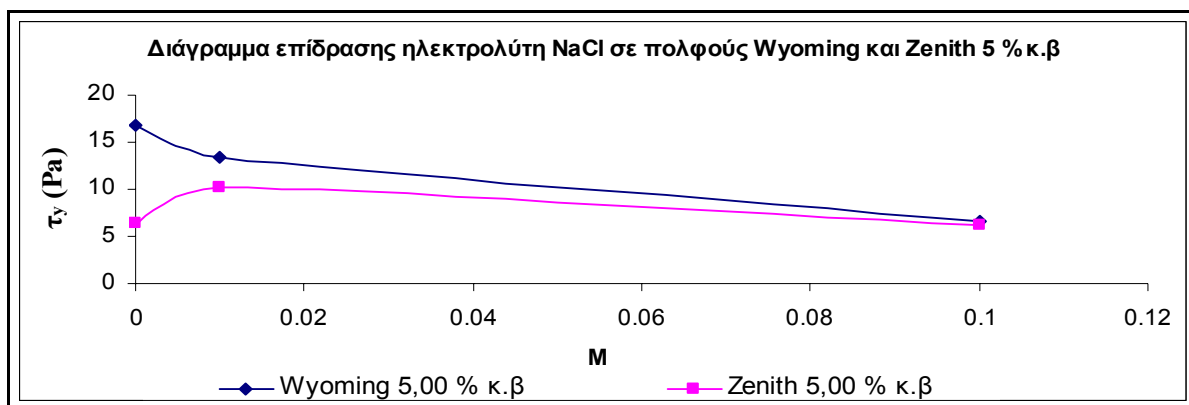
Διάγραμμα 7. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00 % κ.β



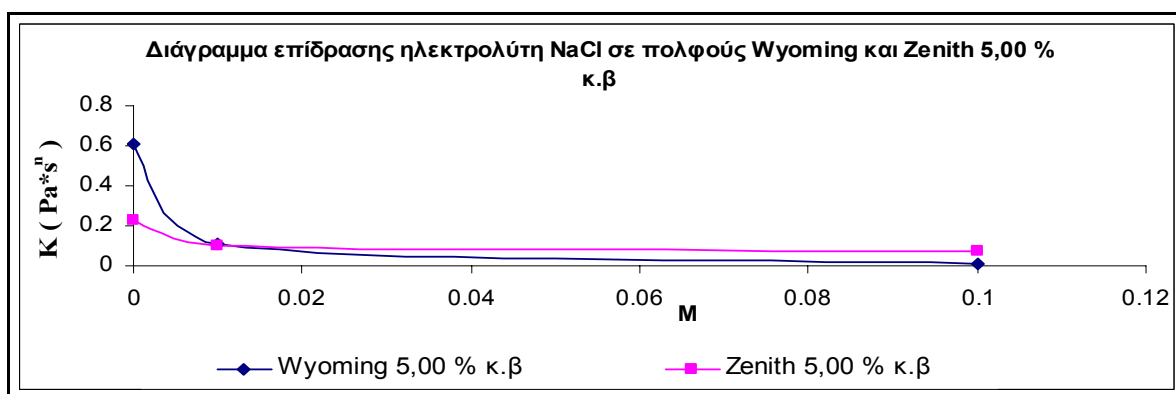
Διάγραμμα 8. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00 % κ.β



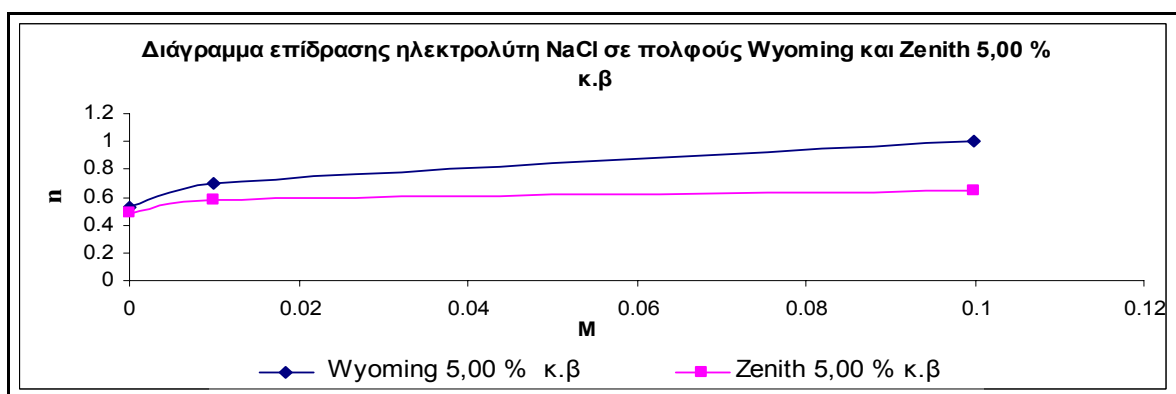
Διάγραμμα 9. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00 % κ.β



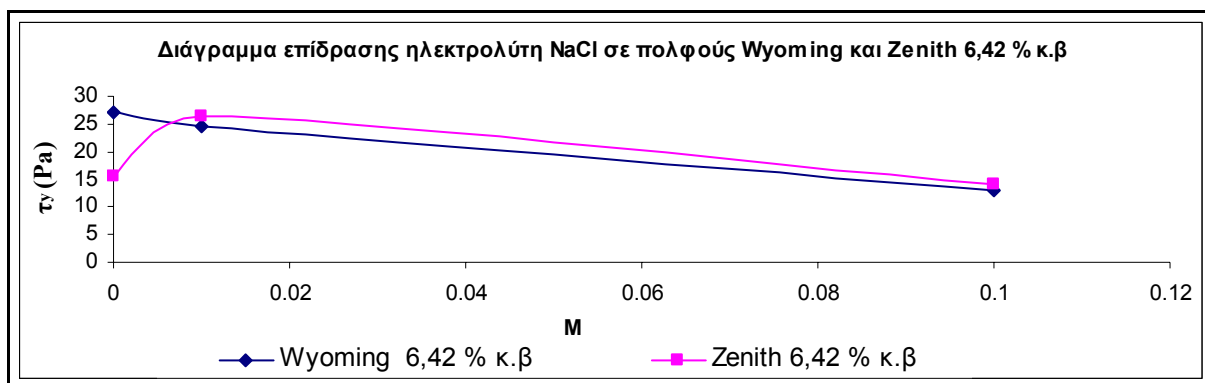
Διάγραμμα 10. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



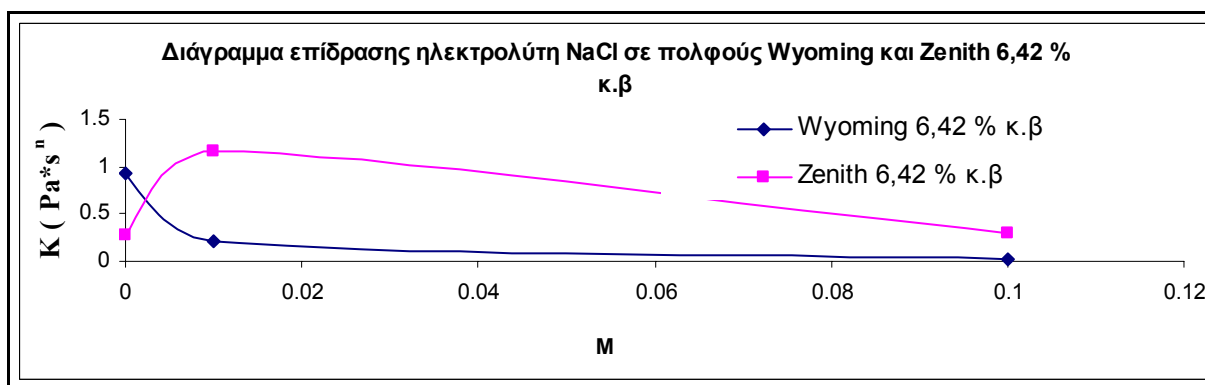
Διάγραμμα 11. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



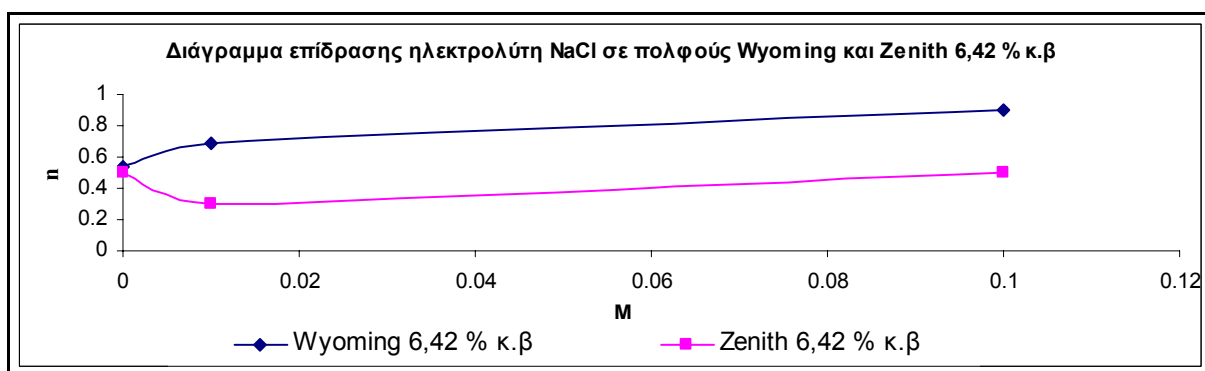
Διάγραμμα 12. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



Διάγραμμα 13. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 14. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 15. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β

Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από την παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι ο μπεντονίτης τύπου Wyoming παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τάσης διολίσθησης τ_y από ότι ο μπεντονίτης τύπου Zenith για τις κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 2,00 % κ.β, 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β.

Μετά από ανάμειξη και των δύο τύπων με ηλεκτρολύτη NaCl βλέπουμε ότι για τον Wyoming, για τις κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 2,00 % κ.β, 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, έχουμε μείωση της τιμής του τ_y για συγκέντρωση 0,1M του ηλεκτρολύτη, που συνεχίζεται κατά την αύξηση της τιμής της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Ειδικά για μπεντονίτη συγκέντρωσης 2,00 % κ.β η τιμή της τ_y είναι ελάχιστη.

Για τον μπεντονίτη Zenith, για τις κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 2,00 % κ.β, 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, έχουμε αύξηση της τιμής τ_y για συγκέντρωση 0,01M του ηλεκτρολύτη, που ακολουθείται όμως από μείωση κατά την αύξηση της τιμής της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

Όσον αφορά την τιμή του οδηγού συνάφειας K , για τις κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 2,00 % κ.β, 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, ο μπεντονίτης Wyoming παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή από τον μπεντονίτη Zenith.

Μετά από ανάμειξη και των δύο τύπων με ηλεκτρολύτη NaCl, βλέπουμε για τον Wyoming μείωση της τιμής του K για τις κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 2,00 % κ.β, 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, για συγκέντρωση 0,01M του ηλεκτρολύτη που δεν παρουσιάζει διακυμάνσεις κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύτη.

Για τον μπεντονίτη Zenith βλέπουμε ότι υπάρχει μια σχετική μείωση της τιμής του K για συγκέντρωση 0,01M του ηλεκτρολύτη και συγκέντρωση κ.β μπεντονίτη 5,00 % κ.β και 6,42 % κ.β, που παραμένει σταθερή κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

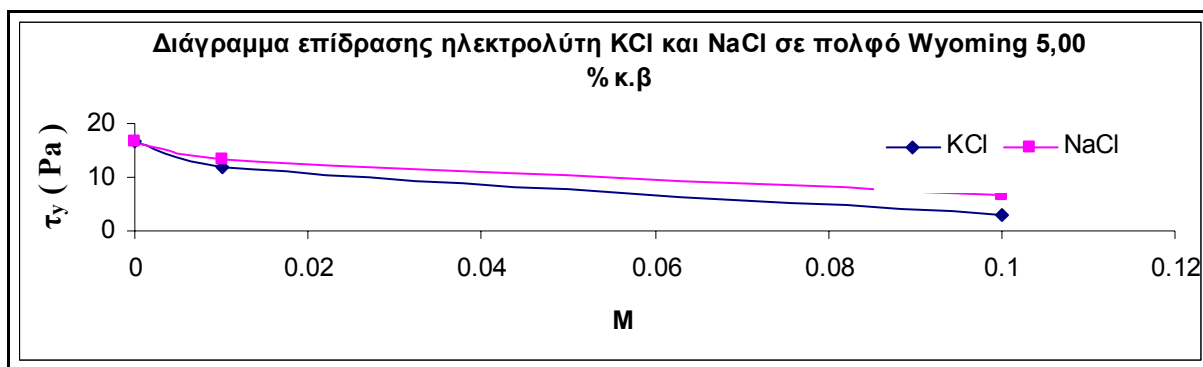
Για συγκέντρωση μπεντονίτη 2,00 % κ.β, υπάρχει επίσης μείωση της τιμής του K για συγκέντρωση 0,01M του ηλεκτρολύτη που αυξάνει όμως κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

Σχετικά με τον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n), για τις κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, ο μπεντονίτης Wyoming παρουσιάζει παρόμοια τιμή του (n) με τον

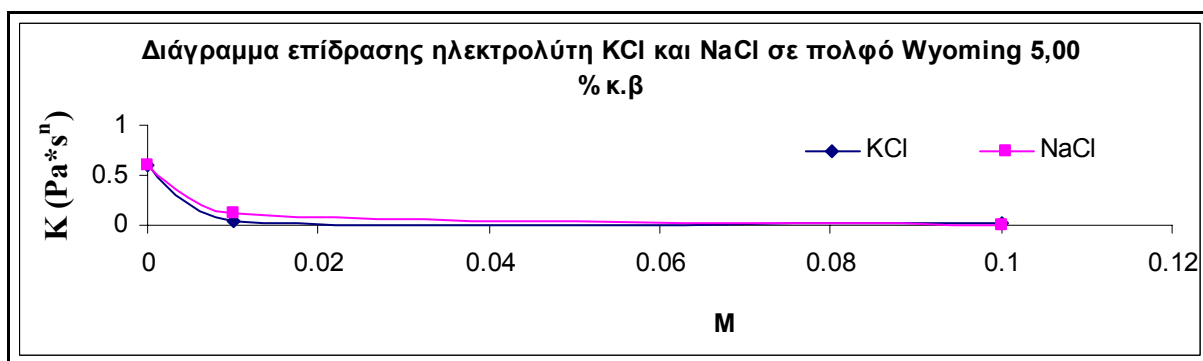
μπεντονίτη Zenith, ενώ για συγκέντρωση μπεντονίτη 2,00 % κ.β, η τιμή είναι λίγο μεγαλύτερη στον Wyoming από ότι στον Zenith.

Μετά από ανάμειξη και των δύο τύπων με ηλεκτρολύτη NaCl για τις κ.β συγκεντρώσεις μπεντονίτη 5,00% κ.β και 6,42 %κ.β, ο μπεντονίτης Wyoming παρουσιάζει αύξηση της τιμής του (n) που αυξάνεται κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύτη. Για συγκέντρωση 2,00 % κ.β μπεντονίτη έχουμε πάλι αύξηση της τιμής του (n) που όμως παρουσιάζει μικρή μείωση κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

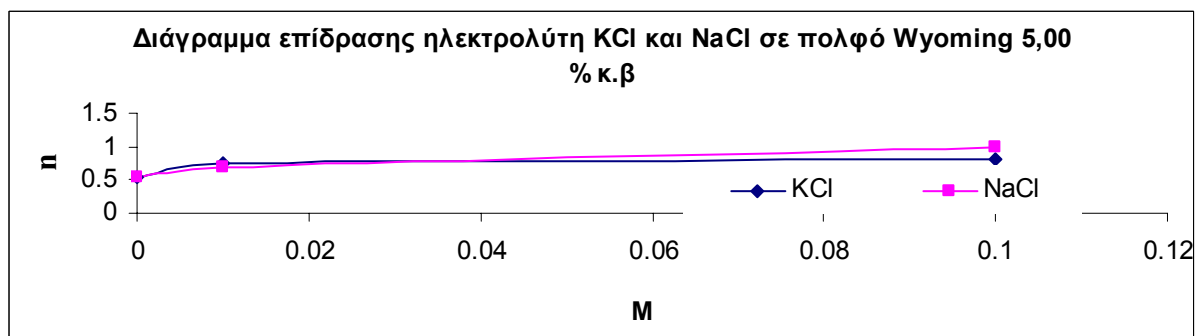
Ο μπεντονίτης Zenith αντίστοιχα μετά την ανάμειξη, παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή (n) για συγκεντρώσεις μπεντονίτη 2,00 % κ.β και 5,00 % κ.β που αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη ενώ για συγκέντρωση μπεντονίτη 6,42 % κ.β, βλέπουμε ότι η τιμή του (n) μειώνεται για συγκέντρωση 0,01M του ηλεκτρολύτη και στη συνέχεια έχει μικρή αύξηση κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.



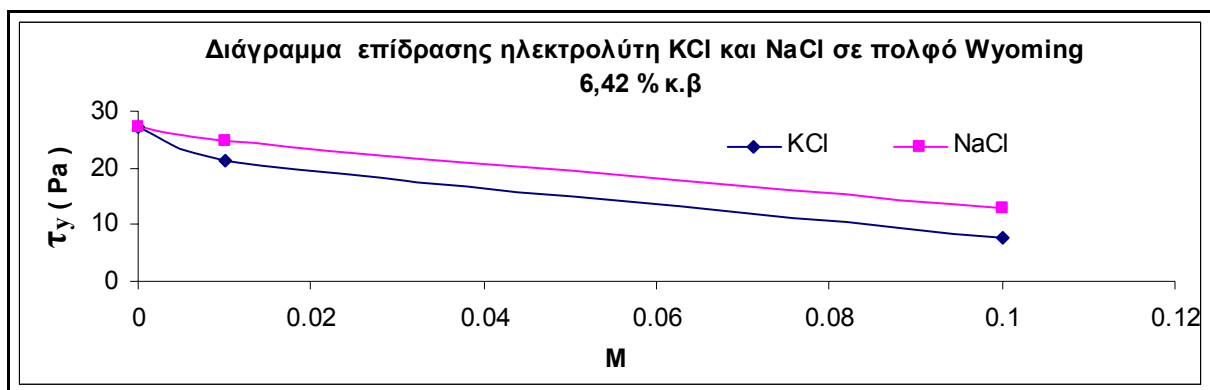
Διάγραμμα 16. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



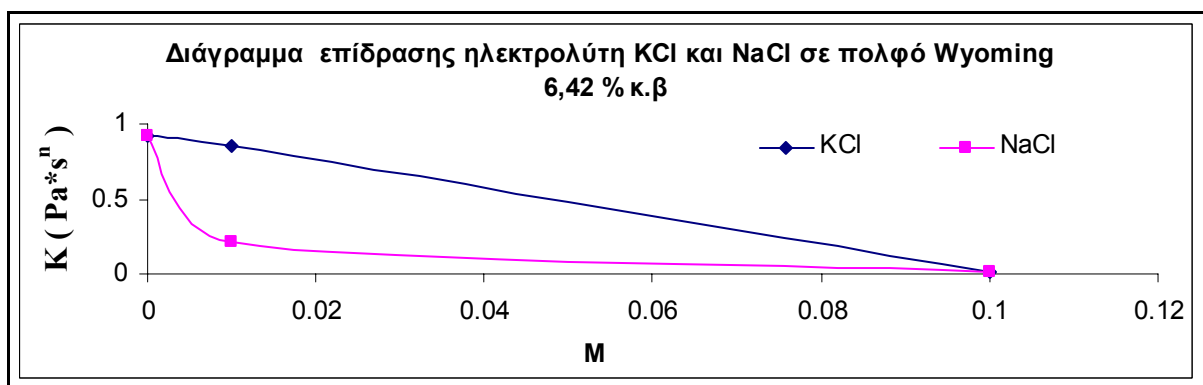
Διάγραμμα 17. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



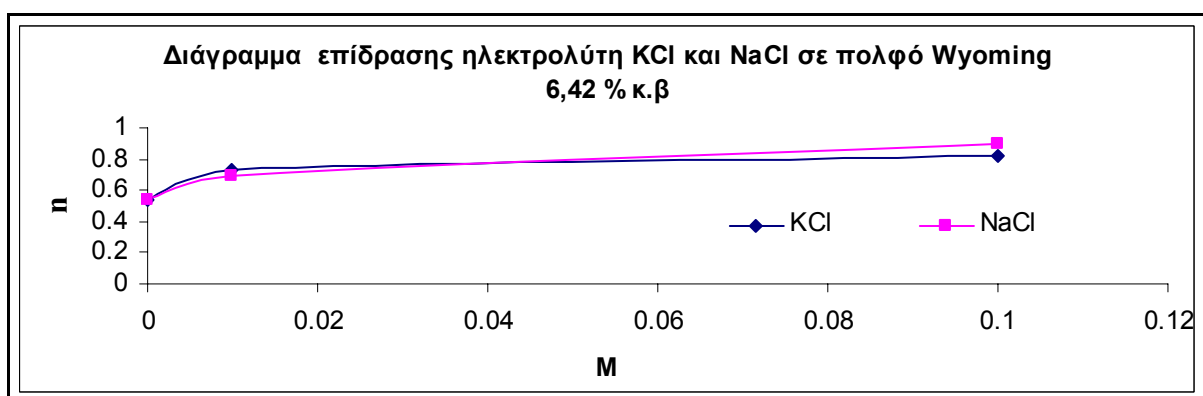
Διάγραμμα 18. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



Διάγραμμα 19. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 20. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



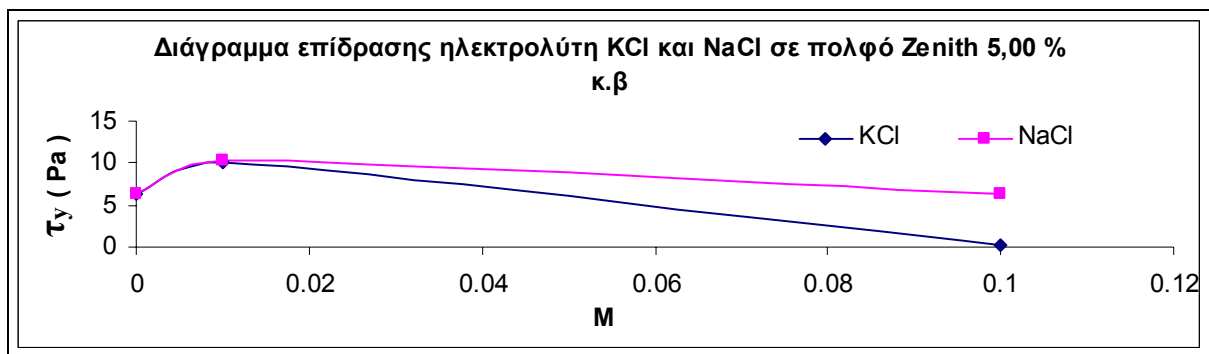
Διάγραμμα 21. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42% κ.β

Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

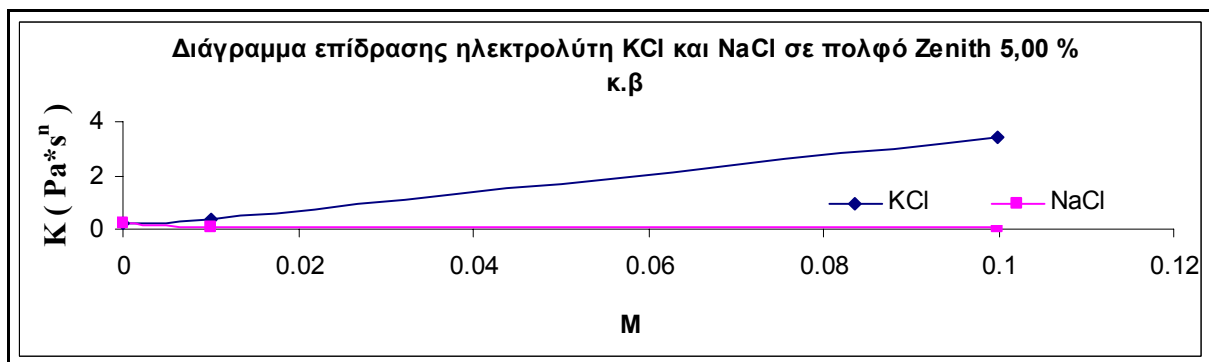
Από παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι η ανάμειξη του πολφού μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % κ.β και 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτες NaCl και KCl είχε ως αποτέλεσμα της μείωσης της τιμής της τάσης διολίσθησης τ_y που συνεχίζεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Ακόμη ο ηλεκτρολύτης KCl μειώνει περισσότερο την τιμή της τ_y από ότι ο ηλεκτρολύτης NaCl.

Όσον αφορά τη τιμή του οδηγού συνάφειας K , βλέπουμε και εδώ μείωση της τιμής μετά από την ανάμειξη με τον ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης KCl μειώνει περισσότερο την τιμή του K από ότι ο ηλεκτρολύτης NaCl. Επίσης η μείωση για τον KCl είναι γραμμική ενώ για τον NaCl εκθετική.

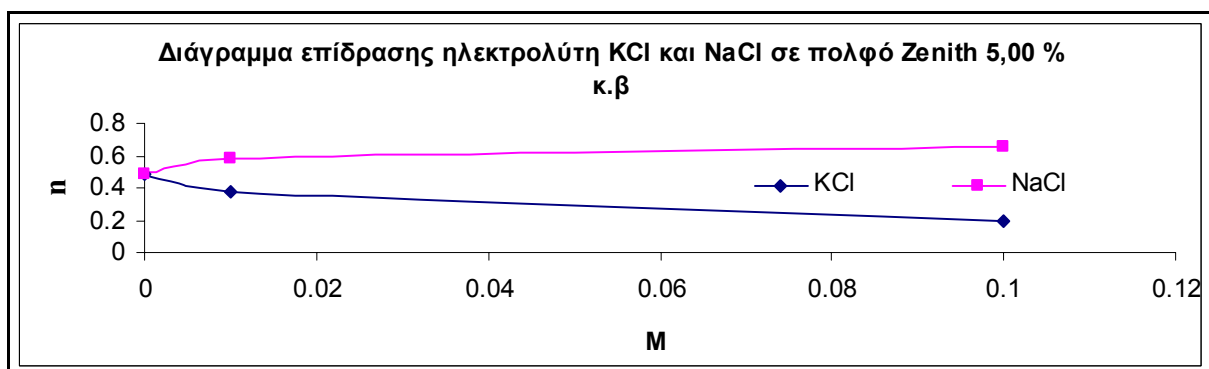
Σχετικά με την τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) βλέπουμε ότι παρουσιάζεται αύξηση της τιμής του (n) μετά την ανάμειξη με ηλεκτρολύτη που συνεχίζεται κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης KCl και ο ηλεκτρολύτης NaCl έχουν ίδια συμπεριφορά με τον KCl να επιδρά περισσότερο στον τρόπο συνένωσης των φυλλαρίων μπεντονίτη (μείωση τ_y) ενώ ο ηλεκτρολύτης NaCl επιδρά περισσότερο στο μέγεθος των συσσωμάτων στον πολφό (μείωση K).



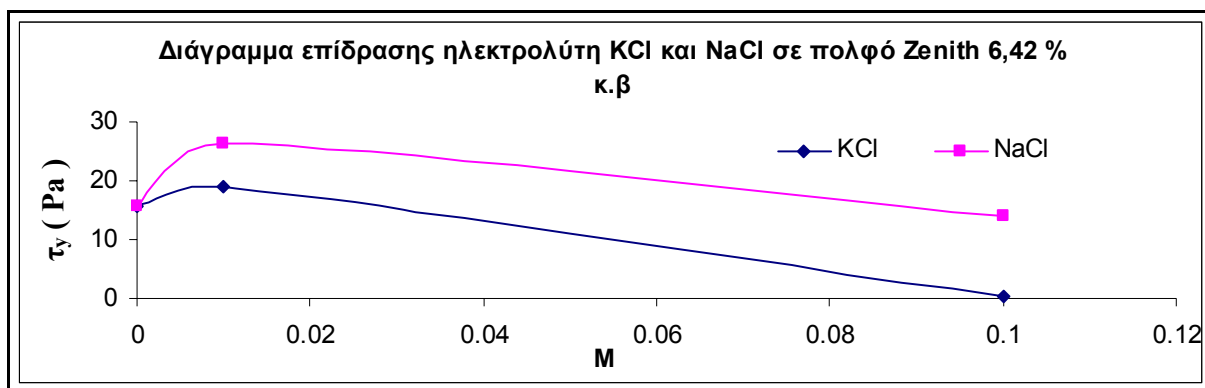
Διάγραμμα 22. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



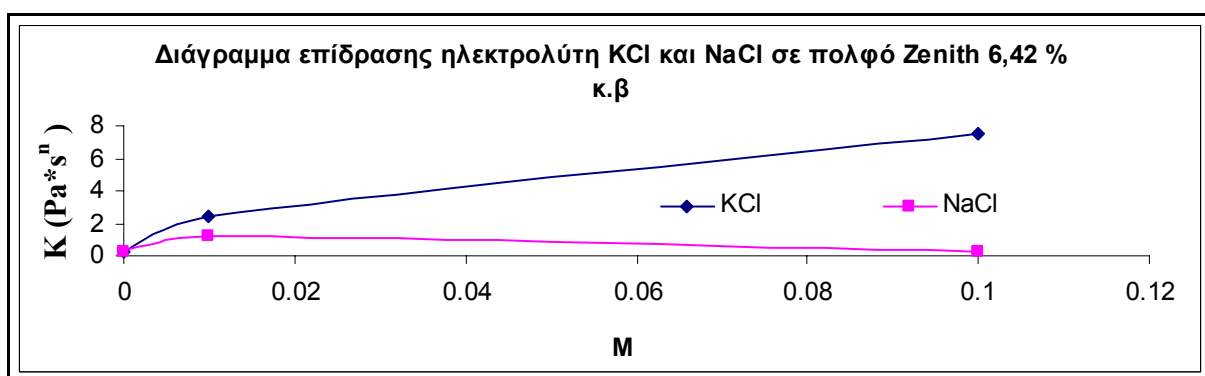
Διάγραμμα 23. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



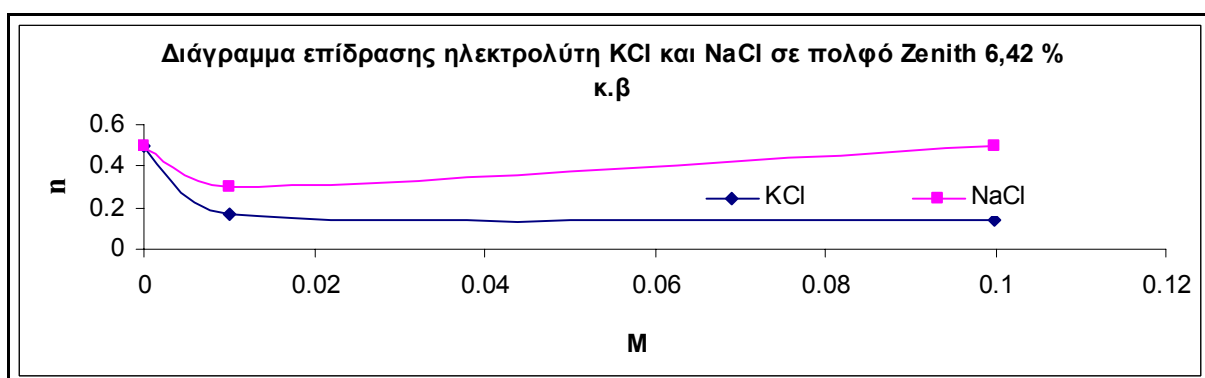
Διάγραμμα 24. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β



Διάγραμμα 25. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 26. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 27. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl και KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β

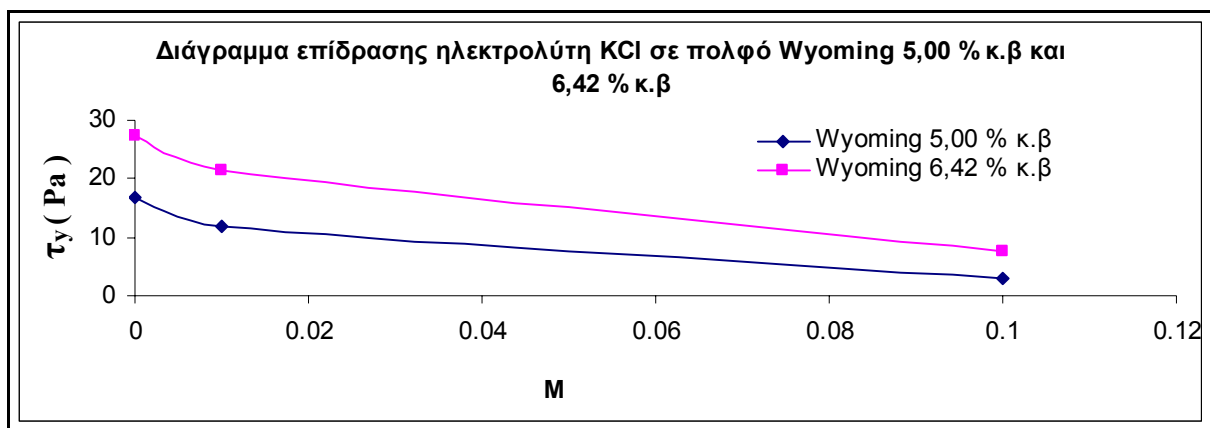
Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι η ανάμειξη του πολφού μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % κ.β και 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτες NaCl και KCl είχε ως αποτέλεσμα την αλλαγή της τιμής της τάσης διολίσθησης τ_y που αυξάνει για συγκέντρωση ηλεκτρολύτη 0,01 M και στη συνέχεια μειώνεται κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

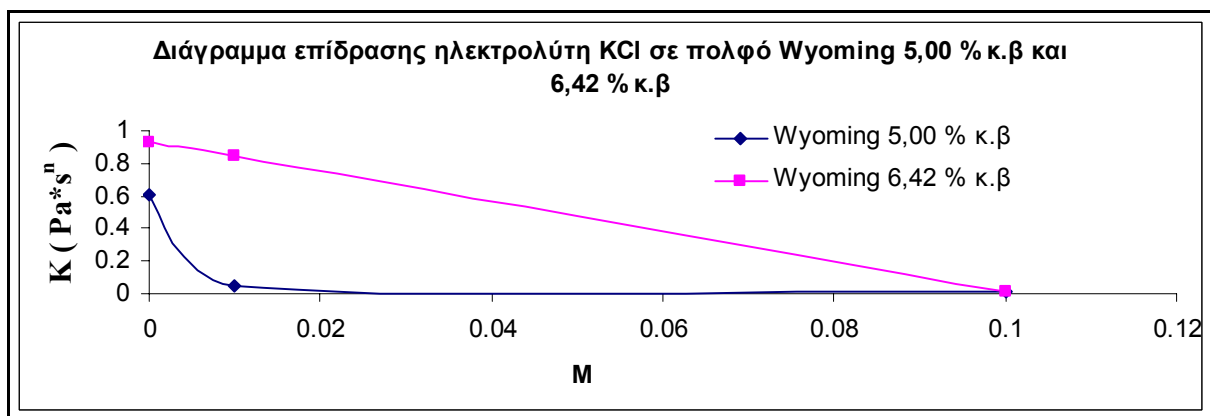
Παρατηρούμε ακόμη ότι ο ηλεκτρολύτης KCl μειώνει περισσότερο την τιμή της τ_y από ότι ο ηλεκτρολύτης NaCl.

Όσον αφορά τη τιμή του οδηγού συνάφειας K , βλέπουμε μείωση της τιμής μετά από την ανάμειξη με ηλεκτρολύτη που συνεχίζεται κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης KCl μειώνει περισσότερο την τιμή του K από ότι ο ηλεκτρολύτης NaCl.

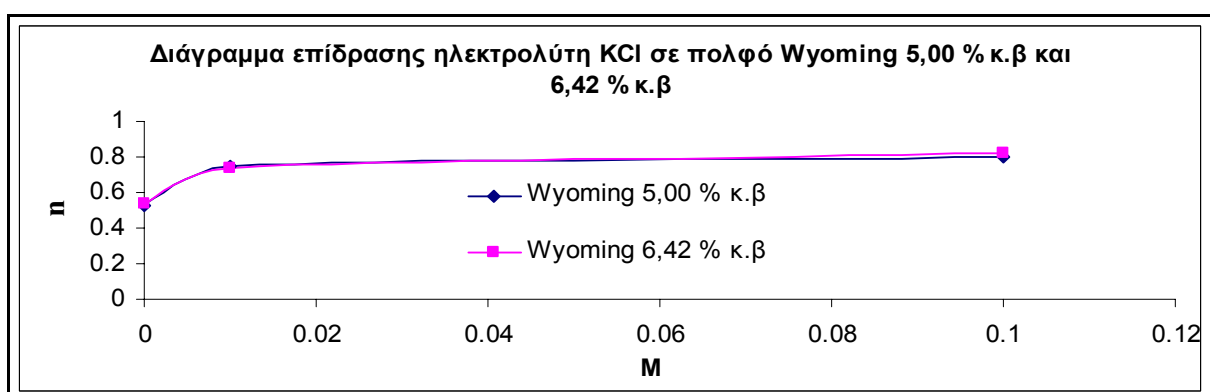
Σχετικά με την τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) βλέπουμε ότι για συγκέντρωση 5,00 % κ.β μπεντονίτη παρουσιάζεται μείωση της τιμής του (n) μετά την ανάμειξη με ηλεκτρολύτη KCl που συνεχίζεται κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Αντίθετα για την ίδια κ.β συγκέντρωση μπεντονίτη η ανάμειξη με ηλεκτρολύτη NaCl έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της τιμής του (n) που συνεχίζεται κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη (μπεντονίτης Zenith).



Διάγραμμα 28. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β



Διάγραμμα 29. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β



Διάγραμμα 30. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 6,42 %-5,00 % κ.β

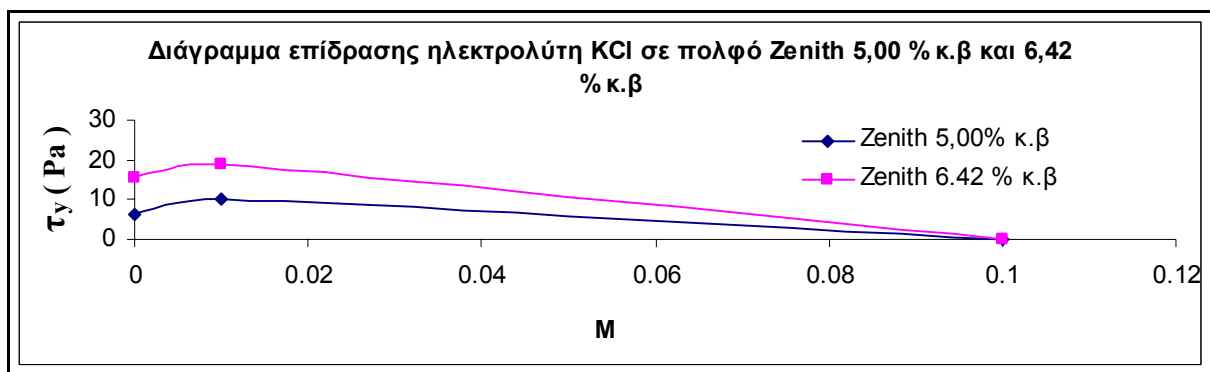
Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι η κατά βάρος συγκέντρωση του μπεντονίτη Wyoming επηρεάζει την τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y .

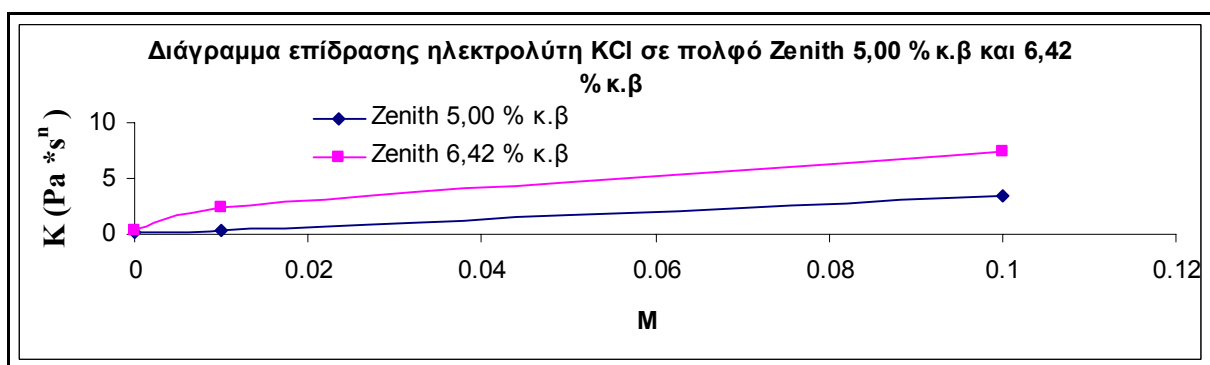
Τόσο πριν όσο και μετά την ανάμειξη του πολφού μπεντονίτη με ηλεκτρολύτη KCl, μεγαλύτερη συγκέντρωση κ.β μπεντονίτη (6,42 5 κ.β) δίνει μεγαλύτερη τιμή στην τάση διολίσθησης τ_y από ότι μικρότερη κ.β (5,00 % κ.β), ανεξάρτητα από την τιμή της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

Η τιμή του οδηγού συνάφειας K είναι επίσης μεγαλύτερη για μεγαλύτερη κ.β συγκέντρωση του μπεντονίτη, τείνει όμως να παίρνει την ίδια τιμή όταν η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη είναι 0,1M.

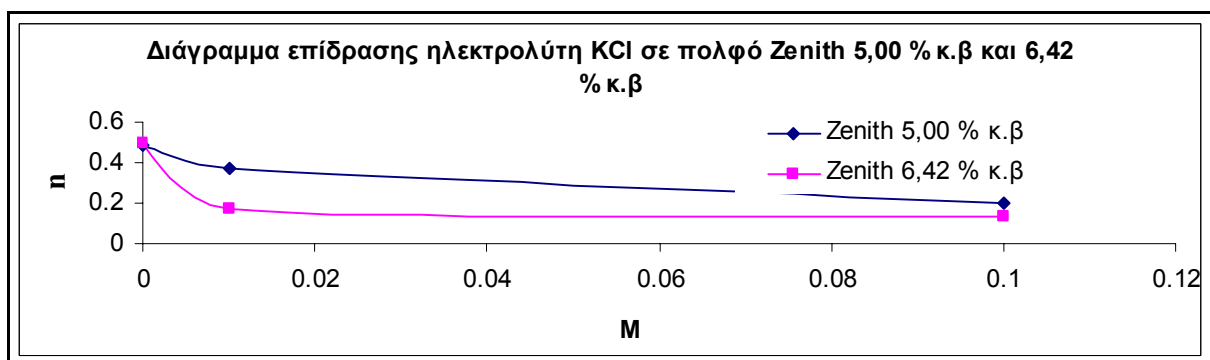
Ο οδηγός συμπεριφοράς ροής(n) δεν φαίνεται να μεταβάλεται σύμφωνα με την κ.β συγκέντρωση του μπεντονίτη ενώ ούτε η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη φαίνεται να τον επηρεάζει.



Διάγραμμα 31. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 %-5,00 % κ.β



Διάγραμμα 32. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β



Διάγραμμα 33. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 6,42 %- 5,00 % κ.β

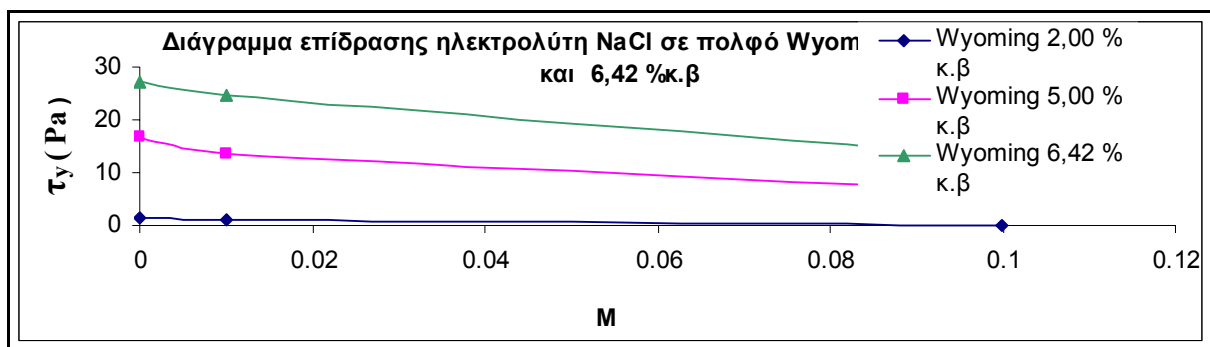
Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι η κατά βάρος συγκέντρωση του μπεντονίτη Zenith επηρεάζει την τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y .

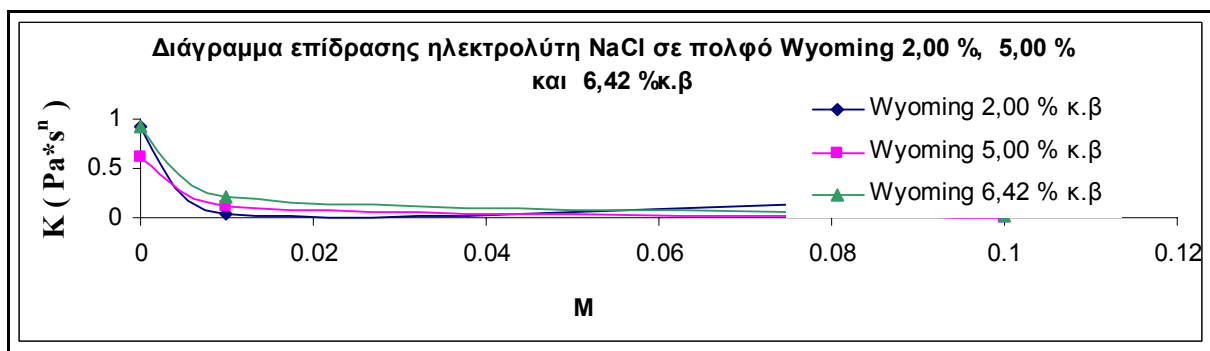
Τόσο πριν όσο και μετά την ανάμειξη του πολφού μπεντονίτη με ηλεκτρολύτη KCl, μεγαλύτερη συγκέντρωση κ.β μπεντονίτη (6,42 5 κ.β) δίνει μεγαλύτερη τιμή στην τάση διολίσθησης τ_y από ότι μικρότερη κ.β (5,00 % κ.β), τείνει όμως να παίρνει την ίδια τιμή όταν η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη είναι 0,1M.

Η τιμή του οδηγού συνάφειας K είναι επίσης μεγαλύτερη για μεγαλύτερη κ.β συγκέντρωση του μπεντονίτη, ανεξάρτητα από την τιμή της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη

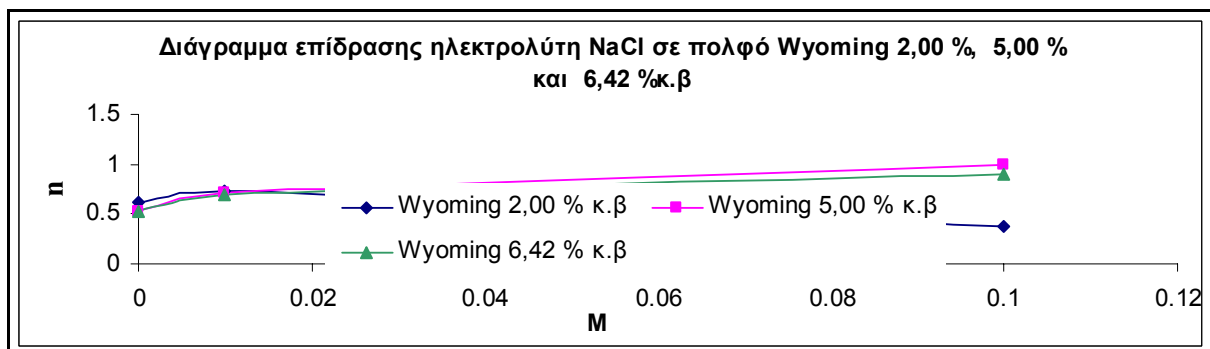
Η τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) από την άλλη είναι αντιστρόφως ανάλογη με την κ.β συγκέντρωση του μπεντονίτη ενώ τείνει να παίρνει την ίδια τιμή όταν η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη είναι 0,1M.



Διάγραμμα 34. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 35. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 36. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β

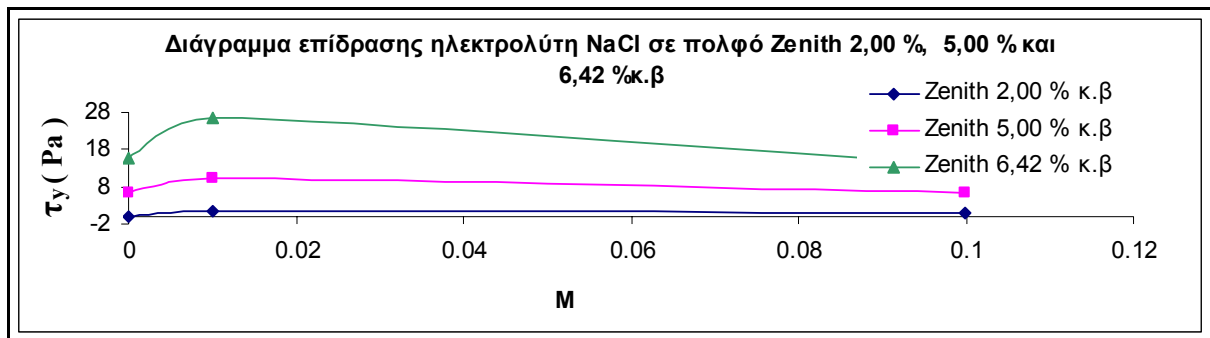
Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι η κατά βάρος συγκέντρωση του μπεντονίτη Zenith επηρεάζει την τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y .

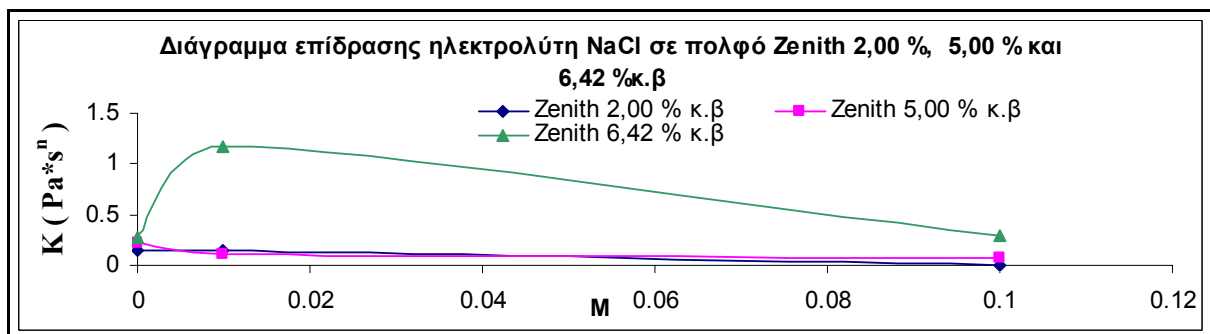
Τόσο πριν όσο και μετά την ανάμειξη του πολφού μπεντονίτη με ηλεκτρολύτη NaCl, μεγαλύτερη συγκέντρωση κ.β μπεντονίτη (6,42 % κ.β) δίνει μεγαλύτερη τιμή στην τάση διολίσθησης τ_y από ότι μικρότερη κ.β (5,00 % κ.β και 2,00 % κ.β), ανεξάρτητα από την τιμή της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

Η τιμή του οδηγού συνάφειας K είναι επίσης μεγαλύτερη για μεγαλύτερη κ.β συγκέντρωση του μπεντονίτη, ανεξάρτητα από την τιμή της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη τείνει όμως να παίρνει την ίδια τιμή όταν η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη είναι 0,1M.

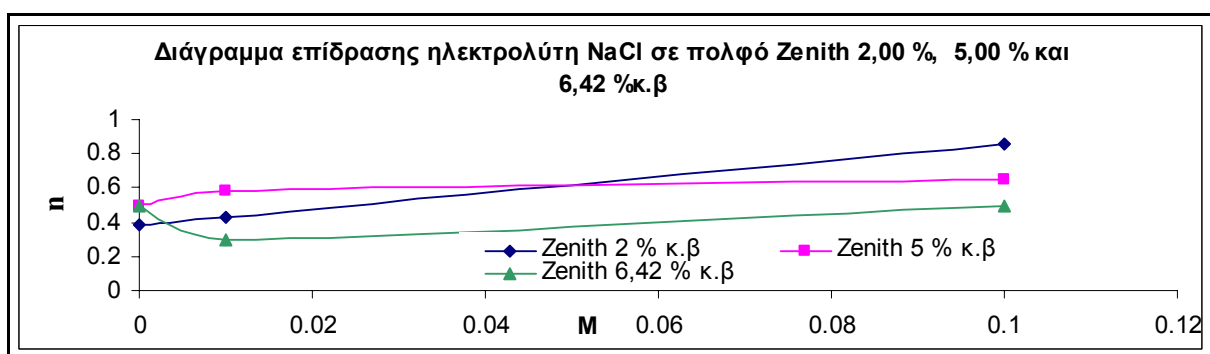
Η τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) από την άλλη φαίνεται να μην επηρεάζεται από την κ.β συγκέντρωση μπεντονίτη.



Διάγραμμα 37. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 38. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 39. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %- 5,00 %- 6,42 % κ.β

Σχόλια - Ανάλυση αποτελεσμάτων

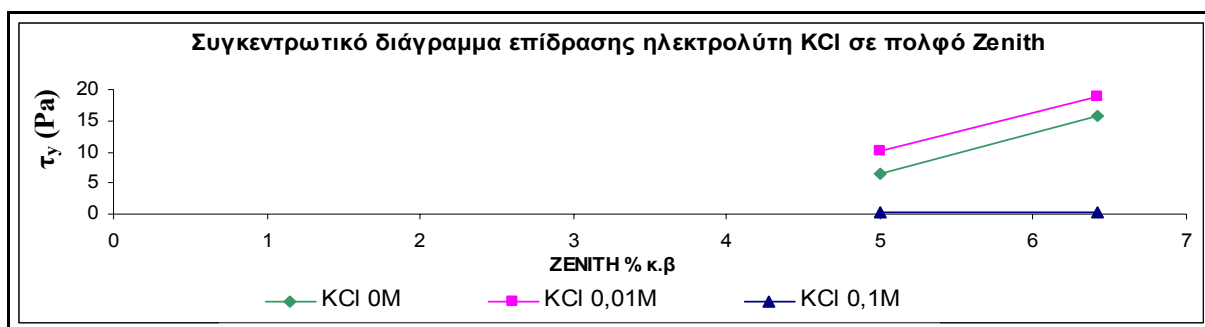
Από παρατήρηση των παραπάνω διαγραμμάτων βλέπουμε ότι η κατά βάρος συγκέντρωση του μπεντονίτη Wyoming επηρεάζει την τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y .

Τόσο πριν όσο και μετά την ανάμειξη του πολφού μπεντονίτη με ηλεκτρολύτη NaCl, μεγαλύτερη συγκέντρωση κ.β μπεντονίτη (6,42 % κ.β) δίνει μεγαλύτερη τιμή στην τάση διολίσθησης τ_y από ότι μικρότερη κ.β (5,00 % κ.β και 2,00 % κ.β), ανεξάρτητα από την τιμή της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη.

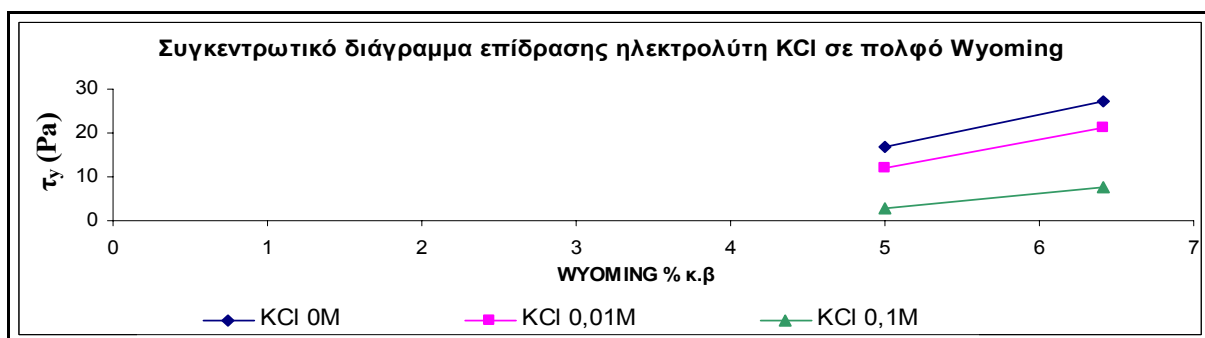
Η τιμή του οδηγού συνάφειας K είναι επίσης μεγαλύτερη για μεγαλύτερη κ.β. συγκέντρωση του μπεντονίτη, ανεξάρτητα από την τιμή της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη τείνει όμως να παίρνει την ίδια τιμή όταν η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη είναι 0,1M.

Η τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) από την άλλη φαίνεται να μην επηρεάζεται από την κ.β συγκέντρωση μπεντονίτη.

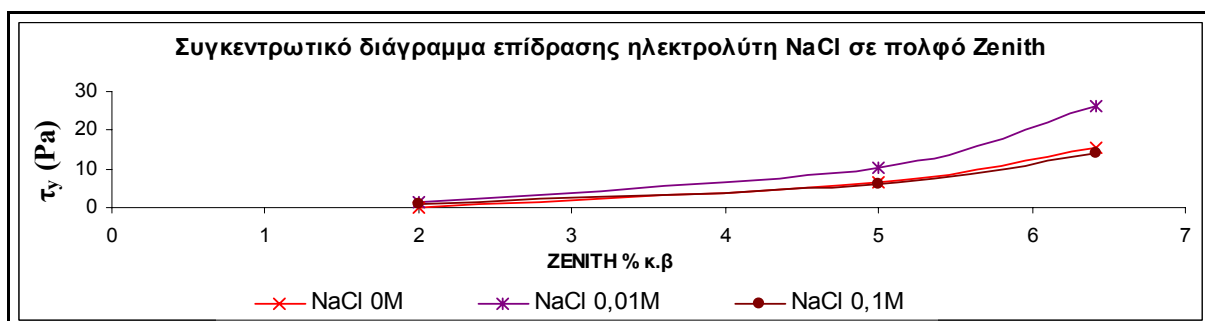
7.5. Συγκεντρωτικά διαγράμματα επίδρασης ηλεκτρολυτών NaCl και KCl συγκέντρωσης 0M , 0,01 M και 0,1 M σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith με συγκέντρωση 2,00% κ.β, 5,00 % κ.β και 6,42 % κ.β



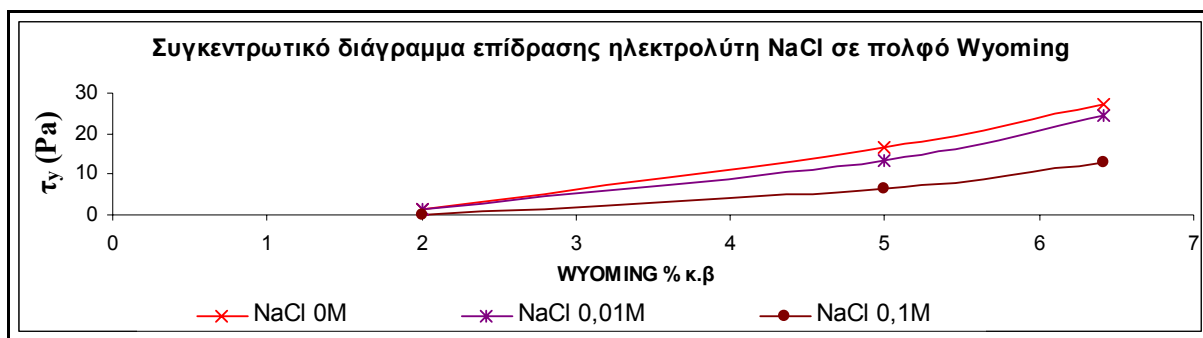
Διάγραμμα 40. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5.00 % και 6.42%.



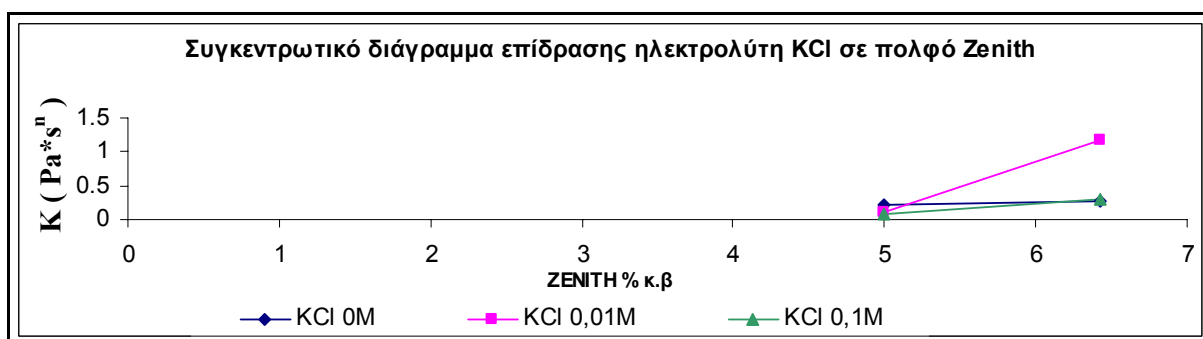
Διάγραμμα 41. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5.00 % και 6.42%.



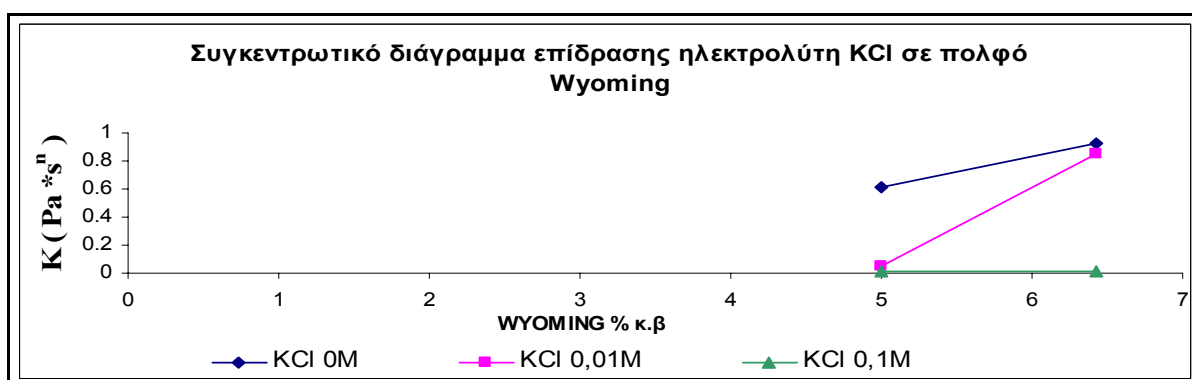
Διάγραμμα 42. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00%, 5,00 % και 6,42%.



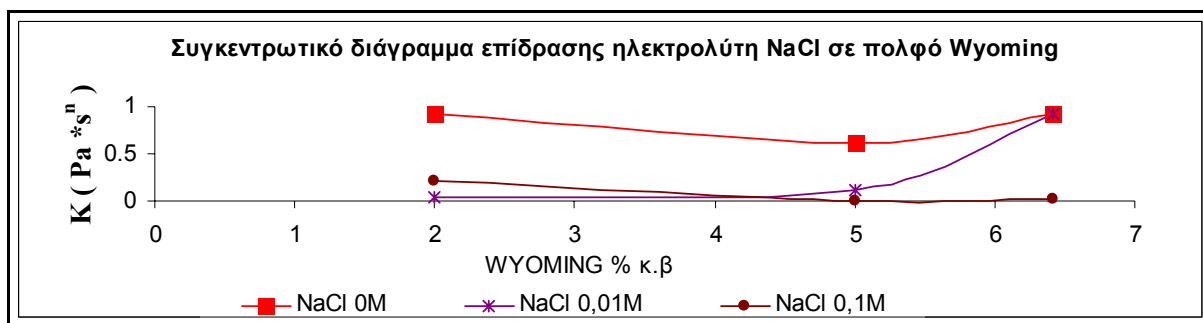
Διάγραμμα 43. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στη τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00%, 5.00 % και 6.42%.



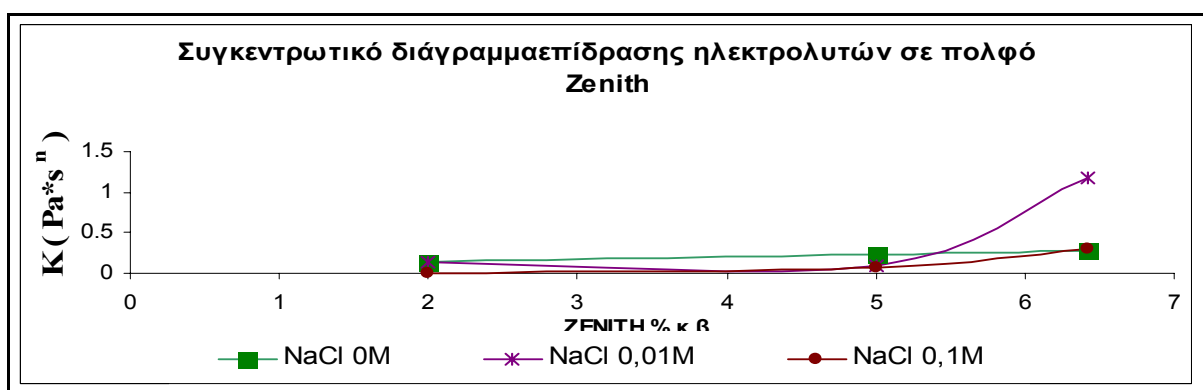
Διάγραμμα 44 . Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %



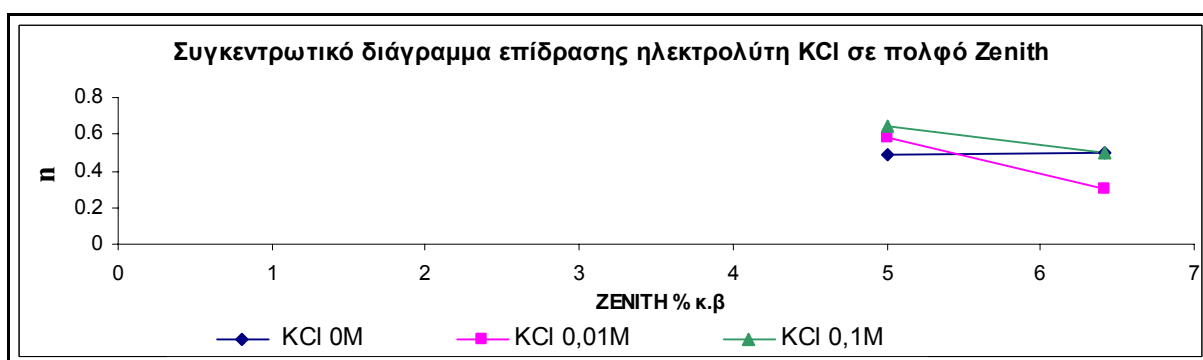
Διάγραμμα 45. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %



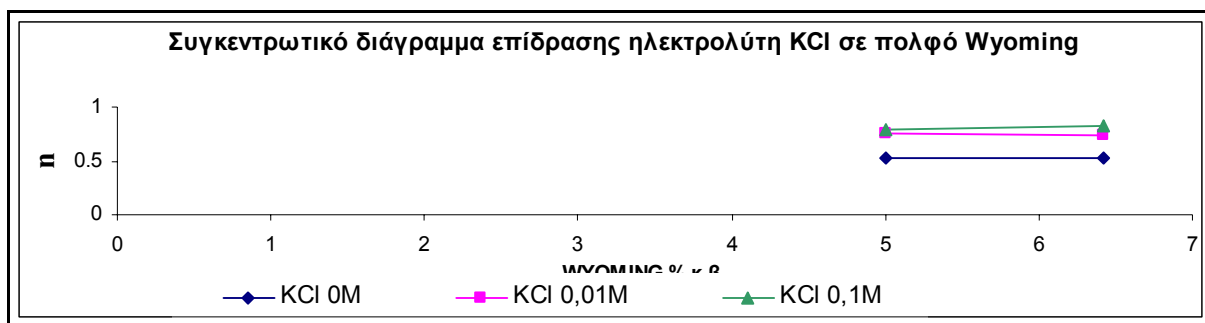
Διάγραμμα 46. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00%, 5,00 % και 6.42 %



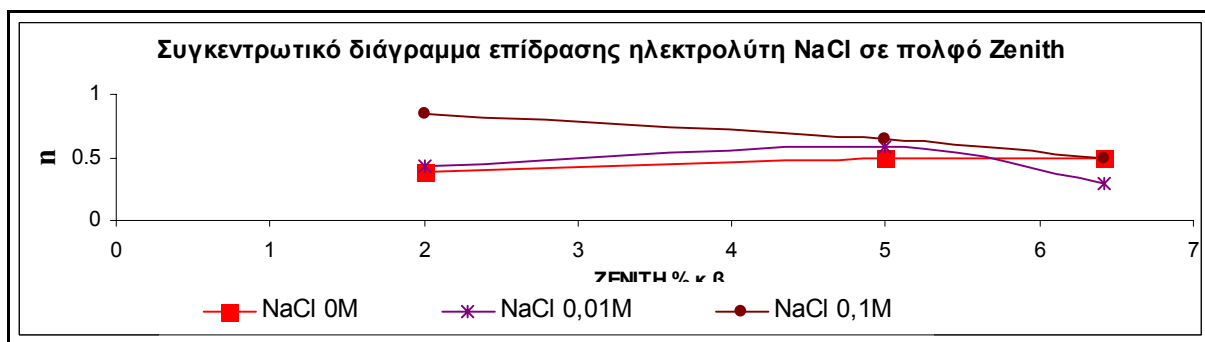
Διάγραμμα 47. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συνάφειας K σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %, 5,00 % και 6.42 %



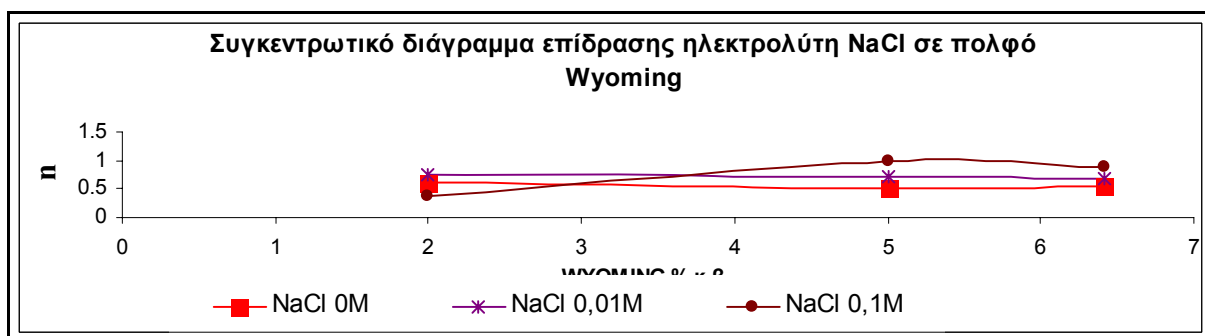
Διάγραμμα 48. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %



Διάγραμμα 49. Επίδραση ηλεκτρολύτη KCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %



Διάγραμμα 50. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Zenith συγκέντρωσης 2,00 %, 5,00 % και 6.42 %



Διάγραμμα 51. Επίδραση ηλεκτρολύτη NaCl στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) σε μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 2,00 %, 5,00 % και 6.42 %

7.6. Συγκεντρωτικοί πίνακες επίδρασης ηλεκτρολυτών NaCl και KCl συγκέντρωσης 0 M , 0,01 M και 0,1 M σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith με συγκέντρωση 2,00 % κ.β ,5,00 % κ.β και 6,42 % κ.β

Είδος ηλεκτρολύτη KCl				
Είδος μπεντονίτη	Συγκέντρωση ηλεκτρολύτη M	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)
Wyoming	0,00	16.75	0.610	0.5200
5,00% κ.β	0.01	11.66	0.032	0.8300
	0.10	2.84	0.840	0.0100
Wyoming	0,00	27.27	0.920	0.5300
6.42% κ.β	0.01	21.26	0.840	0.7300
	0.10	7.64	0.003	1.000
Zenith	0,00	6.43	0.230	0.4900
5,00 % κ.β	0.01	10.75	0.642	0.0600
	0.10	0.16	0.100	1.000
Zenith	0,00	15.68	0.280	0.4900
6.42 % κ.β	0.01	21.28	0.494	0.1900
	0.10	0.17	0.290	0.4900

Πίνακας 9. Επίδραση KCl σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00 % και 6.42 %

Είδος ηλεκτρολύτη NaCl				
Είδος μπεντονίτη	Συγκέντρωση ηλεκτρολύτη M	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)
Wyoming	0.00	1.47	0.92	0.6243
2 % κ.β	0.01	1.23	0.0394	0.7344
	0.10	0.13	0.2106	0.3757
Wyoming	0.00	16.75	0.6088	0.5258
5 % κ.β	0.01	13.45	0.111	0.7036
	0.10	6.59	0.0061	1.0000
Wyoming	0.00	27.27	0.925	0.5330
6.42 % κ.β	0.01	24.62	0.218	0.6887
	0.10	13.00	0.016	0.8943
Zenith	0.00	0.17	0.140	0.3831
2 % κ.β	0.01	1.22	0.141	0.4249
	0.10	0.88	0.006	0.8533
Zenith	0.00	6.43	0.227	0.4904
5 % κ.β	0.01	10.22	0.101	0.5857
	0.10	6.28	0.074	0.6493
Zenith	0.00	15.68	0.280	0.4968
6.42 % κ.β	0.01	26.29	1.171	0.2990
	0.10	13.94	0.297	0.4998

Πίνακας 10. Επίδραση NaCl σε πολφούς μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 2,00%, 5,00% και 6.42 %

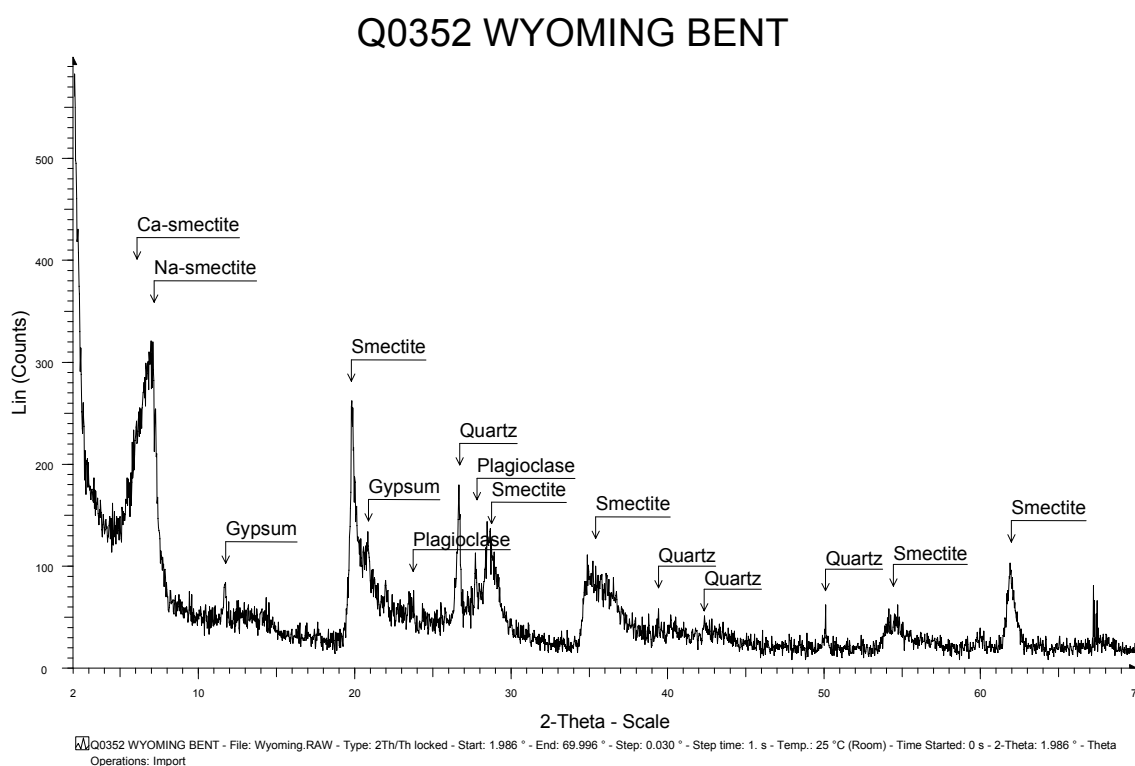
Παρατηρήσεις

Για να έχουμε μια πληρέστερη εικόνα χρησιμοποιήσαμε δεδομένα από (Κελεσίδησα, 2007) και αφορούν τις τιμές των ρεολογικών παραμέτρων για συγκέντρωση 0 M των Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 5,00% και 6.42 %

Οι δύο μπεντονίτες που χρησιμοποιούνται στο πείραμα Zenith και Wyoming είναι νατριούχοι ο Zenith όμως έχει υποστεί επεξεργασία αφού έχει γίνει πρόσμιξη με σόδα (Na_2SO_4) κατά την παραγωγή του γιατί είναι αρχικά ασβεστούχος.

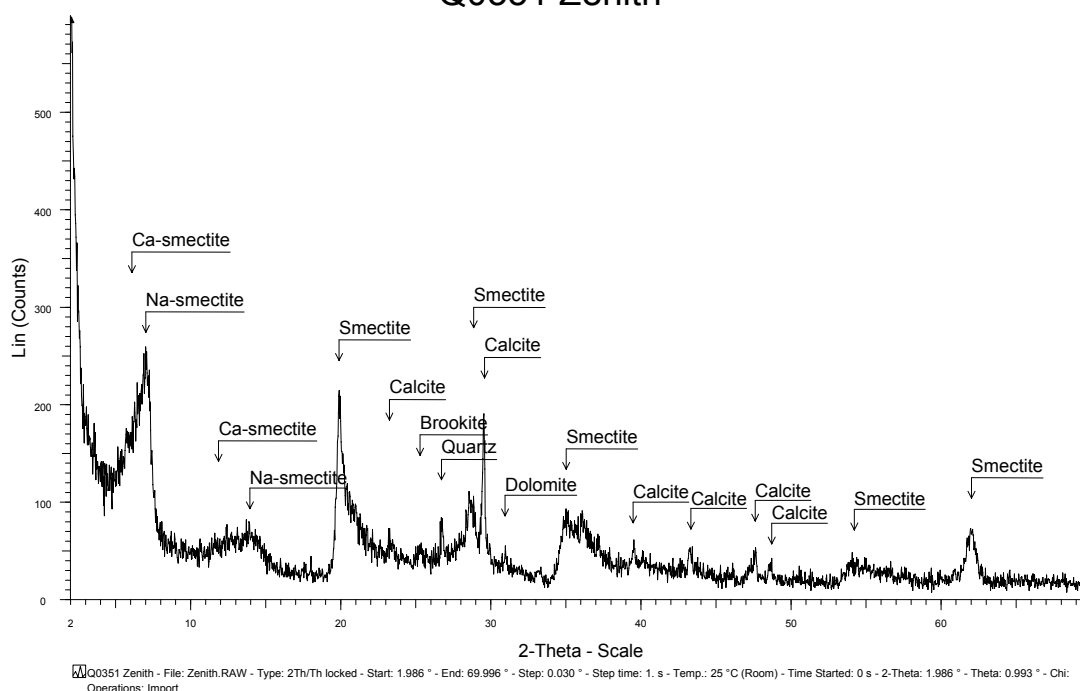
Τα αποτελέσματα όμως που προκύπτουν δείχνουν ότι αυτή η επεξεργασία ίσως να μην είναι επαρκής αφού οι δύο μπεντονίτες εμφανίζουν πολύ διαφορετικές ρεολογικές ιδιότητες ιδιαίτερα στην τιμή της διατμητικής τάσης που στον Wyoming είναι πολύ μεγαλύτερη.

Παρακάτω βλέπουμε την ορυκτολογική ανάλυση των δύο μπεντονιτών με την μέθοδο XRD:



Εικόνα 23. Ορυκτολογική ανάλυση μπεντονίτη Wyoming με την μέθοδο XRD (Clay Science 2007)

Q0351 Zenith



Εικόνα 24. Ορυκτολογική ανάλυση μπεντονίτη Zenith με την μέθοδο XRD (Clay Science 2007)

Υπόμνημα:

Ca – smectite: ασβεστιούχος σμεκτίτης

Na – smectite: νατριούχος σμεκτίτης

Calcite: ασβεστίτης

Brookite: μπρουκίτης

Dolomite: Δολομίτης

Quartz: Χαλαζίας

Gypsum: Γύψος

Plagioclasse: Πλαγιόκλαστα

Συμπεράσματα

Επίδραση ηλεκτρολυτών στις ρεολογικές ιδιότητες (εξεταζόμενη παράμετρος: ο τύπος μπεντονίτη)

Από τον συγκεντρωτικό πίνακα καθώς και τα διαγράμματα που παρατείθονται παραπάνω, βλέπουμε ότι ο μπεντονίτης τύπου Wyoming παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τ_y (τάση διολίσθησης), K (παράμετρος συνάφειας) και (n) (οδηγός συμπεριφοράς ροής) από ότι ο

μπεντονίτης τύπου Zenith για την ίδια κατα βάρος συγκέντρωση μπεντονίτη, τόσο όταν είναι αναμεμειγμένος με ηλεκτρολύτη NaCl όσο και όταν έχουμε ηλεκτρολύτη KCl.

Ακόμη από τα διαγράμματα φαίνεται ότι όσο αυξάνει η συγκέντρωση του μπεντονίτη τόσο επηρεάζονται και οι τιμές τ_y (τάση διολίσθησης) αφού στις περισσότερες περιπτώσεις αύξηση της κατα βάρος συγκέντρωσης συνοδεύεται από αυξημένη τιμή τ_y ενώ το ίδιο συμβαίνει και για τις άλλες παραμέτρους K (παραμέτρος συνάφειας) και (n) (οδηγός συμπεριφοράς ροής) αφού εμφανίζονται και αυτές αντίστοιχα αυξημένες. Αυτή η αύξηση της διατμητικής τάσης ίσως να μπορεί να αποδοθεί στην παραδοχή του ότι όσο πιο μεγάλη είναι η κατα βάρος συγκέντρωση, τόσο πιο πηχτός είναι ο πολφός οπότε και παρουσιάζει μεγαλύτερη «αντίσταση» κατά την κίνηση μέσα στον πολφό.

Επίδραση ηλεκτρολυτών στις ρεολογικές ιδιότητες (εξεταζόμενη παράμετρος: ο τύπος ηλεκτρολύτη)

Ένα ακόμη συμπέρασμα που εξάγουμε από το πίνακα και τα διαγράμματα είναι πως και για τους δύο τύπους μπεντονίτη, τύπου Wyoming και τύπου Zenith, (μετρημένους σε ίδιες συγκεντρώσεις) ότι παρουσία ηλεκτρολύτη NaCl οι τιμές των τ_y , K και (n) είναι μεγαλύτερες από όταν έχουμε ηλεκτρολύτη KCl, οπότε και συμπεραίνουμε ότι ο ηλεκτρολύτης NaCl επηρεάζει περισσότερο τον πολφό ως προς τις ρεολογικές του ιδιότητες.

Γενικά από την ανάμειξη με ηλεκτρολύτη αναμένουμε κροκίδωση δηλαδή να γίνει ο πολφός πιο πεπτικός, μείωση λοιπόν του τ_y και αύξηση του K . Από τα συγκεκριμένα πειράματα προκύπτει ότι ενώ για μικρή συγκέντρωση ηλεκτρολύτη έχουμε αύξηση του τ_y , για μεγαλύτερη συγκέντρωση έχουμε μείωση.

Η τιμή του (n) παρουσιάζει κι αυτή αύξηση μετά την ανάμειξη με ηλεκτρολύτες ενώ η τιμή του K δεν παρουσιάζει κάποιο μοντέλο συμπεριφοράς.

8. Πειράματα επίδρασης θαλασσινού νερού σε πολφό μπεντονίτη Zenith και Wyoming 5,00% και 6,42 % κ.β

8.1. Εισαγωγή

Πολλές φορές, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που οι υδρογεωτρήσεις πραγματοποιούνται σε παραθαλάσσιες περιοχές ή ακόμη και σε βαθιές γεωτρήσεις πετρελαίου που γίνονται στη θάλασσα, ο πολφός μπεντονίτη που χρησιμοποιείται περιέχει θαλασσινό νερό αφού είναι πιο εύκολο και οικονομικό σε αυτές τις συνθήκες. Εδώ θα μελετήσουμε την επίδραση του θαλασσινού νερού στον πολφό και τη διαφορά του σε σχέση με άλλα άλατα (ηλεκτρολύτες που έχουν μελετηθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο).

8.2. Μελέτη επίδρασης θαλασσινού νερού σε πολφούς μπεντονίτη Zenith και Wyoming 5,00% και 6,42% κ.β.

8.2.1. Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος

Για την παρασκευή πολφού μπεντονίτη συγκέντρωσης 5,00 % κ.β βάζουμε στο ειδικό δοχείο ανάμιξης: 500 ml θαλασσινού νερού και 25 g μπεντονίτη. Για την παρασκευή πολφού μπεντονίτη 6,42 % κ.β χρησιμοποιούμε αντίστοιχα 32,1 g. Με τη βοήθεια του αναμεικτηρίου αναδεύουμε το δείγμα στις 11000 rpm για 5 min. Κατεβάζουμε το δοχείο με το μείγμα του μπεντονίτη, καθαρίζουμε τα τοιχώματα και αναδεύουμε για άλλα 15 min (συνολικός χρόνος ανάδευσης 20 min στις 11000 rpm).

Στη συνέχεια μετρούνται οι ρεολογικές ιδιότητες του κάθε δείγματος με χρήση του περιστροφικού ιξωδομέτρου τύπου Couette, σε θερμοκρασία δωματίου, στις ταχύτητες περιστροφής 600, 300, 200, 100, 60, 6, και 3 rpm.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ιξωδομέτρου επεξεργάζονται με την βοήθεια λογισμικού του εργαστηρίου, από όπου προκύπτουν οι ρεολογικές παράμετροι τ_y , K και (n) για το μοντέλο Herschel – Bulkley.

Ο όρος μοντέλο Golden section που χρησιμοποιείται αναφέρεται όχι σε κάποιο ρεολογικό μοντέλο αλλά στην μέθοδο που αναπτύχθηκε από Kelesidis *et al.*, 2006 που βοηθούσε στην καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων, όταν η μέθοδος της μη γραμμικής παλινδρόμησης (non linear) που προέκυπτε απο τη το λογισμικό έδινε αρνητικές τιμές τ_y .

Παρακάτω παρουσιάζεται ανάλυση αποτελεσμάτων σε μορφή τόσο ξεχωριστών όσο και συγκεντρωτικών διαγραμμάτων και πινάκων για την κάθε περίπτωση και με τη συμβατική μέθοδο αλλά και με την μέθοδο Κελεσίδη κ.α. για να διαπιστώσουμε ότι έχουμε τα ίδια αποτελέσματα και για τις δύο, όταν και η συμβατική μας δίνει τιμές του τ_y μεγαλύτερες του μηδέν.

8.3. Διαγράμματα και πίνακες για πολφό μπεντονίτη Wyoming 5,00 % και 6,42 %κ.β αναμεμιγμένο με θαλασσινό νερό

8.3.1. Πίνακες ρεολογικών παραμέτρων πολφού Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β

τύπος διαλύτη	συγκέντρωση μπεντονίτη % κ.β	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)	R ² (-)	SSE (Pa ²)
θαλασσινό νερό	5.00%	0.3656	0.0494	0.4105	0.8285	0.4849
θαλασσινό νερό	6.42%	0.5143	0.0022	0.9630	0.9894	0.0116

Πίνακας 11. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφού Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β με το με τη μέθοδο Κελεσίδη κ.α (2006)

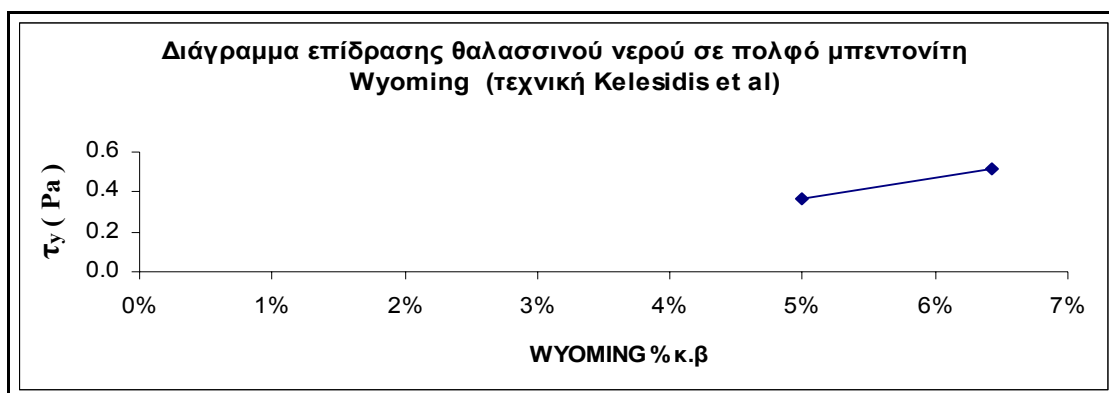
τύπος διαλύτη	συγκέντρωση μπεντονίτη % κ.β	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)	R ² (-)	SSE (Pa ²)
θαλασσινό νερό	5.00%	0.3770	0.0006	1.1271	0.9769	0.0357
θαλασσινό νερό	6.42%	0.4740	0.0036	0.8959	0.9965	0.0080

Πίνακας 12. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφού Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β με την συμβατική μέθοδο μή γραμμικής παλινδρόμησης

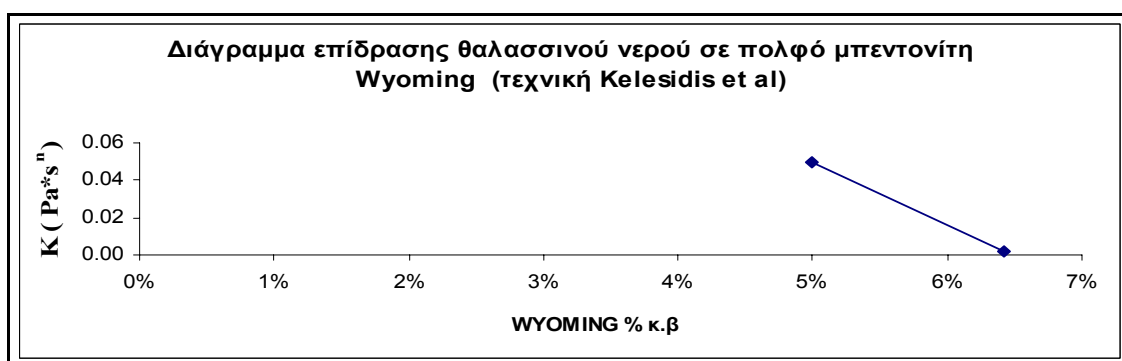
Σχόλια – Ανάλυση αποτελεσμάτων

Από τους παραπάνω πίνακες βλέπουμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά για τις τιμές της τάσης διολίσθησης τ_y όποια μέθοδο και να χρησιμοποιήσουμε. Ακόμη για 5,00 % Wyoming μέθοδο μη γραμμικής παλινδρόμησης βλέπουμε ότι η τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) είναι μεγαλύτερη από την μονάδα οπότε το ρευστό είναι διασταλτικό ενώ η τεχνική Κελεσίδη κ.α 2006, δίνει αναμενόμενο αποτέλεσμα.

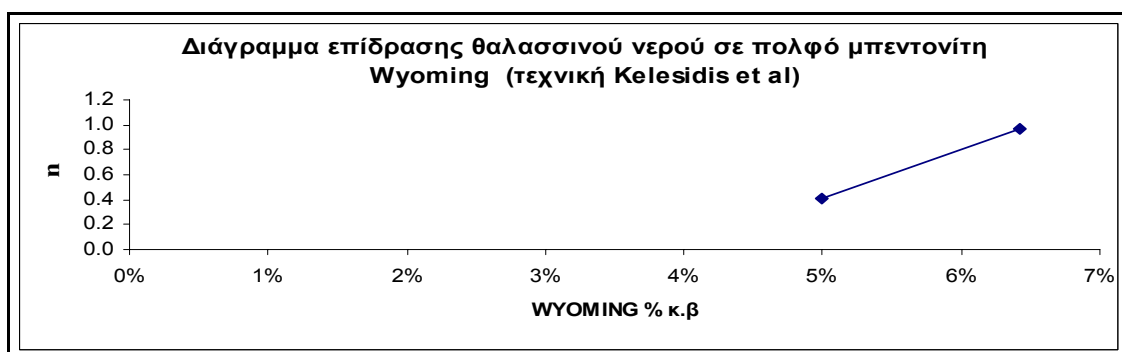
8.4. Διαγράμματα για πολφό μπεντονίτη Wyoming 5,00 % και 6,42 % κ.β αναμεμιγμένο με θαλασσινό νερό



Διάγραμμα 52. Διάγραμμα επίδρασης θαλασσινού νερού στην τιμή της τάσης διολίσθησης τ_y σε πολφό μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β



Διάγραμμα 53. Διάγραμμα επίδρασης θαλασσινού νερού στην τιμή του οδηγού συνάφειας K σε πολφό μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β



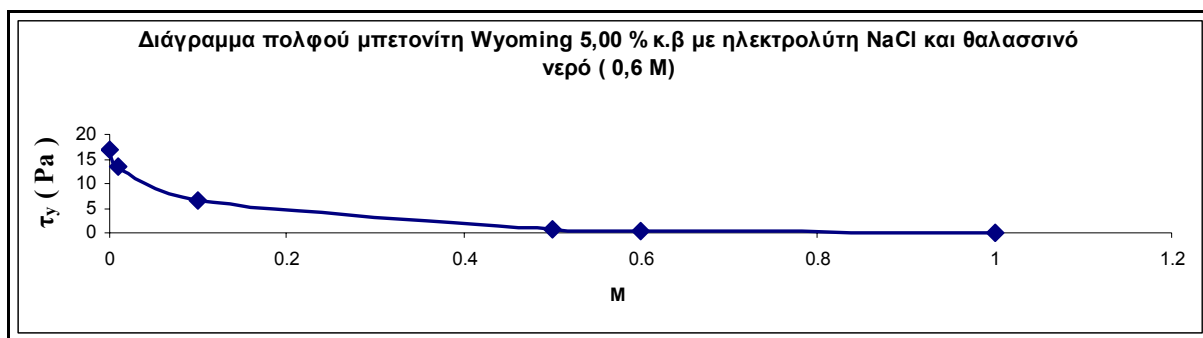
Διάγραμμα 54. Διάγραμμα επίδρασης θαλασσινού νερού στον οδηγό συμπεριφοράς n σε πολφό μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 5,00 % και 6,42 % κ.β

8.5. Συγκριτικά διαγράμματα και πίνακες μπεντονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με NaCl και με θαλασσινό νερό

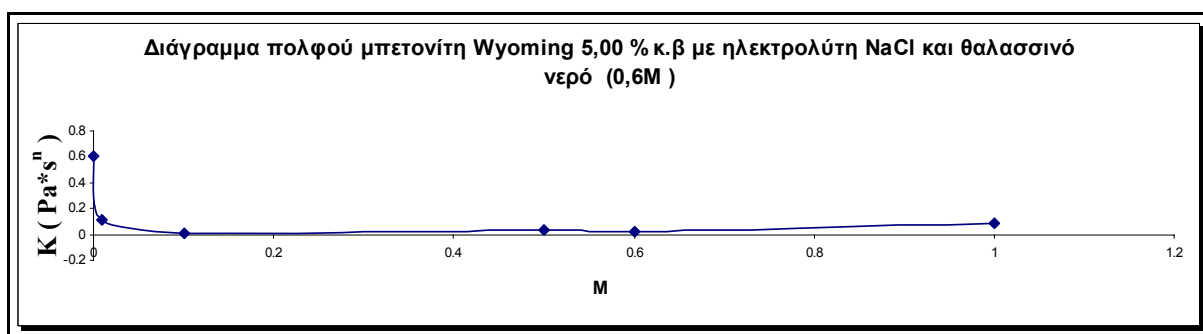
Παρακάτω παραθέτονται διαγράμματα οι τιμές ρεολογικών παραμέτρων τόσο πολφών αναμεμιγμένους με ηλεκτρολύτη NaCl όσο και θαλασσινό νερό

Συγκέντρωση μπεντονίτη % κ.β	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)	Είδος διαλύτη	Συγκέντρωση διαλύτη M
5.00%	16.75	0.61	0.53	NaCl	0.00
5.00%	13.45	0.11	0.70	NaCl	0.01
5.00%	6.60	0.01	1.00	NaCl	0.10
5.00%	0.76	0.03	0.00	NaCl	0.50
5.00%	0.36	0.04	0.41	θαλασσινό νερό	0.60
5.00%	0.00	0.08	0.81	NaCl	1.00

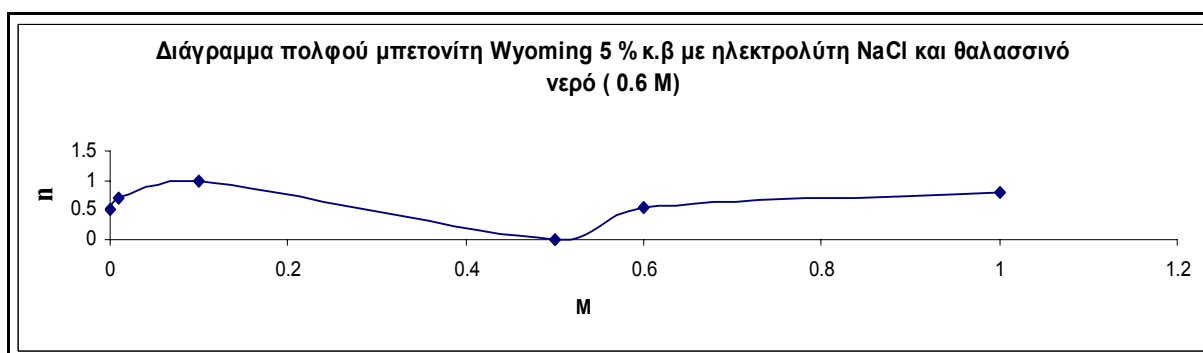
Πίνακας13. Πίνακας μπεντονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και θαλασσινό νερό (0.6 M)



Διάγραμμα 55. Διάγραμμα τάσης διολίσθησης τ_y - συγκέντρωσης ηλεκτρολύτη M, μπετονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)



Διάγραμμα 56. Διάγραμμα παραμέτρου οδηγού K - συγκέντρωσης ηλεκτρολύτη M, μπετονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)

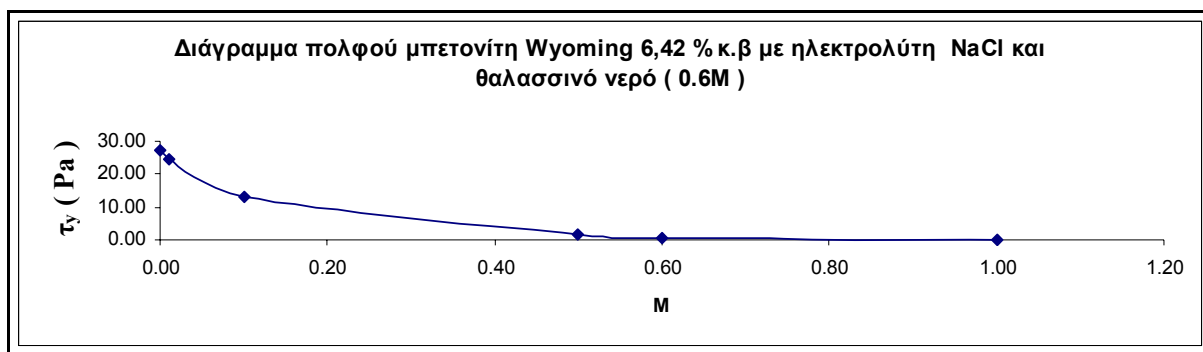


Διάγραμμα 57. Διάγραμμα οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) - συγκέντρωσης ηλεκτρολύτη M, μπετονίτη Wyoming 5,00 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)

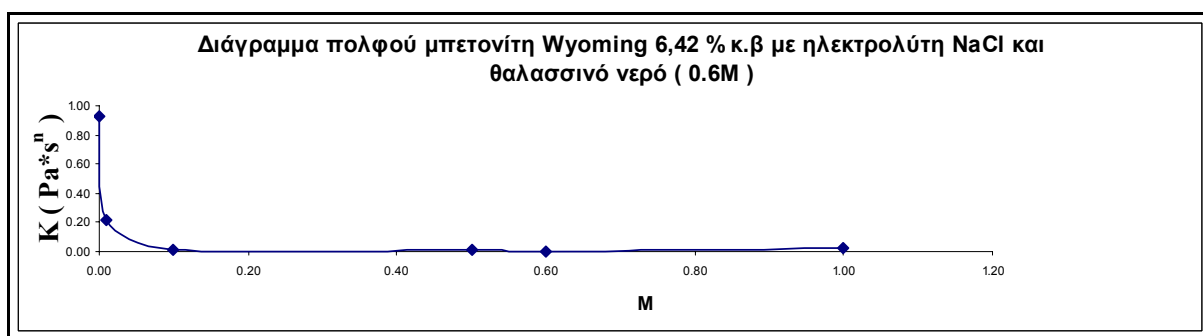
8.6. Συγκριτικά διαγράμματα και πίνακες μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με NaCl και μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με θαλασσινό νερό

Συγκέντρωση μπεντονίτη % κ.β	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)	Είδος διαλύτη	Συγκέντρωση διαλύτη M
6.42%	27.27	0.93	0.53	NaCl	0.00
6.42%	24.62	0.22	0.69	NaCl	0.01
6.42%	13.00	0.02	0.89	NaCl	0.10
6.42%	1.84	0.01	0.81	NaCl	0.50
6.42%	0.51	0.00	0.96	θαλασσινό νερό	0.60
6.42%	0.26	0.03	0.68	NaCl	1.00

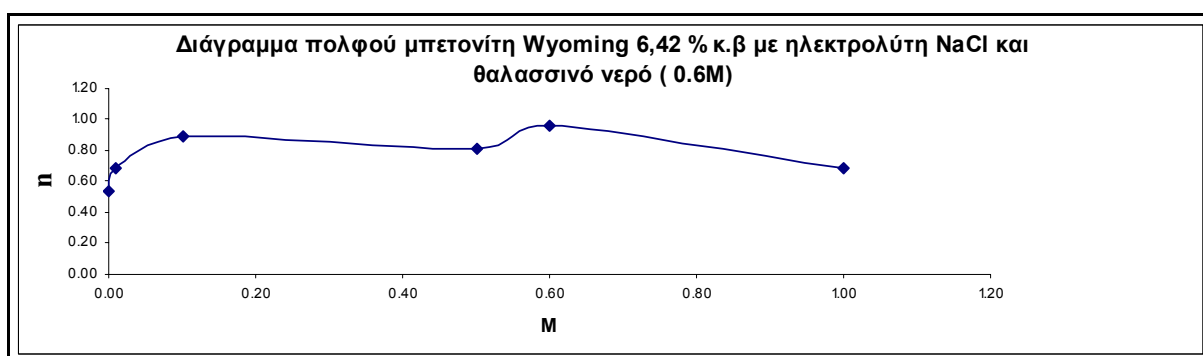
Πίνακας14. Πίνακας μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)



Διάγραμμα 58. Διάγραμμα διατμητικής τάσης τ_y - συγκέντρωσης M , μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)



Διάγραμμα 59. Διάγραμμα οδηγού συνάφειας K - συγκέντρωσης M , μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)



Διάγραμμα 60. Διάγραμμα οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) - συγκέντρωσης M , μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β με ηλεκτρολύτη NaCl συγκέντρωσης 0 M, 0.01M, 0.1M και 1,0 M και με θαλασσινό νερό (0.6 M)

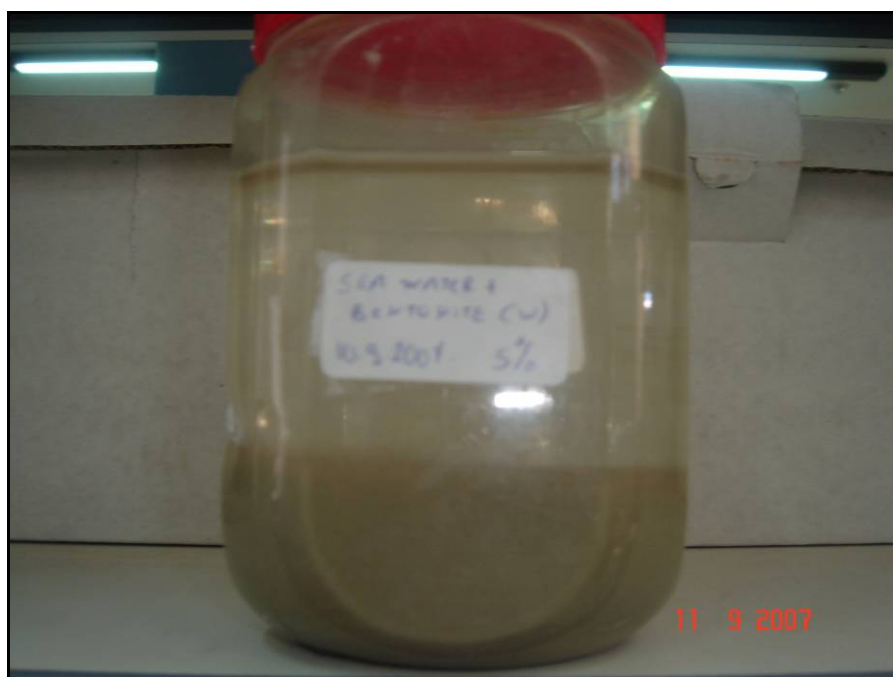
Παρατηρήσεις:

Οι τιμές των ρεολογικών παραμέτρων για τη συγκέντρωση ηλεκτρολύτη 0,5 M και 1,0 M είναι από προηγούμενη εργασία (Kelesidis et al c, 2007) και χρησιμοποιήθηκαν για να έχουμε μια σαφέστερη εικόνα της επίδρασης των αλάτων.

Ακόμη η τιμή 0,6 M για τη συγκέντρωση του θαλασσινού νερού είναι παραδοχή μετά από βιβλιογραφική έρευνα (Πίνακας βξκ).

Τα δείγματα των πολφών που κατασκευάστηκαν με προσθήκη θαλασσινού νερού παρουσίασαν έντονο διαχωρισμό μετά τον χρόνο που πέρασε ώστε να γίνει η απαραίτητη ενυδάτωση (Εικόνα 25). Αυτό δεν συνέβη και για τα δείγματα που κατασκευάστηκαν με προσθήκη ηλεκτρολύτη NaCl αφού δεν παρατηρήθηκε διαχωρισμός.

Πριν την ιξωδομέτρηση το μείγμα ωστόσο ομογενοποιήθηκε στο μίξερ παραμένοντας όμως ιδιαίτερα αραιό.



Εικόνα 25. Διαχωρισμένος πολφός με θαλασσινό νερό μετά από ωρίμανση 16 ωρών.

Συμπεράσματα

Από ότι βλέπουμε τόσο από τους πίνακες όσο και από τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που παρατείθονται παραπάνω η ανάμιξη μπεντονίτη με θαλασσινό πολφό δίνει ενδιαφέροντα

αποτελέσματα για τις ρεολογικές παραμέτρους που μας ενδιαφέρουν αφού βλέπουμε χαμηλές τιμές της τάσης διολίσθησης τ_y που είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

Ο οδηγός συνάφειας K με τον οδηγό ροομετρικής συμπεριφοράς (n) έχουν επίσης χαμηλές τιμές συγκριτικά με τους ηλεκτρολύτες που εξετάστηκαν στο προηγούμενο πείραμα.

Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι για μίξη με θαλασσινό νερό ο οδηγός ροομετρικής συμπεριφοράς (n) είναι πολύ κοντά στην μονάδα κάτι που σημαίνει ότι το ρευστό μας είναι στην πραγματικότητα Νευτώνειο.

Από την σύγκριση θαλασσινού νερού συγκέντρωσης 0.6M και των ηλεκτρολυτών NaCl και KCl συγκέντρωσης 0M, 0.01M, 0.1M 0.5M και 1M διαπιστώνουμε ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη τόσο μικραίνει η τιμή της διατμητικής τάσης τ_y και του οδηγού συνάφειας K . Ο οδηγός ροομετρικής συμπεριφοράς (n) πάλι δεν παρουσιάζει κάποια τάση αύξησης ή μείωσης αφού οι τιμές που προκύπτουν είναι πολύ κοντινές. Οι τιμές που μετρήθηκαν με θαλασσινό νερό (0,6M) για τις ρεολογικές παραμέτρους τ_y , K και (n) φαίνεται να «πέφτουν» στις καμπύλες των συγκριτικών διαγραμμάτων ακολουθώντας την καμπύλη του NaCl. Συνεπώς δεν φαίνεται σημαντική διαφορά στους πολφούς με θαλασσινό νερό και στους πολφούς με NaCl. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ο έντονος διαχωρισμός (κροκίδωση δηλαδή όταν τα συστατικά ενός αιωρήματος σχηματίζουν συσσωματώματα που καθιζάνουν) στους πολφούς με θαλασσινό νερό που προαναφέρθηκε και που ίσως οφείλεται στην παρουσία άλλων αλάτων στο θαλασσινό νερό. Οι πολύ μικρές τιμές τάσης διολίσθησης είναι αποτέλεσμα των άλλων αλάτων που περιέχονται στο θαλασσινό νερό οι συγκεντρώσεις των οποίων παρατίθενται σε πίνακα στο παράρτημα.

9. Πειράματα επίδρασης θαλασσινού νερού σε πολφούς προενυδατωμένου μπεντονίτη

9.1. Εισαγωγή

Σε αυτό εδώ το πείραμα θα εξετάσουμε την περίπτωση της ύπαρξης στον πολφό μας αρχικού ήδη ενυδατωμένου πολφού όπως περιγράφεται στις προτεινόμενες διαδικασίες για τα εργαστήρια ρευστών γεωτρήσεων του American Petroleum Institute για να διαπιστώσουμε ποια θα είναι η επίδραση της χρήσης αυτής προενυδατωμένου πολφού στις ρεολογικές παραμέτρους των τελικών πολφών Wyoming που θα μελετηθούν.

9.2. Μελέτη επίδρασης θαλασσινού νερού σε προενυδατωμένο πολφό μπεντονίτη Wyoming συγκέντρωσης 3.35 % , 4,00 % , 4.50 % , 5,00 % , 5.50 % , 6,00 % , 6.50 % κ.β

9.2.1. Προετοιμασία δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος

Προετοιμάζουμε πολφό μπεντονίτη 7,42 % αναμιγνύοντας 26 g μπεντονίτη και 350 g απιονισμένο νερό σύμφωνα με τις τυποποιημένες διαδικασίες API.

Με τη βοήθεια του αναμεικτηρίου αναδεύουμε το δείγμα στις 11000 rpm για 5 min.

Κατεβάζουμε το δοχείο με το μείγμα του μπεντονίτη, καθαρίζουμε τα τοιχώματα και αναδεύουμε για άλλα 15 min (συνολικός χρόνος ανάδευσης 20 min) και αφήνουμε τον πολφό 24 ώρες να ενυδατωθεί (Εικόνα 26.).

Στη συνέχεια αναμιγνύουμε 150 g από τον προενυδατωμένο μπεντονίτη με 193 cm³ θαλασσινού νερού για συγκέντρωση 3.35 % κ.β , 128.25 cm³ θαλασσινού νερού για συγκέντρωση 4,00 % κ.β , 150 g από τον προενυδατωμένο μπεντονίτη με 97.33 cm³ θαλασσινού νερού για συγκέντρωση 4.50 % κ.β, 83.73 cm³ θαλασσινού νερού για συγκέντρωση 5,00 % κ.β, 63.50 cm³ θαλασσινού νερού για συγκέντρωση 5.50 % κ.β , 46.63 cm³ θαλασσινού νερού για συγκέντρωση 6,00 % κ.β και 32.36 cm³ θαλασσινού νερού για συγκέντρωση 6.50 % κ.β αντίστοιχα. Έπειτα προσθέτουμε στον πολφό 2.5 cm³ NaOH . Αναδεύουμε το δείγμα στις 11000 rpm για 5 min, κατεβάζουμε το δοχείο, καθαρίζουμε τα τοιχώματα και αναδεύουμε για άλλα 15 min.

Στη συνέχεια μετρούνται οι ρεολογικές ιδιότητες του κάθε δείγματος με χρήση του περιστροφικού ιξωδομέτρου τύπου Couette σε θερμοκρασία δωματίου, στις ταχύτητες περιστροφής 600, 300, 200, 100, 60, 6 και 3 rpm.

Τα πλήρη πρωτογενή δεδομένα παραθέτονται στο παράρτημα.



Εικόνα 26. Πολφός με προενυδατωμένο μπεντονίτη που αφήνεται να ωριμάσει.

9.3. Πίνακες και διαγράμματα πολφών Wyoming με προενυδατωμένο πολφό

Συγκέντρωση μπεντονίτη % κ.β	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)	R ² (-)	SSE (Pa ²)
3.35%	3.1956	0.1192	0.57	0.98	0.4165
4.00%	4.6369	0.2816	0.47	0.99	0.1772
4.50%	6.0339	0.3433	0.46	0.99	0.0940

Πίνακας 15. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming (μοντέλο Herschel-Burkley)

Συγκέντρωση μπεντονίτη % κ.β	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)	R ² (-)	SSE (Pa ²)
5.00%	-0.01	14.81	0.23	1.00	2.5700
5.50%	-0.05	29.04	0.24	0.99	62.2800
6.00%	-0.11	31.83	0.31	0.99	119.3200
6.50%	-0.07	65.01	0.17	1.00	3.2500

Πίνακας 16. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming (μοντέλο Sisko)

Παρατηρήσεις: από την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων (διατμητικής τάσης και ρυθμού διάτμησης) που προέκυψαν από το ιξωδομέτρο, για τα δείγματα πολφού: Wyoming μπεντονίτης 5.00% κ.β, Wyoming μπεντονίτης 5.50% κ.β, Wyoming μπεντονίτης 6.00% κ.β και Wyoming μπεντονίτης 6.50% κ.β, φάνηκε να περιγράφεται η ρεολογία τους καλύτερα με το μοντέλο Sisko. Τα αποτελέσματα για τις ρεολογικές παραμέτρους φαίνονται στον Πίνακα 16.

Η εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο Sisko είναι η $(\tau = \mu\dot{\gamma} + K\dot{\gamma}^n)$, σε αντίθεση με τα δείγματα : Wyoming μπεντονίτης 3.35% κ.β , Wyoming μπεντονίτης 4.00% κ.β και Wyoming μπεντονίτης 4.50% κ.β που περιγράφονται καλύτερα με το μοντέλο Herschel-Burkley $(\tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n)$. (Πίνακας 15)

Το γεγονός του ότι τα δείγματα μας φαίνονται να περιγράφονται καλύτερα με το μοντέλο Sisko δεν είναι λογικό γιατί σημαίνει ότι το δείγμα κατά την ιξωδομέτρηση από κάποια στιγμή και μετά συμπεριφέρεται σαν στερεό. Αυτό δεν είναι δυνατό γιατί αν και ο πολφός σε αυτές τις περιπτώσεις ήταν ιδιαίτερα πηχτός, πριν την μέτρηση αναδεύτηκε στο μίξερ για να ομογενοποιηθεί κάτι που επιτεύχθηκε .

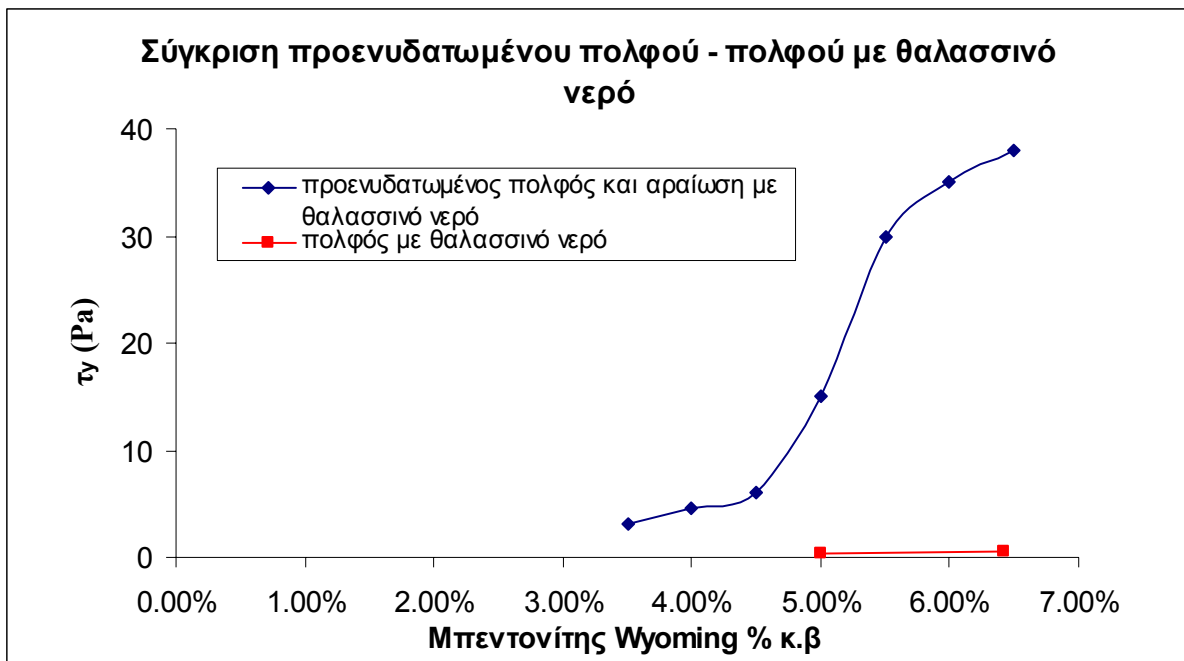
Για να αντιμετωπίσουμε λοιπόν αυτό το πρόβλημα καταφύγαμε στο να δώσουμε καλύτερες αρχικές τιμές στο λογισμικό με το οποίο επεξεργαζόμαστε τα δεδομένα του ιξωδομέτρου ώστε να μπορούμε να έχουμε ένα αποτέλεσμα που θα περιγράφει καλύτερα τους συγκεκριμένους πολφούς με το μοντέλο Herschel-Burkley. Από την αλλαγή αυτή προέκυψαν οι παρακάτω τιμές που φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Συγκέντρωση					
μπεντονίτη % κ.β	τ_y (Pa)	K (Pa*s ⁿ)	(n) (-)	R ² (-)	SSE (Pa ²)
5.00%	15,00	6,11	0,29	0,95	52,9700
5.50%	30,00	14,30	0,26	0,88	492,8800
6.00%	35,00	19,02	0,29	0,92	1036,8300
6.50%	38,00	41,31	0,17	0,94	296,9700

Πίνακας 17. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming (μοντέλο Herschel-Burkley) μετά από διόρθωση αρχικών τιμών

Συμπεράσματα

Από το συγκεκριμένο πείραμα το συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε είναι ότι η κατασκευή πολφού με χρήση προενυδατωμένου πολφού μπεντονίτη δίνει υψηλές τιμές διατμητικής τάσης που κυμαίνονται στα επίπεδα των περιπτώσεων όπου έχουμε κατασκευή πολφού με συμβατική μέθοδο. Όπως στην περίπτωση λοιπόν που κατασκευάζαμε πολφούς μπεντονίτη κατά το πρώτο πείραμα που περιγράψαμε, έτσι και εδώ οι τιμές της τάσης διολίσθησης τ_y αν και είναι ελαφρώς υψηλότερες κατά τα άλλα είναι παρόμοιες με αυτές των πολφών που κατασκευάστηκαν με την συμβατική μέθοδο.



Διάγραμμα 61. Διάγραμμα σύγκρισης πολφού με προενυδατωμένο μπεντονίτη Wyoming και προενυδατωμένου πολφού Wyoming με θαλασσινό νερό.

Από ότι βλέπουμε λοιπόν από το παραπάνω διάγραμμα, οι τιμές της τάσης διολίσθησης είναι πολύ μεγαλύτερες όταν, για ίδιες συγκεντρώσεις κ.β μπεντονίτη Wyoming, έχουμε πολφό φτιαγμένο με προενυδατωμένο πολφό απο όταν έχουμε κατασκευάσει τον πολφό μας χρησιμοποιώντας από την αρχή θαλασσινό νερό.

9.4. Μελέτη διηθητικών παραμέτρων πολφών με προενυδατωμένο μπεντονίτη (μέτρηση με πρέσα χαμηλής πίεσης)

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος είναι να προσδιοριστεί στον πολφό:

- Ο ρυθμός διήθησης δια μέσου κανονικού χαρτιού διήθησης
- Ο ρυθμός αύξησης του πάχους του υμενίου λάσπης στο χαρτί διήθησης κάτω από κανονικές συνθήκες.

Η δοκιμή αυτή είναι ενδεικτική του τρόπου που απομονώνονται τα διαπερατά πετρώματα από το υμένιο λάσπης.

Αναδεύουμε το δείγμα λάσπης για 5 - 10 λεπτά σε αναμεικτήριο 11.000 – 17.000 rpm.

Περιγραφή διεξαγωγή πειράματος (Iplt)

Τοποθετούμε το δείγμα του πολφού στο κελί διήθησης και ολοκληρώνουμε τη συναρμολόγηση. Σημειώνουμε στην έναρξη της δοκιμής, τη θερμοκρασία του πολφού .

Τοποθετούμε έναν στεγνό βαθμονομημένο κύλινδρο κάτω από το στόμιο απορροής για να λάβουμε το διήθημα.

Τοποθετούμε το καπάκι με τον ρυθμιστή πίεσης στο κελί διήθησης και σφίγγουμε με το κεντρικό κλειδί «Τ». Προσέχουμε ώστε η βαλβίδα εκτόνωσης του ρυθμιστή να είναι κλειστή.

Με τη βάνα του ρυθμιστή πίεσης τελείως ξεβιδωμένη ανοίγουμε σταδιακά την μποτίλια CO₂ (πολύ μικρή στροφή).

Αρχίζουμε σιγά – σιγά να βιδώνουμε την βάνα του ρυθμιστή πίεσης έτσι ώστε να εφαρμοστεί πίεση 100 ± 5 psig ($7,03 \pm 0,35$ atm) σε λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα. Η δοκιμαστική περίοδος αρχίζει κατά την διάρκεια της εφαρμογής πίεσης. Καταγράφουμε τον όγκο του διηθήματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα: 1^ο min, 2^ο , 3^ο min, 4^ο min, 5^ο min, 10^ο min, 15^ο min, 20^ο min, 25^ο min, 30^ο min.

Μετά από διάστημα 30 λεπτών, σταματούμε το πείραμα

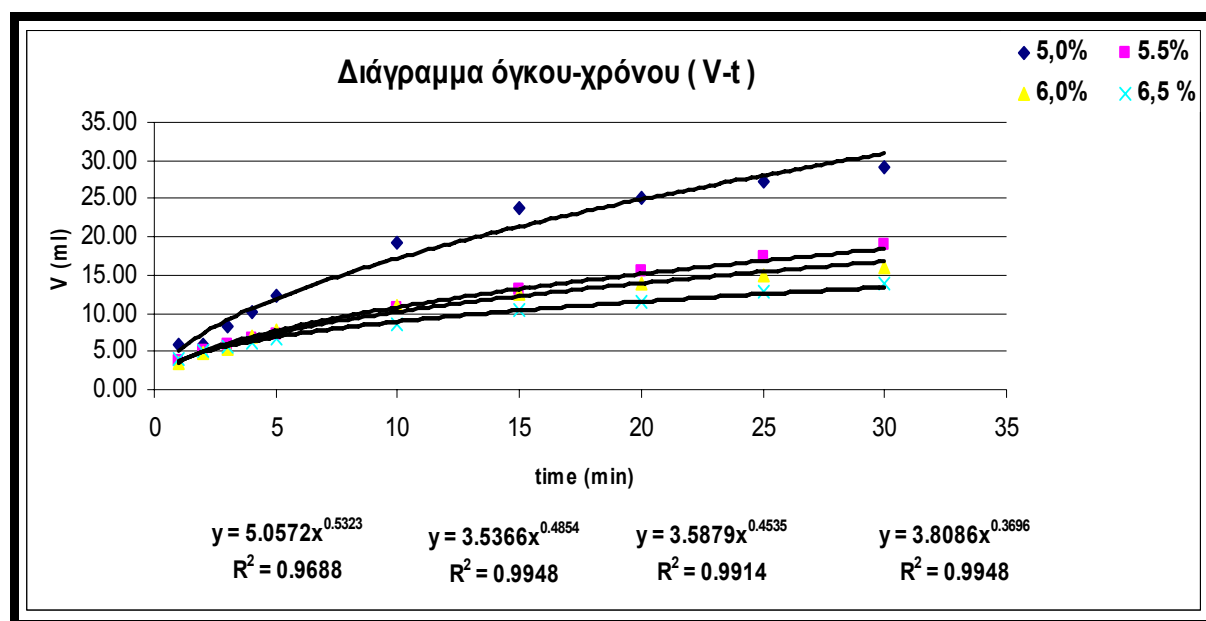
Πειραματικά δεδομένα :

χρόνος	Όγκος (συγκέντρωση 5% κ.β)	Όγκος (συγκέντρωση 5.5 % κ.β)	Όγκος (συγκέντρωση 6 % κ.β)	Όγκος (συγκέντρωση 6.5% κ.β)
time (min)	V (ml)	V (ml)	V (ml)	V (ml)
1	6.00	3.80	3.60	4.00
2	6.00	5.00	4.80	5.00
3	8.20	5.80	5.40	5.60
4	10.20	6.80	7.00	6.20
5	12.40	7.20	7.80	6.60
10	19.20	10.60	11.00	8.60
15	23.80	13.00	12.50	10.40
20	25.00	15.40	14.00	11.60
25	27.20	17.40	15.00	12.80
30	29.00	19.00	16.00	13.80

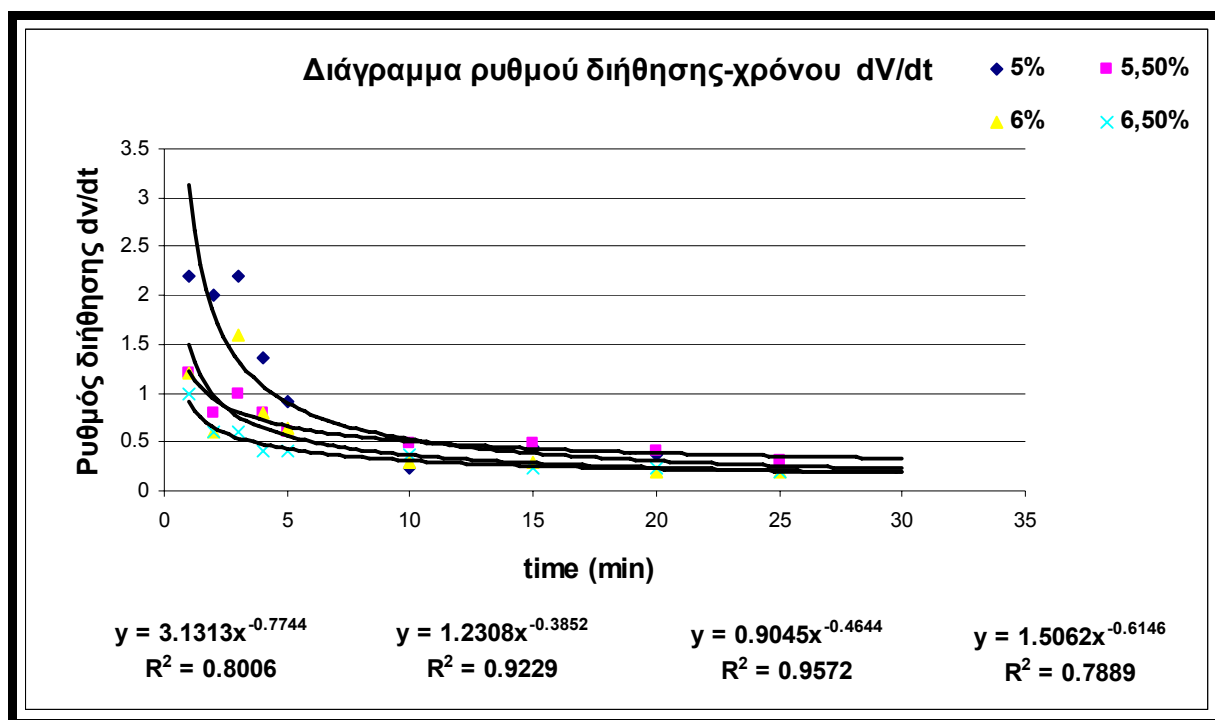
Πίνακας 18. Πίνακας όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (απιονισμένο νερό).

Είδος πολφού	Χαρακτηρισμός υμενίου
5 % κ.β	σκληρό-σφιχτό και συμπαγές
5,5 % κ.β	σκληρό-σφιχτό και συμπαγές
6 % κ.β	σκληρό-σφιχτό και συμπαγές
6,5 % κ.β	σκληρό-σφιχτό και συμπαγές

Πίνακας 19. Πίνακας χαρακτηρισμού υμενίων



Διάγραμμα 62. Διάγραμμα όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (απιονισμένο νερό).



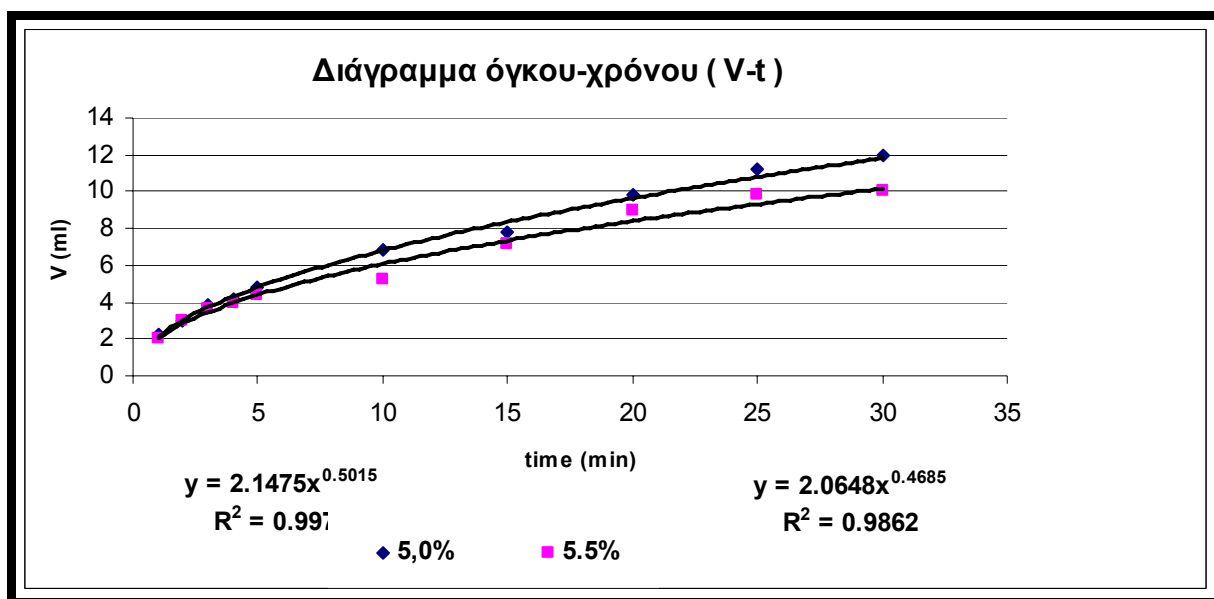
Διάγραμμα 63. Διάγραμμα ρυθμού διήθησης dV / dt – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (απιονισμένο νερό).

Παρατηρήσεις:

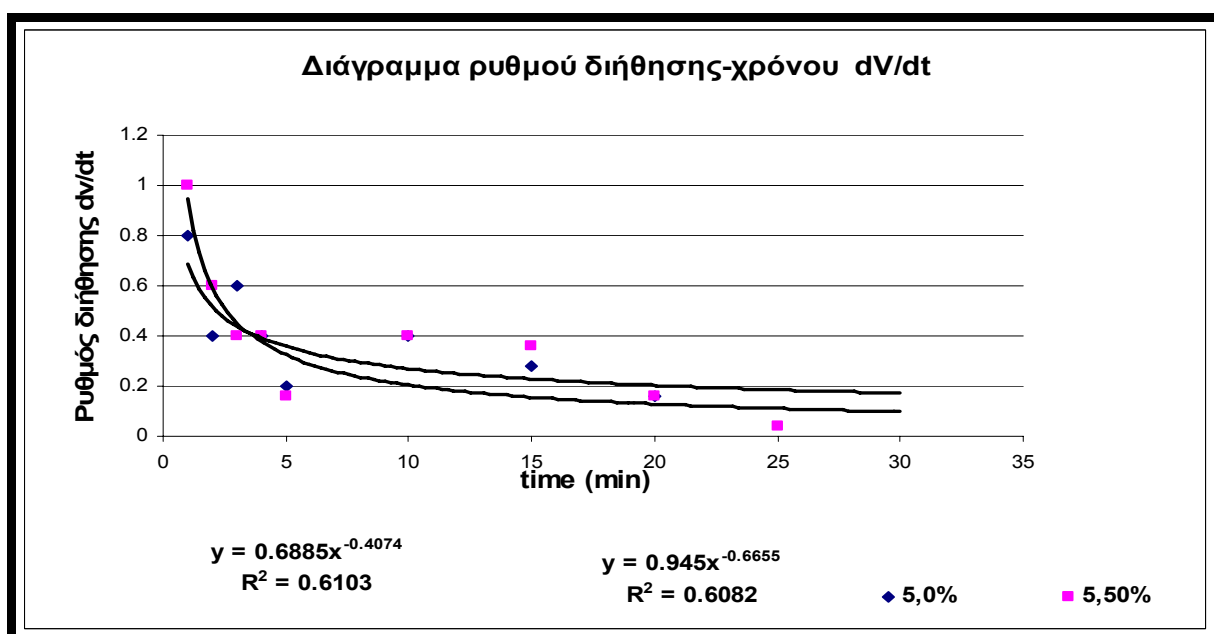
Η αποδεκτή τιμή απώλειας ml είναι, σύμφωνα με το API, μικρότερη των 15 ml για 6,42 % και ο συγκεκριμένος μπεντονίτης πληρεί τις προϋποθέσεις. Ακόμη παρατηρούμε δραστική μείωση των ml με τη συγκέντρωση που φαίνεται στο διάγραμμα. Επίσης από το διάγραμμα 60 βλέπουμε ότι για $V_{\infty}(t)^x$ με το x που έχει θεωρητική τιμή 0.5 εμείς έχουμε $x=0.53$ για 5,0% και $x=0.36$ για 6,5 %, τιμές κοντά στην θεωρητική.

	Όγκος	Όγκος
χρόνος	(συγκέντρωση	(συγκέντρωση
	5% κ.β)	5.5 % κ.β)
time (min)	V (ml)	V (ml)
1	2.20	2.00
2	3.00	3.00
3	3.80	3.60
4	4.20	4.00
5	4.80	4.40
10	6.80	5.20
15	7.80	7.20
20	9.80	9.0
25	11.20	9.80
30	12.00	10.00

Πίνακας 20. Πίνακας όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (θαλασσινό νερό).



Διάγραμμα 64. Διάγραμμα όγκου (V) – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (θαλασσινό νερό).

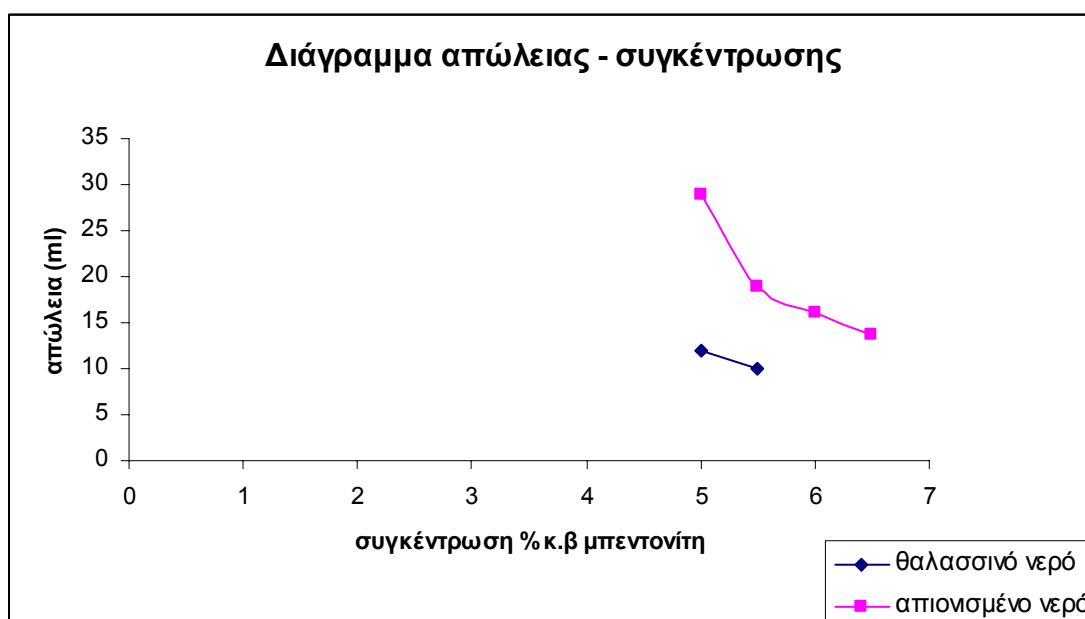


Διάγραμμα 65. Διάγραμμα ρυθμού διήθησης dV / dt – χρόνου (time) διήθησης πολφών μπεντονίτη Wyoming με προενυδατωμένο πολφό (θαλασσινό νερό).

Παρατηρήσεις: Τα υμένια των πολφών μπορούν να περιγραφούν ως σκληρά ,σφιχτά και συμπαγή

Συμπεράσματα

Από τα πειράματα με προενυδατωμένο πολφό και θαλασσινό νερό βλέπουμε ότι έχουμε πολύ σημαντική μείωση της απώλειας που δίνει 12 ml και 10 ml για 5,0 % και 5,5 % κ.β αντίστοιχα ενώ το $V_{\infty}(t)^x$ όπου x είναι κοντά στο 0,5 η οποία είναι η θεωρητική τιμή που θα έπρεπε να είχε σύμφωνα με το API.



Διάγραμμα 66. Διάγραμμα απώλειας ml – συγκέντρωσης κ.β μπεντονίτη για προενυδατωμένους πολφούς μπεντονίτη Wyoming μετά από αραίωση με θαλασσινό και απιονισμένο νερό.

10. Πειράματα επίδρασης ανάδευσης σε πολφούς μπεντονίτη

10.1. Εισαγωγή

Σε αυτό το πείραμα εξετάζουμε τον χρόνο ανάδευσης κατά την προετοιμασία του πολφού ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί στη γεώτρηση για να διαπιστώσουμε πόσο σημαντικός παράγοντας είναι καθώς και την πιθανότητα να επηρεάζει τις ρεολογικές του ιδιότητες. Σε αυτό το κεφάλαιο θα μελετήσουμε την επίδραση που μπορεί να έχει στον πολφό περαιτέρω ανάδευση μέσα σε ειδική συσκευή αφού το δείγμα του πολφού μας έχει κατασκευαστεί με τον συμβατικό τρόπο. Για το λόγο αυτό ο πολφός τοποθετήθηκε σε ειδικό κελί (Εικόνα 27).



Εικόνα 27. Κελί ανάδευσης

10.2. Μελέτη επίδρασης ανάδευσης (Rolling) πολφού Wyoming 6.42 % κ.β και Zenith 6.42 % κ.β

10.2.1. Περιγραφή προετοιμασίας δειγμάτων και διεξαγωγή πειράματος

Κατασκευάζουμε 3 δείγματα πολφού μπεντονίτη. Βάζουμε στο ειδικό δοχείο ανάμειξης 500 ml απιονισμένου νερού και 32.1 g μπεντονίτη Wyoming (συγκέντρωση 6.42 % κ.β) για το καθένα.

Με τη βοήθεια του αναμεικτηρίου αναδεύουμε τα δείγματα στις 11000 rpm για 5 min το καθένα.

Κατεβάζουμε το δοχείο με το μείγμα του μπεντονίτη, καθαρίζουμε τα τοιχώματα και αναδεύουμε για άλλα 15 min (συνολικός χρόνος ανάδευσης 20 min) το κάθε δείγμα. Έπειτα χωρίζουμε το κάθε δείγμα σε δύο μέρη.

Έπειτα αφήνουμε τα δείγματα σε διαδικασία ανάδευσης (Rolling) στον ειδικό φούρνο για 5, 10 και 16 ώρες αντίστοιχα για κάθε δείγμα ενώ φυλάσσουμε τα στατικά τους δείγματα (έχουμε χωρίσει το κάθε δείγμα σε δύο μέρη) για συμβατική ενυδάτωση. Αυτό το κάνουμε ώστε να μπορούμε στην συνέχεια να ελέγξουμε πόσο όμοια ήταν τα αρχικά μας δείγματα .

Στη συνέχεια μετρούνται οι ρεολογικές ιδιότητες του κάθε δείγματος με χρήση του περιστροφικού ιξωδομέτρου τύπου Couette σε θερμοκρασία δωματίου, στις ταχύτητες περιστροφής 600, 300, 200, 100, 60, 6 και 3 rpm.

Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και με μπεντονίτη Zenith φτιάχνοντας 4 δείγματα. Για τον μπεντονίτη Zenith έχουμε ένα επιπλέον δείγμα (χωρισμένο σε δύο μέρη) που θα το υποβάλλουμε σε ανάδευση 24 ωρών και συμβατική στατική ενυδάτωση 24 ωρών αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ιξωδομέτρου επεξεργάζονται με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και λογισμικού εργαστηρίου, από όπου προκύπτουν οι ρεολογικές παράμετροι τ_y , K και (n) .

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή τόσο ξεχωριστών όσο και συγκεντρωτικών διαγραμμάτων και πινάκων για την κάθε περίπτωση.

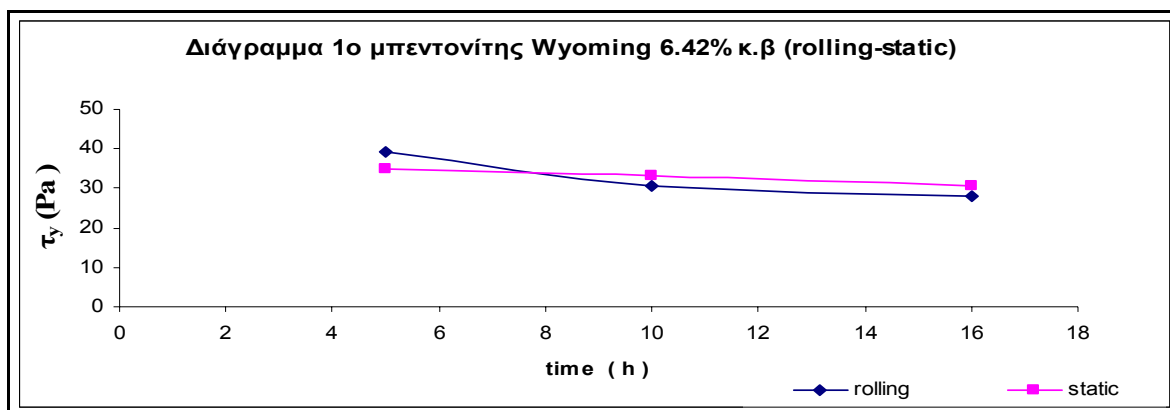
10.3. Συγκεντρωτικοί πίνακες και διαγράμματα πολφών μπεντονίτη Wyoming και Zenith συγκέντρωσης 6,42 % κ.β μετά από διαδικασία ανάδευσης (Rolling)

ΑΝΑΔΕΥΣΗ (ROLLING)					
Χρόνος	τ_y	K	(n)	R^2	SSE
time (h)	(Pa)	(Pa *sⁿ)	(-)	(-)	(Pa²)
5	11.8697	0.2607	0.5237	0.9682	2.0785
10	10.7365	0.2132	0.5305	0.9977	2.3894
16	13.3186	0.5274	0.4356	0.9730	1.9895
24	12.8440	0.2846	0.5069	0.9984	3.7149
ΣΤΑΤΙΚΟ (STATIC)					
Χρόνος	τ_y	K	(n)	R^2	SSE
time(h)	(Pa)	(Pa *sⁿ)	(-)	(-)	(Pa²)
5	12.3687	0.2842	0.4773	0.9972	3.2167
10	11.2840	0.2834	0.4767	0.9962	3.274
16	13.3677	0.5396	0.4217	0.9774	1.4153
24	13.8760	0.3214	0.4659	0.9948	4.0615

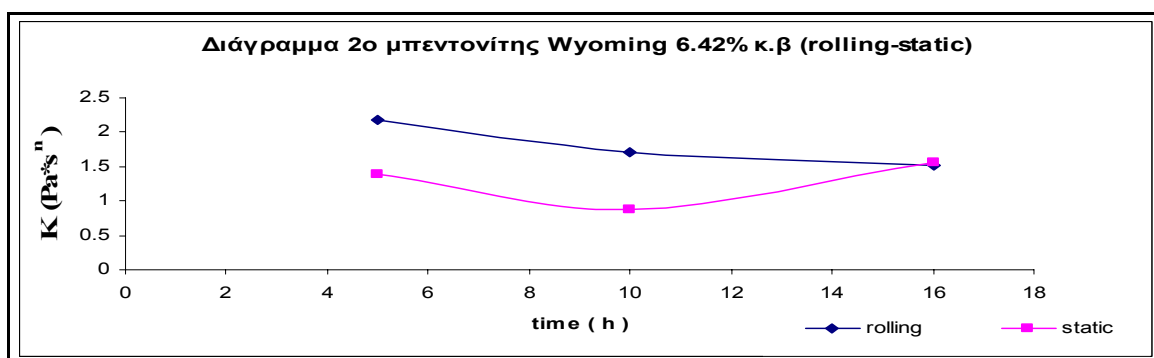
Πίνακας 21. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών μπεντονίτη Zenith μετά από ανάδευση

ΑΝΑΔΕΥΣΗ (ROLLING)					
Χρόνος	τ_y	K	(n)	R^2	SSE
time (h)	(Pa)	(Pa *s ⁿ)	(-)	(-)	(Pa ²)
5	39.0642	2.1748	0.4986	0.9923	6.3044
10	30.4653	1.7188	0.4386	0.9857	11.5962
16	33.7108	0.5479	0.5986	0.9982	30.6547
ΣΤΑΤΙΚΟ (STATIC)					
Χρόνος	τ_y	K	(n)	R^2	SSE
time(h)	(Pa)	(Pa *s ⁿ)	(-)	(-)	(Pa ²)
5	34.808	1.394	0.4823	0.9946	5.3927
10	33.0807	0.8763	0.5293	0.9916	6.5837
16	30.5939	1.5616	0.4535	0.9953	3.8691

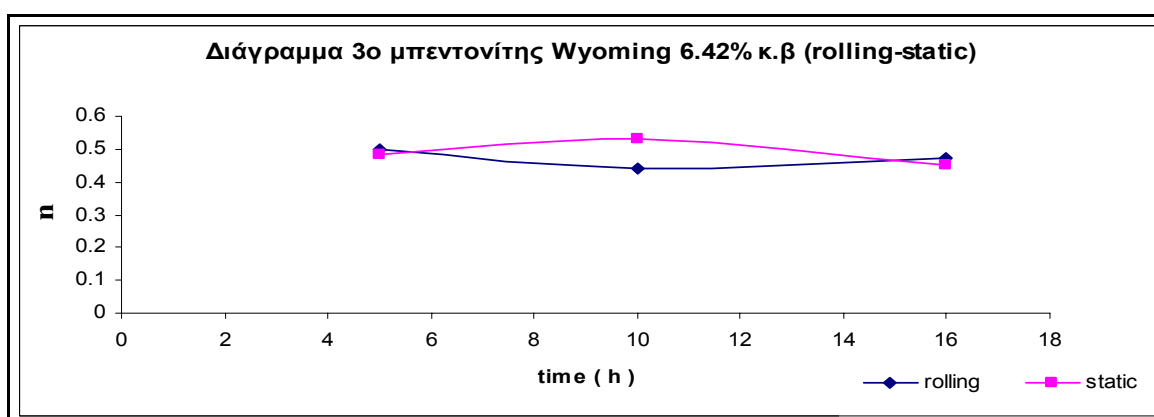
Πίνακας 22. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφών μπεντονίτη Wyoming μετά από ανάδευση



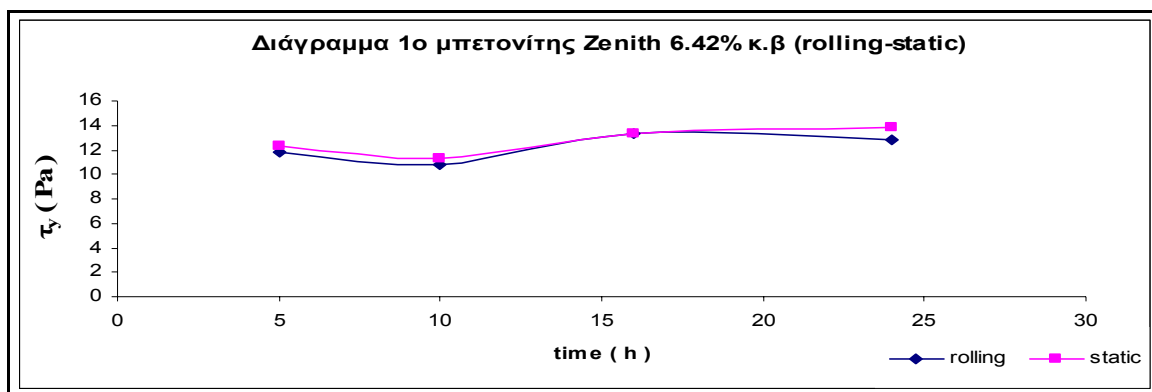
Διάγραμμα 67. Διάγραμμα τάσης διολίσθησης τ_y - χρόνου, μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.



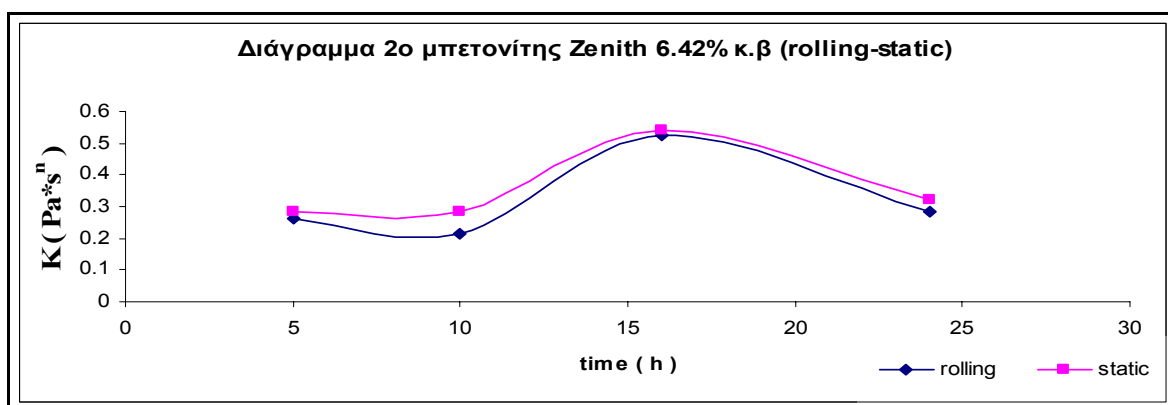
Διάγραμμα 68. Διάγραμμα οδηγού συνάφειας K - χρόνου, μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.



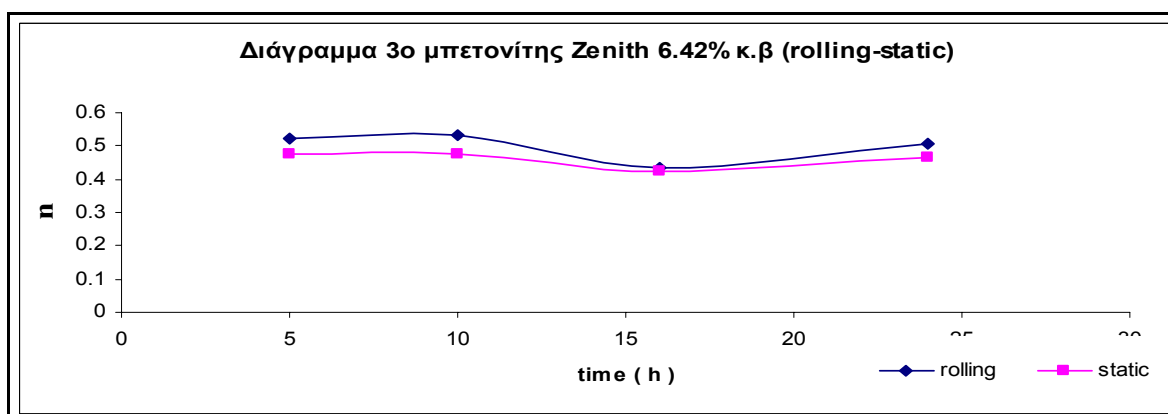
Διάγραμμα 69. Διάγραμμα οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) - χρόνου, μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.



Διάγραμμα 70. Διάγραμμα τάσης διολισθήσης τ_y -χρόνου, μπετονίτη Zenith 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.



Διάγραμμα 71. Διάγραμμα οδηγού συνάφειας K - χρόνου, μπετονίτη Zenith 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.



Διάγραμμα 72. Διάγραμμα στον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n) - χρόνου, μπετονίτη Zenith 6,42 % κ.β μετά από ανάδευση ή στατική ενυδάτωση.

Παρατηρήσεις

Κατά την πειραματική αυτή διαδικασία μετρήσαμε τις ρεολογικές ιδιότητες των δειγμάτων με την βοήθεια του ιξωδομέτρου σε διάφορους χρόνους ανάδευσης έχοντας όμως μοιράσει το δείγμα που κατασκευάζαμε κάθε φορά στα δύο έτσι ώστε να έχουμε κάθε φορά και ένα μέρος του πολφού που θα έμενε στατικό.

Με αυτό τον τρόπο είχαμε ένα σημείο αναφοράς για το κάθε δείγμα αφού όλα τα στατικά μας δείγματα έμεναν για την καθιερωμένη ενυδάτωση και έπειτα μετρούνταν και αυτά στο ιξωδόμετρο. Έτσι αν οι τιμές των ρεολογικών παραμέτρων των στατικών πολφών που θα προέκυπταν ήταν παραπλησίες, αυτό διασφάλιζε οι αρχικοί πολφοί μας είχαν κατασκευαστεί με πανομοιότυπο τρόπο κάτι που τελικά και αποδείχτηκε. Υπάρχει όμως πρόβλημα διότι δεν υπάρχει σταθερό σημείο αναφοράς και μικρές αλλαγές στην προετοιμασία των δειγμάτων μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα.

Συμπεράσματα

Από τα διαγράμματα και τους πίνακες προκύπτει ότι για τους πολφούς με Zenith 6,42 % κ.β μπεντονίτη που εξετάστηκαν τα στατικά δείγματα δίνουν τιμές τάσης διολίσθησης τ_y 12 με 15 (Pa) άρα έχουμε μικρή διακύμανση με τον χρόνο. Το ίδιο ισχύει και για τις τιμές των K και (n) .

Για τον μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β, τα στατικά δείγματα παρουσιάζουν μια τάση μείωσης της τ_y με την πάροδο του χρόνου ενώ υπάρχει διακύμανση των K και (n) , γύρω από μια μέση τιμή.

Η πειραματική λοιπόν διαδικασία έδειξε ότι η ανάδευση στην οποία υποβλήθηκαν οι εξεταζόμενοι πολφοί δεν είχαν κάποια ιδιαίτερη επίδραση στις ρεολογικές ιδιότητες τους.

Οι τιμές που προέκυψαν μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων για τις ρεολογικές τιμές των δειγμάτων είναι πολύ κοντινές ανεξάρτητα από τον χρόνο ανάδευσης.

Αυτό δείχνει ότι τελικά δεν μπορούμε να πετύχουμε κάποια ευεργετική αλλαγή στον πολφό μας μέσω της διαδικασίας της απλής ανάδευσης ενώ ένα άλλο συμπέρασμα είναι ότι ίσως ο χρόνος ενυδάτωσης είναι πολύ μεγάλος και ότι θα μπορούσαν να επιτύχουμε τα ίδια αποτελέσματα σε λιγότερο χρόνο.

11. Πειράματα ιξωδομέτρησης με χρήση διαφορετικών στατόρων (bobs) στο ιξωδόμετρο

11.1. Εισαγωγή

Όλες μας οι μετρήσεις στο εργαστήριο για τα παραπάνω πειράματα έγιναν με χρήση του ιξωδομέτρου Couette και με χρήση αντίστοιχα συγκεκριμένου στάτορα (bob) (Εικόνα 28).

Εδώ θα εξετάσουμε αν η χρήση διαφορετικών bobs θα μας δώσει διαφορετικά αποτελέσματα κατά την ιξωδομέτρηση λόγω αναφορών που υπάρχουν για ολίσθηση του ρευστού στον στάτορα (wall slip) (Wein – Tonchigrechko, 1992).

Για την παρασκευή των δειγμάτων, χρησιμοποιήσαμε μπεντονίτη Wyoming 6,42 % κ.β

Θα εξετάσουμε λοιπόν τα αποτελέσματα τόσο στο ίδιο δείγμα μπεντονίτη όσο και σε τρία διαφορετικά δείγματα, φτιαγμένα πάντα με τον ίδιο τρόπο. Η σειρά που μετρήθηκαν τα δείγματα ήταν με τον στάτορα 1, με τον στάτορα 5 και τέλος με τον στάτορα 2. Οι στάτορες που χρησιμοποιήσαμε έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

BOB1, R1:διάμετρος 34,5mm → συμβατικός

BOB2, R5:διάμετρος 32mm

BOB5, R2:διάμετρος 24,5mm



Εικόνα 28. Στάτορες (bobs) ιξωδομέτρου

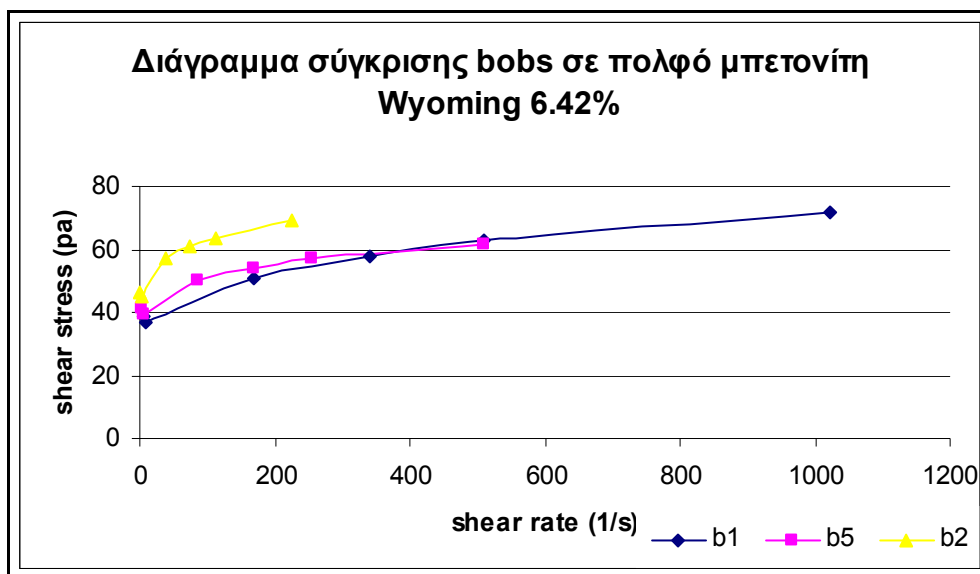
	στάτορας bob1		στάτορας bob2		στάτορας bob5	
Ταχύτητα περιστροφής rpm	Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)
600	1021.38	71.75	510.17	61.86	226.23	69.33
300	510.69	62.75	255.08	57.00	113.11	63.50
200	340.46	57.58	170.05	54.20	75.41	61.16
100	170.23	50.66	85.02	50.00	37.70	57.16
6	10.21	37.00	5.10	39.20	2.26	44.83
3	5.10	38.58	2.55	41.11	1.13	46.66

Πίνακας 23. Πίνακας διατμητικής τάσης και διατμητικού ρυθμού για 3 διαφορετικά δείγματα μπεντονίτη Wyoming 6.42 % με χρήση διαφορετικών στατότορων

Ο ρυθμός διάτμησης (shear rate) υπολογίζεται από την σχέση:

$$\dot{\gamma} = \frac{2S^2}{S^2 - 1} \frac{2\pi(rpm)}{60} \text{ όπου } S = \frac{R_2}{R_1} \text{ , } R_2 = 36.83 \text{ mm η διάμετρος του ρότορα και } R_1 = \eta$$

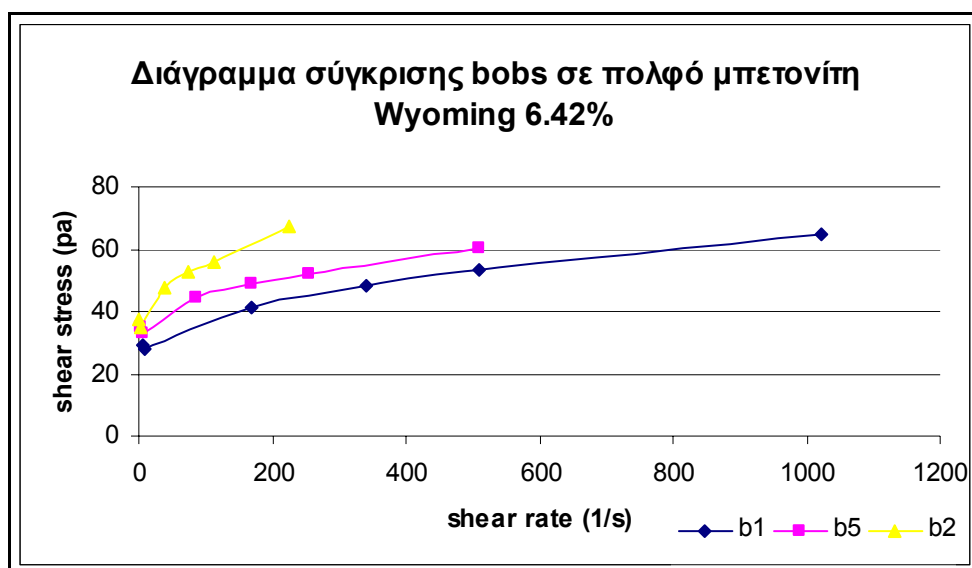
η διάμετρος του στάτορα. Συνεπώς για την ίδια περιστροφική ταχύτητα ανάλογα με την διάμετρο του στάτορα υπάρχει διαφορετικός ρυθμός διάτμησης που φαίνονται στους πίνακες 23 και 24.



Διάγραμμα 73. Διάγραμμα διατμητικής τάσης διατμητικού ρυθμού με χρήση διαφορετικών στατόρων σε τρία διαφορετικά δείγματα όμοια φτιαγμένα

	στάτορας bob1		στάτορας bob2		στάτορας bob5	
Ταχύτητα περιστροφής	Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress
rpm	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
600	1021.38	64.91	226.23	67.00	510.17	60.58
300	510.69	53.58	113.11	55.66	255.08	52.36
200	340.46	48.50	75.41	52.83	170.05	49.00
100	170.23	41.16	37.70	47.33	85.02	44.30
6	10.21	27.83	2.26	35.00	5.10	32.73
3	5.10	29.08	1.13	37.16	2.55	34.70

Πίνακας 24. Πίνακας διατμητικής τάσης και διατμητικού ρυθμού για το ίδιο δείγμα μπεντονίτη Wyoming 6.42 % με χρήση διαφορετικών στατόρων



Διάγραμμα 74. Διάγραμμα διατμητικής τάσης διατμητικού ρυθμού με χρήση διαφορετικών στατόρων στο ίδιο δείγμα

Τιμές ρεολογικών παραμέτρων 3 δειγμάτων μπεντονίτη Wyoming 6.42 % κατασκευασμένα με ίδιο τρόπο

	τ_y	K	(n)	R^2	SSE
στάτορας	(Pa)	(Pa*s ⁿ)	(-)	(-)	(Pa ²)
BOB 1	33.3877	1.8558	0.4388	0.9944	5.2561
BOB 5	34.9842	3.4494	0.3314	0.9868	5.2894
BOB 2	39.1243	5.8781	39.1243	0.9878	5.6892

Πίνακας 25. Πίνακας ρεομετρικών παραμέτρων

Τιμές ρεολογικών παραμέτρων του ίδιου δείγματος μπεντονίτη Wyoming 6.42 %

	τ_y	K	(n)	R^2	SSE
στάτορας	(Pa)	(Pa*s ⁿ)	(-)	(-)	(Pa ²)
BOB 1	25.1417	1.2308	0.5024	0.9970	3.1714
BOB 5	30.6391	1.7778	0.4531	0.9918	4.6204
BOB 2	33.7456	1.9410	0.5226	0.9908	6.6254

Πίνακας 26. Πίνακας ρεομετρικών παραμέτρων

Μετρήθηκαν επίσης οι τιμές της διατμητικής τάσης με το ρεόμετρο για τα δείγματα που πριν είχαν μετρηθεί στο ιξωδόμετρο με τους στάτορες 1 και 5 και έδωσαν τα εξής αποτελέσματα:

Bob1: $\tau_y = 30$ (Pa)

Bob5: $\tau_y = 25$ (Pa)

Η μέτρηση στο ροόμετρο έγινε αμέσως μετά την μέτρηση στο ιξωδόμετρο χωρίς να έχει προηγηθεί ανάδευση.

Σχόλια – Ανάλυση αποτελεσμάτων

Βλέπουμε ότι για 3 όμοια δείγματα οι bob1 και bob 5 έχουν μικρές διαφορές στις ρεομετρικές παραμέτρους της τάσης διολίσθησης τ_y του οδηγού συνάφειας K και του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) ενώ με το bob 2 πολύ μεγάλη διαφορά στις τιμές. Άρα το πλέον πιθανόν είναι πως με τον συγκεκριμένο τρόπο παρασκευής και μέτρησης δεν έχουμε wall slip για τους BOB 1 και BOB 5.

Ακόμη παρατηρούμε ότι όταν έχουμε μετρήσεις των τριών δειγμάτων φτιαγμένα με τον ίδιο τρόπο έχουμε μια πιο συνεπή συμπεριφορά από όταν μετράται το ίδιο δείγμα σε διαφορετικές συνθήκες και αυτό προκύπτει λόγω της θιξοτροπίας των αιωρημάτων, οπότε και προτείνεται σαν μέθοδος παρασκευής.

Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κατά την διαδικασία της ιξωδομέτρησης συμβαίνουν διάφορα φαινόμενα μέσα στο δοχείο που έχουν σχέση με τη διάμετρο του κάθε στάτορα και ιδιαίτερα με τον μικρότερης διαμέτρου ρότορα όπου φαίνεται ότι κατά την ιξωδομέτρηση έχουμε φαινόμενο απώλειας πρόσφυσης (wall slip).

Πρόταση μετά από το συγκεκριμένο πείραμα είναι η απόκτηση ενός μεγαλύτερου αναμεικτηρίου με το οποίο θα μπορούμε να φτιάχνουμε ένα ομογενές αρχικό δείγμα ώστε να έχουμε σταθερό σημείο αναφοράς.

12. Μετρήσεις Πεδίου

12.1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε η προσπάθεια να γίνει αντιληπτό πόσο τελικά απέχει η θεωρητική προσέγγιση που μπορεί να έχουμε όσον αφορά τις υδρογεωτρήσεις και τις τεχνικές που ακολουθούνται από το τι πραγματικά εφαρμόζεται στην πράξη κι συγκεκριμένα τι συνήθως ισχύει για τα Ελληνικά δεδομένα.

Έτσι πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις σε δύο υδρογεωτρήσεις στο Ντερέ Χανίων και τις Δάφνες Ηρακλείου τις οποίες παρακολουθήσαμε ώστε να έχουμε μια πιο σαφή εικόνα

12.2. Πρώτη επίσκεψη σε υδρογεώτρηση

12.2.1. Περίληψη

Στις 30 Μαρτίου 2007 πραγματοποιήθηκε ύστερα από συνεννόηση, επίσκεψη από ομάδα του εργαστηρίου σε χώρο που πραγματοποιούνταν υδρογεώτρηση στην περιοχή του Ντερέ (Χανιά) από την εταιρεία του κ. Δ. Διαμαντάκη, «Εδαφομηχανική Κρήτης», στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας.

Μελετήθηκε επιτόπου η γεωλογία του περιβάλλοντος χώρου της υδρογεώτρησης καθώς και οι εργασίες οι οποίες βρίσκονταν στο στάδιο της διάνοιξης της γεώτρησης. Φορέας του έργου ήταν η ΔΕΥΑΧ.

12.2.2. Περιγραφή εταιρείας

Εταιρεία υδρογεώτρησης «Εδαφομηχανική Κρήτης»

Όνομα εταιρείας: «Εδαφομηχανική Κρήτης»

Υπεύθυνος : ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΗΣ Π. ΔΗΜΗΤΡ.

Νομός : ΧΑΝΙΩΝ

Πόλη : ΧΑΝΙΑ

Διεύθυνση : Καραϊσκάκη 49

Τηλέφωνο : 2821070579

Κατηγορία : ΕΡΓΟΛΗΠΤΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ-ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ

Η εταιρία «Εδαφομηχανική Κρήτης» έχει έδρα τα Χανιά και δραστηριοποιείται σε διάφορους τομείς της μελέτης και εκμετάλλευσης του υπεδάφους και σε τομείς που σχετίζονται με αυτά κυρίως στη δυτική Κρήτη. Οι τομείς αυτοί επιγραμματικά είναι οι εξής :

- Υδρογεωτρήσεις βάθους έως 500m
- Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις
- Δοκιμαστικές αντλήσεις
- Μελέτες για χορήγηση αδειών σε λατομεία
- Γεωτρήσεις γεωθερμίας
- Γεωτρήσεις διάθεσης αποβλήτων
- Γεωτρήσεις γεωτεχνικών έργων

12.2.3. Υδρογεώτρηση και γεωλογικό περιβάλλον

12.2.3.1. Γεωλογικό περιβάλλον

Από την επί τόπου έρευνα της περιοχής και από το είδος των τριμμάτων της ερευνητικής γεώτρησης διαπιστώθηκε ότι το γεωλογικό περιβάλλον αποτελούνταν από ασβεστόλιθους ενώ συναντήθηκαν φυλλίτες και χαλαζίτες.

12.2.3.2. Εργασίες υδρογεώτρησης

Η γεώτρηση είχε φτάσει στο βάθος των 150m και διαμέτρου 17 ίντσες όπου συναντήθηκε συμπαγής σχηματισμός ασβεστόλιθου (Εικόνα 29). Ο στόχος της γεώτρησης είναι στα 200m.

Ήταν η δεύτερη γεώτρηση που πραγματοποιούνταν στην περιοχή αφού η πρώτη παρουσίασε προβλήματα ως προς την κλίση ενώ συναντήθηκε εξαλλοιωμένο υλικό οπότε έγινε αντιληπτή και η πιθανή παρουσία ρήγματος, γεγονός που αναφέρεται και στο γεωλογικό χάρτη που προμηθευτήκαμε στη συνέχεια (μέρος του χάρτη παρατίθεται στο παράρτημα). Είχε προηγηθεί διερευνητική γεώτρηση και δοκιμαστικές αντλήσεις.



Εικόνα 29.Υδρογεώτρηση σε εξέλιξη (προσωπικό αρχείο Δ. Διαμαντάκη)



Εικόνα 30.Υδρογεώτρηση με αφρό (προσωπικό αρχείο Δ. Διαμαντάκη)

12.2.4. Εξοπλισμός υδρογεωτρήσεων – Μέθοδος διάνοιξης

Οι υδρογεωτρήσεις είναι ένα από τα κύρια αντικείμενα με τα οποία ασχολείται η εταιρία «Εδαφομηχανική Κρήτης». Ο υπάρχων εξοπλισμός που διαθέτει είναι από τους καλύτερους στην Κρήτη, γεγονός το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη της εταιρίας και την ανάληψη έργων σε όλους τους νομούς της Κρήτης. Ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα γεωτρύπανο Drillteck D40K TAMROC και μια αντλία μπετονίτη για την κυκλοφορία του ρευστού της γεώτρησης Carden Denver 5x6, 7x10. Το γεωτρύπανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν με αεροσυμπιεστή υψηλής πίεσης Sullair 1050cfm /350psi, έχει ανυψωτική ικανότητα 35 TN, ικανότητα διάτρησης 500m/17.5'' και συνοδεύεται με αερόσφουρα Mission SD12 μέγιστης δυνατότητας διάτρησης 560χλς.

Για τον χειρισμό του γεωτρύπανου αυτού, είναι απαραίτητη η ύπαρξη μέσα στο εργατικό δυναμικό του συνεργείου ενός έμπειρου χειριστή ο οποίος και είναι υπεύθυνος για όλες της λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα κατά την διάτρηση. Ταυτόχρονα είναι απαραίτητη και η ύπαρξη ενός τουλάχιστον και κατά περίπτωση δύο βοηθών χειριστού οι οποίοι και εκτελούν τις βοηθητικές εργασίες. Το βάθος μέχρι το οποίο μπορεί το συγκεκριμένο συνεργείο με τον συγκεκριμένο εξοπλισμό να φτάσει είναι τα 500 μέτρα περίπου.

Ταυτόχρονα με τις εργασίες διάνοιξης, λαμβάνουν χώρα και εργασίες που αφορούν την συντήρηση ή την επιδιόρθωση κάποιων γεωτρήσεων. Για παράδειγμα γίνονται καθαρισμοί γεωτρήσεων οι οποίες λόγω του γεγονότος ότι δεν χρησιμοποιούνταν για πολλά χρόνια έχουν μολυνθεί από κυρίως θειικές προσμίξεις.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε κατά την υδρογεώτρηση ήταν με αφρό (Εικόνα 30) ενώ στη συνέχεια πληροφορηθήκαμε ότι χρησιμοποιήθηκε και πολφός μπετονίτη για να καθαριστεί η γεώτρηση αφού παρουσιάστηκαν προβλήματα ως προς την ευστάθεια της υδρογεώτρησης πιθανόν λόγω ρήγματος.

12.3. Δεύτερη επίσκεψη σε υδρογεώτρηση

12.3.1. Περίληψη

Στις 8 Νοεμβρίου 2007 πραγματοποιήθηκε επίσκεψη σε υδρογεώτρηση στην περιοχή Δαφνές (νομός Ηρακλείου) από την εταιρεία του κ. Δ. Διαμαντάκη, «Εδαφομηχανική Κρήτης» σε συνεργασία με την «Γεωέρευνα Ο.Ε.» Οι εργασίες σε αυτήν την περίπτωση έλαβαν χώρα σε δύο σημεία και φορέας ήταν η Δ.Ε.Υ.Α.Η.

Μελετήθηκε και πάλι επιτόπου η γεωλογία του περιβάλλοντος χώρου της υδρογεώτρησης καθώς και οι εργασίες οι οποίες βρίσκονταν στο στάδιο της διάνοιξης της γεώτρησης.

Ακολουθεί αρχικά περιγραφή των εταιριών και πληροφορίες σχετικά με την υδρογεώτρηση και το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής στις δύο περιπτώσεις.

12.3.2.Περιγραφή εταιρείας

Εταιρεία υδρογεώτρησης «Γεωέρευνα Ο.Ε.» Η εταιρεία «Γεωέρευνα Ο.Ε.» έχει έδρα τη Θεσσαλονίκη και δραστηριοποιείται σε όλη την Ελλάδα ενώ εξειδικεύεται σε γεωτρήσεις μεγάλου βάθους (έως 800 m)και μεγάλης διαμέτρου (έως 34").Οι τομείς με τους οποίους ασχολείται επιγραμματικά η εταιρεία είναι οι εξής:

- Επεξεργασία γεωλογικών και υδρογεωλογικών δεδομένων περιοχής
- Επιλογή θέσης της γεώτρησης
- Κατασκευή γεώτρησης τόσο σε σκληρά όσο και σε μαλακά πετρώματα με ιδιόκτητα μηχανήματα
- Ανάλυση χημικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών νερού
- Τοποθέτηση αντλητικών συγκροτημάτων

12.3.3. Υδρογεώτρηση και γεωλογικό περιβάλλον

12.3.3.1. Γεωλογικό περιβάλλον

Από την επί τόπου έρευνα της περιοχής και από το είδος των τριμμάτων της ερευνητικής γεώτρησης διαπιστώθηκε ότι το γεωλογικό περιβάλλον αποτελούνταν από πλαστικές μάργες(0-290 m) ενώ συναντήθηκαν στρώσεις μη συνεκτικού ηφαιστειακού πετρώματος με χαλαζίτες.

12.3.3.2. Εργασίες υδρογεώτρησης

Η γεώτρηση είχε φτάσει στο βάθος των 335m όπου παρουσιάστηκε μηχανικό πρόβλημα στον εξοπλισμό και συγκεκριμένα στη κεφαλή. Ο στόχος της γεώτρησης είναι στα 420m ενώ είχε προηγηθεί διερεύνηση μέχρι τα 200 m .

Ήταν η δεύτερη γεώτρηση που πραγματοποιούνταν στην περιοχή αφού η πρώτη παρουσίασε προβλήματα ως προς την κλίση.

12.3.4. Εξοπλισμός υδρογεωτρήσεων – Μέθοδος διάνοιξης

Ο εξοπλισμός των δύο εταιρειών είχε τοποθετηθεί σε δύο σημεία και αποτελούνταν για την «Εδαφομηχανική Κρήτης» από τον εξοπλισμό που συναντήσαμε και κατά την πρώτη μας επίσκεψη στο Ντερέ ενώ ο εξοπλισμός της «Γεωέρευνα Ο.Ε.» αποτελούνταν επίσης από γεωτρύπανο Drillteck ιπποδύναμης 550 ίππων και μια φυγοκεντρική αντλία μπεντονίτη (Εικόνα 31) μεγάλης ταχύτητας για την κυκλοφορία του ρευστού της γεώτρησης η παροχή της οποίας κυμαίνεται στα 130-170 m³/h.



Εικόνα 31. Αντλία πολφού μπεντονίτη

Το γεωτρύπανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν με αεροσυμπιεστή υψηλής πίεσης Sullair 1050cfm/350psi , έχει ανυψωτική ικανότητα 35 TN, ικανότητα διάτρησης 500m/17.5'' και συνοδεύεται με αερόσφουρα Mission SD12 μέγιστης δυνατότητας διάτρησης 560χλς όπως έχει προαναφερθεί .

Το κοπτικό άκρο που χρησιμοποιούνταν ήταν καρβιδίου διαμέτρου 12½'' (Εικόνα 32). Η αξία του συγκεκριμένου κοπτικού άκρου ανέρχεται στα 2700€ ενώ η διάμετρος του διευρηνητήρα ήταν 17 ½. ίντσες.

Το τρυπάνι που χρησιμοποιήθηκε είχε διαμορφωθεί με στελέχη εσωτερικής διαμέτρου 4.5 ιντσών και εξωτερικής διαμέτρου 5.5 ιντσών.



Εικόνα 32. Κοπτικά άκρα

Η τεχνική διάτρησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν με απευθείας κυκλοφορία πολφού. Το ρευστό της γεώτρησης ήταν νερό με πρόσμιξη περίπου 2 tn μπετονίτη και βρισκόταν σε 2 δεξαμενές χωρητικότητας περί τα 35m³ η κάθε μία που είχαν κατασκευαστεί με εκχωμάτωση.

Από την πρώτη δεξαμενή το ρευστό της γεώτρησης έπειτα από υπερχείλιση κατέληγε σε δεύτερη δεξαμενή από την οποία αναρροφούσε η αντλία (φυγοκεντρική) και έστελνε στο γεωτρήπανο το ρευστό το οποίο επέστρεφε με φυσική ροή μέσω ενός αυλακιού που ξεκινούσε από την είσοδο της γεώτρησης και κατέληγε στην δεξαμενή ρευστού (Εικόνα 33), πράγμα που αποτελεί επιστροφή του, ήταν ίδια με την θερμοκρασία περιβάλλοντος (ίδια και με την θερμοκρασία εισαγωγής).



Εικόνα 33. Δεξαμενές πολφού

Η τεχνική αυτή διάτρησης (Direct Mud Rotary Drilling) παρέχει μεγάλη ευελιξία, είναι γρήγορη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φρέατα διαφόρων διαμετρημάτων σε συμπαγείς αλλά και σε μη συμπαγείς σχηματισμούς. Προτιμάται ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μεσαίου ή μεγάλου βάθους γεωτρήσεων με την προϋπόθεση ότι πιθανή μόλυνση από τα γεωτρητικά ρευστά δεν είναι πρόβλημα.



Εικόνα 34. Κορυφή της γεώτρησης

Υπερχείληση

12.5. Εξοπλισμός εργαστηριακός - Μετρήσεις

Ο εξοπλισμός που είχαμε μαζί μας κατά την επίσκεψη αυτή αποτελείτο από: ηλεκτρονικό χρονόμετρο (ακρίβειας 1/100s), θερμόμετρο βολβού, πυκνόμετρο (mud balance) της εταιρείας Ofite (Εικόνα 36), δοσομετρικό δοχείο Ofite των 1000cc, χωνί μέτρησης ιξώδους (marsh funnel, χωρητικότητας 1560cc) Ofite με χρόνο αδειάσματος για νερό στα 29 sec (Εικόνα 35), μεγάλο δοχείο χωρητικότητας 17 lt, μέτρο, ψηφιακή φωτογραφική μηχανή, άδεια δοχεία συλλογής ρευστού γεώτρησης, δοχεία για την συλλογή στερεών θραυσμάτων γεώτρησης

Ο ρυθμός διάτρησης υπό αυτές τις συνθήκες (πυκνότητα ρευστού $\rho=1,25 \text{ g/cm}^3$) μετρήθηκε στα 5.5m/hr. Την συγκεκριμένη χρονική στιγμή ο γεωτρυπανιστής εφάρμοζε ένα συνολικό βάρος στο κοπτικό (WOB) περί τους 17.35 tn με περιστροφική ταχύτητα της διατρητικής στήλης περί τα 98 rpm.

Το κόστος της διάτρησης υπολογίζεται περίπου στα 100€ /m ενώ η αναμενόμενη ποσότητα νερού που θα ανακτηθεί υπολογίζεται στα 100-150 m³/h.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας των ρεολογικών παραμέτρων του δείγματος πολφού που πάρθηκε, μετά από μετρήσεις στο εργαστήριο για ιξωδομέτρηση :

τ_y (διατμητική τάση)	0.8608 (Pa)
K (οδηγός συγκέντρωσης)	0.441 (Pas^n)
(n) (οδηγός συμπεριφοράς ροής)	0.7333 (-)
πυκνότητα	1,25 (g/cm ³)

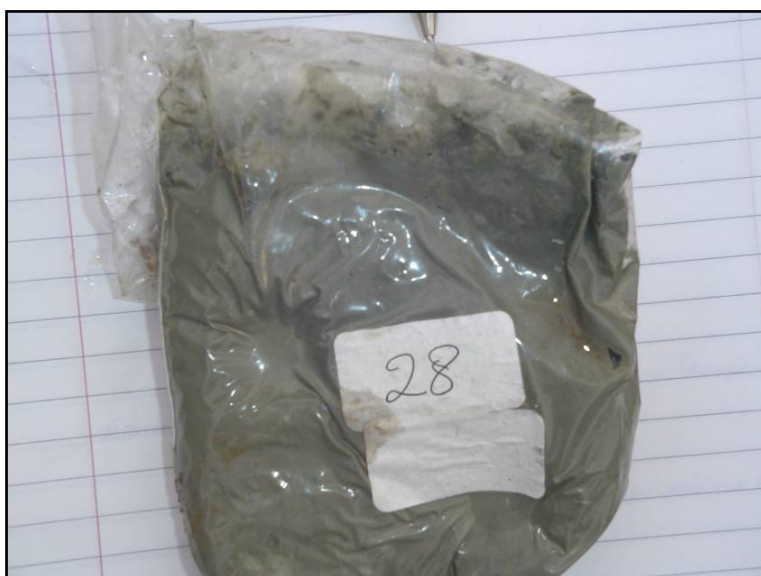
Πίνακας 27. Πίνακας ρεολογικών παραμέτρων πολφού της γεώτρησης



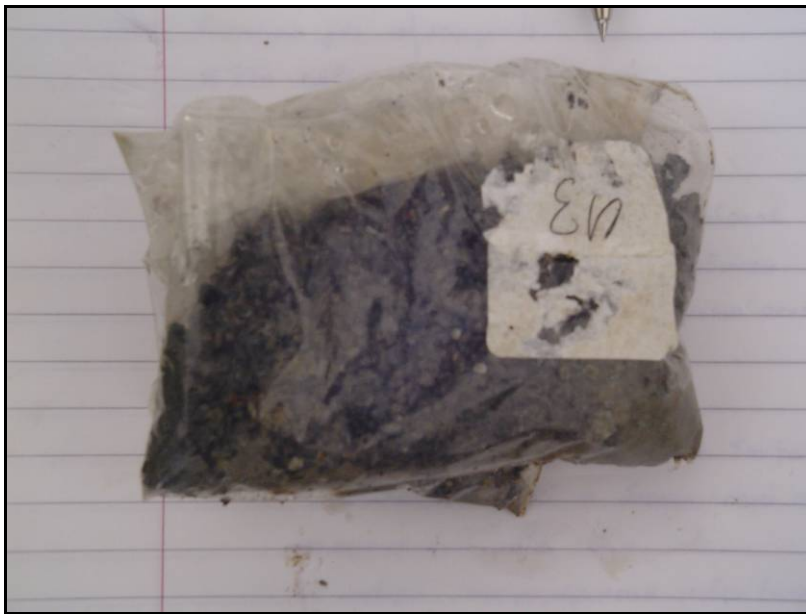
Εικόνα 35. Χωνί μέτρησης ιξώδους (marsh funnel) – Η τιμή του ιξώδους ήταν 47,50 sec



Εικόνα 36. Πυκνόμετρο (mud balance) της εταιρείας Ofite – η πυκνότητα μετρήθηκε στα 1,25 g/cm³



Εικόνα 37. Τρίμματα γεώτρησης όπως αποθηκεύτηκαν από την εταιρεία για τη δική τους περαιτέρω στρωματογραφική μελέτη



Εικόνα 38.Τρίμματα γεώτρησης όπως αποθηκεύτηκαν από την εταιρεία για τη δική τους περαιτέρω στρωματογραφική μελέτη

Προτάσεις –συμπεράσματα

Από τις επισκέψεις αυτές μπορέσαμε να δούμε το τι πραγματικά συμβαίνει στην Ελλάδα στον τομέα των υδρογεωτρήσεων καθώς και το πόσο συμβαδίζει η θεωρία από την πράξη όσον αφορά τα βήματα που ένας μηχανικός γεωτρήσεων θα προτείνει όταν θα κάνει την μελέτη μιας υδρογεώτρησης, με το ποιες διαδικασίες τελικά θα ακολουθηθούν στην πραγματικότητα.

Έτσι πρέπει να σημειωθεί ότι σπάνια στην Ελλάδα τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας που ισχύουν για το προσωπικό που εργάζεται σε μια υδρογεώτρηση ενώ σπάνια υπάρχει επίσης μέριμνα όσον αφορά την ενδεχόμενη ζημιά που μπορεί να προκληθεί περιβαλλοντικά από τις εργασίες της γεώτρησης.

Κάποια βήματα που θα μπορούσαν να γίνουν ώστε να μειωθούν τα προβλήματα που παρουσιάζονται στις υδρογεωτρήσεις είναι :

1. Η δημιουργία ενός αρχικού πλάνου –σχεδίου που θα ακολουθείται όσο πιστότερα γίνεται κατά τα στάδια της υδρογεώτρησης και θα προβλέπει τρόπους αντιμετώπισης πιθανόν προβλημάτων

2. Η χρήση πρόσθετων στα ρευστά γεωτρήσεων με στόχο να βελτιώσουν τις ιδιότητες τους, πρακτική που επίσης σπάνια ακολουθείται στην Ελλάδα.

Ακόμη προτείνεται η κατασκευή μιας απλής δοσομετρικής συσκευής που θα μπορεί να ανιχνεύει απώλειες του ρευστού ώστε να επιτευχθεί τελικά μείωση στο κόστος.

13. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής, μας οδήγησε στα εξής συμπεράσματα και προτάσεις:

Ανάμειξη με ηλεκτρολύτες KCl και NaCl

- Τόσο πριν όσο και μετά την ανάμειξη των δύο με τύπων μπεντονίτη, Wyoming και Zenith, με ηλεκτρολύτες KCl και NaCl ο μπεντονίτης τύπου Wyoming παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές τάσης διολίσθησης από τον μπεντονίτη τύπου Zenith για την ίδια συγκέντρωση.
- Κατά την ανάμειξη τους με ηλεκτρολύτη KCl, και οι δύο τύποι, παρουσιάζουν μείωση της τάσης διολίσθησης τ_y κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη ενώ ο οδηγός συνάφειας K έχει μεγαλύτερη τιμή στον μπεντονίτη Zenith και παρουσιάζει αύξηση κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη KCl ενώ αντίστοιχα στον μπεντονίτη Wyoming η τιμή του δεν παρουσιάζει κάποια σημαντική αλλαγή. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο τύπος του μπεντονίτη (σύσταση) παίζει ρόλο στην ρεολογική του συμπεριφορά. Οι δύο μπεντονίτες που χρησιμοποιούνται στο πείραμα Zenith και Wyoming είναι νατριούχοι ο Zenith όμως έχει υποστεί επεξεργασία αφού έχει γίνει πρόσμιξη με σόδα (Na_2SO_4) κατά την παραγωγή του γιατί είναι αρχικά ασβεστούχος. Τα αποτελέσματα όμως που προκύπτουν δείχνουν ότι αυτή η επεξεργασία ίσως να μην είναι επαρκής αφού οι δύο μπεντονίτες εμφανίζουν πολύ διαφορετικές ρεολογικές ιδιότητες ιδιαίτερα στην τιμή της τάσης διολίσθησης που στον Wyoming είναι πολύ μεγαλύτερη.
- Όταν έχουμε ανάμειξη και των δύο με τύπων μπεντονίτη, Wyoming και Zenith, με ηλεκτρολύτη NaCl βλέπουμε για τον Wyoming μείωση της τιμής του τ_y που συνεχίζεται κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη ενώ για τον Zenith, έχουμε αύξηση της τ_y που ακολουθείται από μείωση κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη. Οι τιμές των K και (n) είναι μεγαλύτερες στον Wyoming από ότι στον Zenith. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει το συμπέρασμα για τον ρόλο της σύστασης του μπεντονίτη που προαναφέρθηκε.

- Αν συγκρίνουμε τους δύο ηλεκτρολύτες βλέπουμε ότι ο ηλεκτρολύτης KCl και ο ηλεκτρολύτης NaCl προκαλούν στους πολφούς μπεντονίτη Wyoming μείωση της τάσης διολίσθησης τ_y και αντίστοιχη μείωση για τον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n). Όσον αφορά τον οδηγό συνάφειας K , για τον ηλεκτρολύτη KCl η μείωση είναι γραμμική ενώ για τον NaCl εκθετική. Για τον μπεντονίτη Zenith πάλι ο ηλεκτρολύτης KCl οδηγεί σε μείωση της τάσης διολίσθησης τ_y κατά την αύξηση της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη περισσότερο από τον ηλεκτρολύτη NaCl που επίσης προκαλεί μείωση. Όσον αφορά τον οδηγό συνάφειας K και οι δύο ηλεκτρολύτες προκαλούν μείωση του, με τον KCl να οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση, ενώ ο οδηγός συμπεριφοράς ροής (n) παρουσιάζει μεταβολές που δεν ακολουθούν όμως συγκεκριμένο μοντέλο. Τα παραπάνω μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο ηλεκτρολύτης KCl επιδρά περισσότερο στον τρόπο συνένωσης των φυλλαρίων μπεντονίτη από ότι ο NaCl, το συμπεραίνουμε από την μείωση της τάσης διολίσθησης που είναι μεγαλύτερη μετά από ανάμειξη με ηλεκτρολύτη KCl, ενώ ο ηλεκτρολύτης NaCl έχει μεγαλύτερη επίπτωση στο μέγεθος των συσσωμάτων του πολφού από ότι ο ηλεκτρολύτης KCl (μείωση του K).
- Γενικά από την ανάμειξη με ηλεκτρολύτη αναμένουμε κροκίδωση δηλαδή μείωση του τ_y και αύξηση του K . Από τα συγκεκριμένα πειράματα προκύπτει ότι ενώ για μικρή συγκέντρωση ηλεκτρολύτη έχουμε αύξηση του τ_y για μεγαλύτερη συγκέντρωση έχουμε όντως μείωση.
- Η αύξηση της κατά βάρος συγκέντρωσης του μπεντονίτη, και για τους δύο τύπους μπεντονίτη, Wyoming και Zenith, οδηγεί στην αύξηση των τιμών τάσης διολίσθησης τ_y ενώ δεν επηρεάζει σημαντικά τις τιμές των άλλων ρεολογικών παραμέτρων K και (n). Αυτή η αύξηση της τάσης διολίσθησης ίσως να μπορεί να αποδοθεί στην παραδοχή του ότι όσο πιο μεγάλη είναι η κατά βάρος συγκέντρωση, τόσο πιο πηχτός είναι ο πολφός οπότε και παρουσιάζει μεγαλύτερη «αντίσταση» κατά την κίνηση μέσα στον πολφό.
- Ακόμη βλέπουμε ότι η τεχνική Κελεσίδη κ.α 2006 και η μέθοδος μη γραμμικής παλινδρόμησης για υπολογισμό ρεολογικών παραμέτρων μοντέλου Herschel – Bulkley δίνουν παρόμοια αποτελέσματα, με την πρώτη να δίνει λύση στις περιπτώσεις

που προέκυπτε αρνητική τιμή για την τ_y και στις περιπτώσεις όπου η τιμή του οδηγού συμπεριφοράς ροής (n) είναι μεγαλύτερη από την μονάδα οπότε το ρευστό είναι διασταλτικό.

Ανάμειξη με θαλασσινό νερό

- Η ανάμιξη μπεντονίτη με θαλασσινό νερό δίνει τα εξής αποτελέσματα για τις ρεολογικές παραμέτρους: χαμηλές τιμές της τάσης διολίσθησης τ_y που είναι πολύ κοντά στο μηδέν, χαμηλές τιμές συγκριτικά με τους ηλεκτρολύτες που εξετάστηκαν στο προηγούμενο πείραμα για τον οδηγό συνάφειας K και τον οδηγό συμπεριφοράς ροής (n).
- Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι για μίξη με θαλασσινό νερό ο οδηγός ροομετρικής συμπεριφοράς (n) είναι πολύ κοντά στην μονάδα κάτι που σημαίνει ότι το ρευστό μας είναι στην πραγματικότητα Νευτώνειο.
- Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ανάμειξη με θαλασσινό νερό δεν ενδείκνυται για την κατασκευή πολφού μπεντονίτη λόγω των πολύ μικρών τιμών τάσης διολίσθησης που παρουσιάζονται.

Ανάμειξη με απιονισμένο και θαλασσινό νερό σε πολφούς προενυδατωμένου μπεντονίτη

- Η κατασκευή πολφού με χρήση προενυδατωμένου πολφού μπεντονίτη και ακολούθως αραίωση με θαλασσινό νερό, δίνει υψηλές τιμές διατμητικής τάσης που κυμαίνονται στα επίπεδα των περιπτώσεων όπου έχουμε κατασκευή πολφού με συμβατική μέθοδο. Όπως στην περίπτωση λοιπόν που κατασκευάζαμε πολφούς μπεντονίτη κατά το πρώτο πείραμα που περιγράψαμε, έτσι και εδώ οι τιμές της διατμητικής τάσης τ_y αν και είναι ελαφρώς υψηλότερες κατά τα άλλα είναι παρόμοιες με αυτές των πολφών που κατασκευάστηκαν με την συμβατική μέθοδο.
- Οι τιμές της διατμητικής τάσης είναι σαφώς μεγαλύτερες όταν, για ίδιες συγκεντρώσεις κ.β μπεντονίτη (Wyoming) έχουμε πολφό φτιαγμένο με προενυδατωμένο πολφό από όταν έχουμε κατασκευάσει τον πολφό μας χρησιμοποιώντας από την αρχή θαλασσινό νερό.

- Επομένως το συμπέρασμα είναι ότι για γεωτρήσεις σε θαλάσσιο χώρο είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται πολφός κατασκευασμένος με προενυδατωμένο μπεντονίτη και να γίνεται έπειτα η ανάμειξη του με θαλασσινό νερό παρά να χρησιμοποιείται απευθείας θαλασσινό νερό για την παρασκευή του πολφού.

Όσον αφορά το ρυθμό διήθησης, για τα συμβατικά δείγματα (προενυδατωμένος πολφός μπεντονίτη και έπειτα αραίωση με απιονισμένο νερό) διαπιστώνουμε το ότι όσο πιο πηχτός είναι ο πολφός μας (μεγάλη κ.β. συγκέντρωση μπεντονίτη οδηγεί σε μικρό ο ρυθμό διήθησης κάτι που είναι και απόλυτα αναμενόμενο. Ακόμη βλέπουμε ότι για πολφούς κατασκευασμένους με θαλασσινό νερό (προενυδατωμένος πολφός μπεντονίτη και έπειτα αραίωση με θαλασσινό νερό) οι τιμές του t στην εξίσωση είναι περίπου 0,5 δηλαδή προσεγγίζουν περισσότερο τη θεωρητική τιμή που θα έπρεπε να είχε σύμφωνα με το API.

Ανάδευση πολφών

- Η πειραματική διαδικασία έδειξε ότι η ανάδευση στην οποία υποβλήθηκαν οι εξεταζόμενοι πολφοί δεν είχαν κάποια ιδιαίτερη επίδραση στις ρεολογικές ιδιότητες τους αφού οι τιμές που προέκυψαν μετά την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων για τις ρεολογικές τιμές των δειγμάτων είναι πολύ κοντινές ανεξάρτητα από τον χρόνο ανάδευσης.
- Τελικά δεν μπορούμε να πετύχουμε κάποια ευεργετική αλλαγή στον πολφό μας μέσω της διαδικασίας της απλής ανάδευσης. Κατά συνέπεια ο χρόνος ενυδάτωσης ίσως είναι πολύ μεγάλος και μπορούμε να επιτύχουμε τα ίδια αποτελέσματα σε λιγότερο χρόνο.

Ιξωδομέτρηση με διαφορετικούς στάτορες

- Η χρήση διαφορετικών στατόρων στο ιξωδόμετρο μας δίνει διαφορετικές τιμές για την διατμητική τάση και τον διατμητικό ρυθμό. Έτσι μπορώ να αποτιμήσω αν υπάρχει ολίσθηση του ρευστού στα τοιχώματα.
- Όταν συγκρίνουμε μετρήσεις τριών δειγμάτων φτιαγμένα με τον ίδιο τρόπο βλέπουμε μια πιο συνεπή συμπεριφορά από όταν έχουμε μετρήσεις στο ίδιο δείγμα σε διαφορετικές συνθήκες κάτι που είναι συνέπεια της θιξοτροπίας των αιωρημάτων. Σαν πειραματική διαδικασία επομένως προτείνεται αυτή των διαφορετικών δειγμάτων φτιαγμένα με τον ίδιο τρόπο.

- Λόγω των διαφορετικών τιμών διατμητικής τάσης ανάλογα με την χρήση διαφορετικού στάτορα και της μεγάλης διαφοράς στις μετρήσεις με τον μικρότερο στάτορα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι κατά την διαδικασία της ιξωδομέτρησης συμβαίνουν διάφορα φαινόμενα μέσα στο δοχείο που έχουν σχέση με το διάκενο μεταξύ στάτορα και ρότορα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πλέον πιθανό είναι πως κατά την ιξωδομέτρηση έχουμε φαινόμενο απώλειας πρόσφυσης (wall slip) στον στάτορα B2.
- Πρόταση μετά από το συγκεκριμένο πείραμα είναι η απόκτηση ενός μεγαλύτερου αναμεικτηρίου με το οποίο θα μπορούμε να φτιάχνουμε ένα ομογενές αρχικό δείγμα ώστε να έχουμε σταθερό σημείο αναφοράς.
- Επίσης κάτι που θα βοηθούσε στην εξακρίβωση για το αν έχουμε φαινόμενο απώλειας πρόσφυσης (wall slip) θα ήταν η κατασκευή ενός ιξωδομέτρου που θα επέτρεπε την απευθείας παρατήρηση του ρευστού στον κύλινδρο (να είναι δηλαδή ο κύλινδρος διάφανος).

Μετρήσεις πεδίου

- Στην Ελλάδα σπάνια τηρούνται οι κανόνες ασφαλείας που ισχύουν για το προσωπικό που εργάζεται σε μια υδρογεώτρηση ενώ σπάνια υπάρχει επίσης μέριμνα όσον αφορά την ενδεχόμενη ζημιά που μπορεί να προκληθεί περιβαλλοντικά από τις εργασίες της γεώτρησης.

Κάποια βήματα που θα μπορούσαν να γίνουν ώστε να μειωθούν τα προβλήματα που παρουσιάζονται στις υδρογεωτρήσεις είναι :

- Η δημιουργία ενός αρχικού πλάνου –σχεδίου που θα ακολουθείται όσο πιστότερα γίνεται κατά τα στάδια της υδρογεώτρησης και θα προβλέπει τρόπους αντιμετώπισης πιθανόν προβλημάτων.
- Η χρήση πρόσθετων στα ρευστά γεωτρήσεων με στόχο να βελτιώσουν τις ιδιότητες τους, πρακτική που επίσης σπάνια ακολουθείται στην Ελλάδα.
- Ακόμη προτείνεται η κατασκευή μιας απλής δοσομετρικής συσκευής που θα μπορεί να ανιχνεύει απώλειες του ρευστού ώστε να επιτευχθεί τελικά μείωση στο κόστος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΛΑΤΩΝ ΣΕ ΠΟΛΦΟΥΣ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ
ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Wyoming bentonite 2% with NaCl

0M		0.01M		0.1M	
Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1,021.4	8.5	1,021.4	7.0	1021.4	4.0
1,021.4	8.0	1,021.4	6.0	1021.4	4.0
1,021.4	8.5	1,021.4	6.0	1021.4	4.0
1,021.4	8.5	1,021.4	6.5	1021.4	4.0
1,021.4	8.0	1,021.4	6.0	1021.4	4.0
1,021.4	8.0	1,021.4	6.0	1021.4	3.5
510.7	6.0	510.7	4.0	510.7	2.5
510.7	6.0	510.7	4.5	510.7	2.5
510.7	6.0	510.7	4.5	510.7	2.5
510.7	6.0	510.7	4.5	510.7	2.5
510.7	6.0	510.7	4.5	510.7	2.5
510.7	6.0	510.7	4.5	510.7	2.5
340.5	5.0	340.5	3.5	340.5	2.0
340.5	5.0	340.5	3.5	340.5	1.5
340.5	5.0	340.5	3.5	340.5	2.0
340.5	5.0	340.5	4.0	340.5	1.5
340.5	5.0	340.5	3.5	340.5	2.0
340.5	5.0	340.5	3.5	340.5	2.0
170.2	4.0	170.2	3.0	170.2	1.5
170.2	3.5	170.2	2.5	170.2	1.0
170.2	3.5	170.2	2.5	170.2	1.5
170.2	4.0	170.2	2.5	170.2	1.5
170.2	4.0	170.2	3.0	170.2	1.5
170.2	4.0	170.2	2.5	170.2	1.5
102.1	3.5	102.1	2.5	102.1	1.5
102.1	3.5	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	3.0	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	3.0	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	3.0	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	3.0	102.1	2.0	102.1	1.0
10.2	2.0	10.2	1.5	10.2	1.0
10.2	2.0	10.2	1.5	10.2	0.5
10.2	1.5	10.2	1.5	10.2	0.5
10.2	1.5	10.2	1.5	10.2	0.0
10.2	2.0	10.2	1.0	10.2	0.5
10.2	2.0	10.2	1.5	10.2	0.5
5.1	2.0	5.1	1.5	5.1	1.0
5.1	1.5	5.1	1.5	5.1	0.5
5.1	1.5	5.1	1.0	5.1	0.5
5.1	2.0	5.1	1.5	5.1	1.0
5.1	2.0	5.1	1.5	5.1	1.0
5.1	1.5	5.1	1.0	5.1	0.5

Zenith Bentonite 2% with NaCl

0M		0.01M		0.1M	
Shear Rate	<u>Shearstress</u>	Shear Rate	<u>Shearstress</u>	Shear Rate	<u>Shearstress</u>
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	3.0	1021.4	4.0	1021.4	3.5
1021.4	2.5	1021.4	4.5	1021.4	3.5
1021.4	2.0	1021.4	4.5	1021.4	3.0
1021.4	2.5	1021.4	4.5	1021.4	3.0
1021.4	2.5	1021.4	4.5	1021.4	3.5
1021.4	2.5	1021.4	4.5	1021.4	3.5
510.7	1.5	510.7	3.5	510.7	2.5
510.7	2.0	510.7	3.5	510.7	2.5
510.7	1.5	510.7	3.5	510.7	2.0
510.7	1.5	510.7	3.5	510.7	2.5
510.7	1.5	510.7	3.5	510.7	2.5
510.7	1.5	510.7	3.5	510.7	2.5
340.5	1.5	340.5	3.0	340.5	2.0
340.5	1.5	340.5	3.0	340.5	2.0
340.5	1.5	340.5	3.0	340.5	2.0
340.5	1.5	340.5	3.0	340.5	2.0
340.5	1.0	340.5	3.0	340.5	2.5
340.5	1.5	340.5	3.0	340.5	2.0
170.2	1.5	170.2	2.5	170.2	2.0
170.2	1.0	170.2	2.0	170.2	1.5
170.2	1.0	170.2	2.5	170.2	1.5
170.2	0.5	170.2	2.0	170.2	1.5
170.2	1.0	170.2	2.0	170.2	1.5
170.2	1.0	170.2	2.5	170.2	1.5
102.1	0.5	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	0.5	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	0.5	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	0.5	102.1	2.0	102.1	1.5
102.1	0.5	102.1	2.0	102.1	1.0
102.1	0.5	102.1	2.0	102.1	1.0
10.2	0.5	10.2	1.5	10.2	1.0
10.2	0.0	10.2	1.5	10.2	1.0
10.2	0.5	10.2	1.5	10.2	1.0
10.2	0.0	10.2	1.5	10.2	1.0
10.2	0.5	10.2	1.5	10.2	0.5
10.2	0.0	10.2	1.5	10.2	0.5
5.1	0.5	5.1	1.5	5.1	1.0
5.1	0.0	5.1	1.5	5.1	0.5
5.1	0.5	5.1	2.0	5.1	1.0
5.1	0.5	5.1	1.5	5.1	1.0
5.1	0.5	5.1	1.5	5.1	1.0
5.1	0.5	5.1	2.0	5.1	1.0

Wyoming bentonite 5% with KCl

0 M

0.01M

0.1M

Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	39.9	1021.4	23.0	1021.4	7.0
		1021.4	22.0	1021.4	7.5
		1021.4	22.0	1021.4	7.5
		1021.4	22.0	1021.4	7.0
		1021.4	22.0	1021.4	7.0
		1021.4	23.0	1021.4	7.0
510.7	33.1	510.7	18.0	510.7	6.0
		510.7	18.0	510.7	5.5
		510.7	18.0	510.7	5.5
		510.7	18.0	510.7	5.0
		510.7	18.0	510.7	5.0
		510.7	18.0	510.7	5.0
340.5	30.0	340.5	16.0	340.5	4.5
		340.5	16.0	340.5	4.5
		340.5	16.0	340.5	4.5
		340.5	16.0	340.5	4.5
		340.5	16.0	340.5	4.5
		340.5	16.0	340.5	4.5
170.2	25.6	170.2	13.5	170.2	3.5
		170.2	14.0	170.2	3.5
		170.2	14.0	170.2	4.0
		170.2	14.0	170.2	4.0
		170.2	14.0	170.2	3.5
		170.2	14.0	170.2	4.0
102.1	-	102.1	12.5	102.1	3.5
		102.1	13.0	102.1	3.5
		102.1	13.0	102.1	3.5
		102.1	13.0	102.1	3.5
		102.1	13.5	102.1	3.5
		102.1	13.0	102.1	3.5
10.2	18.4	10.2	11.0	10.2	3.0
		10.2	12.0	10.2	3.0
		10.2	11.5	10.2	3.0
		10.2	12.0	10.2	3.0
		10.2	11.5	10.2	3.0
		10.2	12.0	10.2	3.0
5.1	18.6	5.1	12.0	5.1	3.0
		5.1	12.5	5.1	3.0
		5.1	11.5	5.1	3.0
		5.1	12.0	5.1	3.0
		5.1	12.5	5.1	2.5
		5.1	12.5	5.1	2.5

Zenith bentonite 5 % with KCl

0 M

0.01M

0.1M

Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	13.2	1021.4	16.0	1021.4	12.0
		1021.4	16.5	1021.4	13.0
		1021.4	16.0	1021.4	13.5
		1021.4	16.0	1021.4	13.5
		1021.4	16.0	1021.4	13.5
		1021.4	16.5	1021.4	13.5
510.7	11.3	510.7	14.5	510.7	12.0
		510.7	14.0	510.7	12.0
		510.7	14.5	510.7	12.0
		510.7	14.5	510.7	12.0
		510.7	14.5	510.7	12.0
		510.7	14.5	510.7	12.0
340.5	10.5	340.5	13.5	340.5	11.0
		340.5	13.5	340.5	11.5
		340.5	13.5	340.5	11.0
		340.5	13.5	340.5	11.0
		340.5	13.5	340.5	11.0
		340.5	13.5	340.5	11.0
170.2	9.2	170.2	12.0	170.2	9.5
		170.2	12.5	170.2	10.0
		170.2	12.5	170.2	9.5
		170.2	12.5	170.2	9.5
		170.2	12.0	170.2	9.5
		170.2	13.0	170.2	9.5
102.1	-	102.1	12.5	102.1	9.0
		102.1	12.0	102.1	9.0
		102.1	12.0	102.1	9.0
		102.1	12.0	102.1	9.0
		102.1	11.5	102.1	9.0
		102.1	11.5	102.1	8.5
10.2	7.0	10.2	10.5	10.2	6.0
		10.2	11.5	10.2	6.5
		10.2	11.5	10.2	6.0
		10.2	10.5	10.2	5.5
		10.2	10.5	10.2	5.5
		10.2	10.5	10.2	5.5
5.1	7.1	5.1	10.5	5.1	5.0
		5.1	11.0	5.1	4.5
		5.1	11.5	5.1	4.5
		5.1	11.5	5.1	4.5
		5.1	11.0	5.1	4.0
		5.1	11.5	5.1	4.0

Wyoming bentonite 6.42% with KCl

0 M		0.01M		0.1M	
Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	64.3	1021.4	37.5	1021.4	13.0
		1021.4	37.5	1021.4	12.5
		1021.4	37.5	1021.4	12.5
		1021.4	37.5	1021.4	12.5
		1021.4	37.5	1021.4	13.0
		1021.4	37.5	1021.4	12.5
510.7	53.2	510.7	30.5	510.7	10.0
		510.7	31.0	510.7	10.0
		510.7	30.5	510.7	10.0
		510.7	30.5	510.7	10.0
		510.7	30.5	510.7	10.0
		510.7	31.0	510.7	10.0
340.5	48.3	340.5	28.0	340.5	9.0
		340.5	28.0	340.5	9.5
		340.5	27.5	340.5	9.0
		340.5	27.5	340.5	9.0
		340.5	28.0	340.5	9.5
		340.5	28.0	340.5	9.5
170.2	41.3	170.2	24.0	170.2	8.0
		170.2	24.0	170.2	8.0
		170.2	24.5	170.2	8.0
		170.2	24.5	170.2	8.5
		170.2	24.5	170.2	8.5
		170.2	24.5	170.2	8.0
102.1	-	102.1	22.5	102.1	8.0
		102.1	23.0	102.1	8.0
		102.1	23.0	102.1	7.5
		102.1	23.0	102.1	8.5
		102.1	23.0	102.1	8.0
		102.1	23.0	102.1	8.0
10.2	29.7	10.2	19.0	10.2	8.0
		10.2	21.0	10.2	7.5
		10.2	20.0	10.2	8.0
		10.2	21.5	10.2	7.5
		10.2	21.0	10.2	7.5
		10.2	22.0	10.2	7.5
5.1	30.3	5.1	21.5	5.1	8.0
		5.1	21.5	5.1	8.0
		5.1	21.5	5.1	7.5
		5.1	21.5	5.1	7.5
		5.1	22.0	5.1	8.0
		5.1	21.5	5.1	7.5

Zenith bentonite 6.42% with KCl

0 M

0.01M

0.01M

Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress	Shear Rate	Shearstress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	24.4	1021.4	25.0	1021.4	16.5
		1021.4	28.0	1021.4	18.5
		1021.4	28.5	1021.4	18.5
		1021.4	28.5	1021.4	19.0
		1021.4	28.5	1021.4	19.0
		1021.4	28.5	1021.4	19.0
510.7	21.8	510.7	25.5	510.7	17.5
		510.7	25.5	510.7	17.5
		510.7	26.0	510.7	17.5
		510.7	26.0	510.7	17.5
		510.7	26.0	510.7	18.0
		510.7	26.0	510.7	17.5
340.5	21.0	340.5	25.0	340.5	17.0
		340.5	25.0	340.5	17.0
		340.5	25.0	340.5	17.0
		340.5	25.0	340.5	17.0
		340.5	25.5	340.5	17.0
		340.5	25.0	340.5	17.0
170.2	19.2	170.2	24.5	170.2	15.5
		170.2	24.0	170.2	15.5
		170.2	24.5	170.2	15.5
		170.2	24.5	170.2	15.0
		170.2	24.5	170.2	15.5
		170.2	24.5	170.2	15.5
102.1	-	102.1	24.0	102.1	14.0
		102.1	24.0	102.1	14.0
		102.1	24.5	102.1	14.0
		102.1	24.5	102.1	14.0
		102.1	24.5	102.1	14.5
		102.1	24.0	102.1	14.0
10.2	16.2	10.2	21.0	10.2	11.5
		10.2	22.5	10.2	10.5
		10.2	21.5	10.2	11.0
		10.2	22.5	10.2	10.5
		10.2	22.0	10.2	10.5
		10.2	22.5	10.2	10.0
5.1	16.7	5.1	22.0	5.1	9.5
		5.1	22.5	5.1	9.5
		5.1	21.5	5.1	9.0
		5.1	23.5	5.1	8.5
		5.1	23.5	5.1	8.5
		5.1	23.5	5.1	8.5

Σημείωση: Τα δεδομένα για τις συγκεντρώσεις 0 M για ηλεκτρολύτη KCl (για 5 % και 6,42 % συγκέντρωση κ.β) είναι από το Influence of electrolyte concentration on rheological properties of Zenith and Wyoming bentonite – water suspensions (Kelesidis et al.) Journal of Mineral Wealth.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT

NaCl

Wyoming 2% 0M NaCl

```
C_golden_section = 1.4781
square_r_final = 0.9982
B_golden_section = 0.6243
A_golden_section = 0.0920
sse_r_final = 0.0450
square_r_power2 = 0.9999
sse_r_power2 = 0.0044
A_power2 = 0.1202
B_power2 = 0.5837
C_power2 = 1.4020
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B \cdot C$

```
A = 0.1202
B = 0.5837
C = 1.4020
```

Wyoming 2 % 0.01M NaCl

```
C_golden_section = 1.2314
square_r_final = 0.9985
B_golden_section = 0.7344
A_golden_section = 0.0317
sse_r_final = 0.0394
square_r_power2 = 0.9986
sse_r_power2 = 0.0266
A_power2 = 0.0418
B_power2 = 0.6937
C_power2 = 1.1785
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B \cdot C$

```
A = 0.0418
B = 0.6937
C = 1.1785
```

Wyoming 2% 0.1M NaCl

```
C_golden_section = 0.1396
square_r_final = 0.8738
B_golden_section = 0.3757
A_golden_section = 0.2106
sse_r_final = 1.0970
square_r_power2 = 0.9933
sse_r_power2 = 0.0563
A_power2 = 0.0108
B_power2 = 0.8271
C_power2 = 0.5811
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = 0.0108
B = 0.8271
C = 0.5811
```

Zenith 2% 0M NaCl

```
C_golden_section = 1.7594e-005
square_r_final = 0.8491
B_golden_section = 0.3831
A_golden_section = 0.1400
sse_r_final = 0.4124
square_r_power2 = 0.9768
sse_r_power2 = 0.0894
A_power2 = 0.0185
B_power2 = 0.6941
C_power2 = 0.2380
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = 0.0185
B = 0.6941
C = 0.2380
```


Zenith 2% 0.01M NaCl

```
C_golden_section = 1.2272
square_r_final = 0.9026
B_golden_section = 0.4249
A_golden_section = 0.1412
sse_r_final = 0.4860
square_r_power2 = 0.9881
sse_r_power2 = 0.0812
A_power2 = 0.0308
B_power2 = 0.6633
C_power2 = 1.4353
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = 0.0308
B = 0.6633
C = 1.4353
```

Zenith 2% 0.1M NaCl

```
C_golden_section = 0.8868
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In Herschel_Bulkley at 107
```

```
square_r_final = 0.9741
B_golden_section = 0.8533
A_golden_section = 0.0069
sse_r_final = 0.1215
square_r_power2 = 0.9862
sse_r_power2 = 0.0701
A_power2 = 0.0233
B_power2 = 0.6816
C_power2 = 0.7499
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = 0.0233
B = 0.6816
C = 0.7499
```

KCI

Wyoming 5 % 0.01M KCI

```
C_golden_section =11.9772
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In Herschel_Bulkley at 107
```

```
square_r_final =0.9788
```

```
B_golden_section = 0.7461
```

```
A_golden_section =0.0496
```

```
sse_r_final =4.1627
```

```
square_r_power2 =0.9957
```

```
sse_r_power2 =0.3735
```

```
A_power2 = 0.0325
```

```
B_power2 =0.8377
```

```
C_power2 =11.6615
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A_power2 = 0.0325
```

```
B_power2 =0.8377
```

```
C_power2 =11.6615
```

Wyoming 5% 0.1M KCI

```
C_golden_section =2.8929
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In Herschel_Bulkley at 107
```

```
square_r_final =0.9982
```

```
B_golden_section =0.7964
```

```
A_golden_section =0.0160
```

```
sse_r_final = 0.1297
```

```
square_r_power2 =0.9985
```

```
sse_r_power2 =0.0210
```

```
A_power2 =0.0124
```

```
B_power2 =0.8452
```

```
C_power2 =2.8438
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = 0.0124
```

```
B =0.8452
```

```
C =2.8438.1m
```

Zenith 5% 0.01M KCl

```
C_golden_section =10.1587
square_r_final =0.9143
B_golden_section =0.3753
A_golden_section =0.3765
sse_r_final =1.3982
square_r_power2 = 0.9937
sse_r_power2 =0.1366
A_power2 = 0.0638
B_power2 = 0.6429
C_power2 =10.7500
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A =0.0638
B = 0.6429
C =10.7500
```

Zenith 5 % 0.1M KCl

```
C_golden_section = 2.5110e-008
square_r_final =1
B_golden_section =1.0000
A_golden_section =0.1000
square_r_power2 = 1
A_power2 =0.1000
B_power2 = 1
C_power2 =-3.3852e-015
```

Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
K =0.1000
n =1.0000
ty = 2.5110e-008
```

Wyoming 6.42% 0.01M KCl

```
C_golden_section = 21.2647
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In Herschel_Bulkley at 107
```

```
square_r_final = 0.9778
```

```
B_golden_section = 0.7335
```

```
A_golden_section = 0.0848
```

```
sse_r_final = 10.2681
```

```
square_r_power2 = 0.9955
```

```
sse_r_power2 = 0.9595
```

```
A_power2 = 0.0564
```

```
B_power2 = 0.8233
```

```
C_power2 = 20.7467
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

A = 0.0564

B = 0.8233

C = 20.7467

Wyoming 6.42% 0.1M KCl

```
C_golden_section = 7.5515
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In Herschel_Bulkley at 107
```

```
square_r_final = 0.9775
```

```
B_golden_section = 0.8218
```

```
A_golden_section = 0.0133
```

```
sse_r_final = 1.5275
```

```
square_r_power2 = 0.9979
```

```
sse_r_power2 = 0.0430
```

```
A_power2 = 0.0034
```

```
B_power2 = 1.0557
```

```
C_power2 = 7.5334
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

A = 0.0034

B = 1.0557

C = 7.5334

Zenith 6.42 %0.01M KCl

```
C_golden_section =18.9008
square_r_final =0.8973
B_golden_section = 0.1688
A_golden_section =2.4562
sse_r_final =1.9826
square_r_power2 =0.9666
sse_r_power2 = 0.7525
A_power2 =0.1864
B_power2 = 0.4940
C_power2 =21.9833
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = 0.1864
B =0.4940
C =21.9833
```

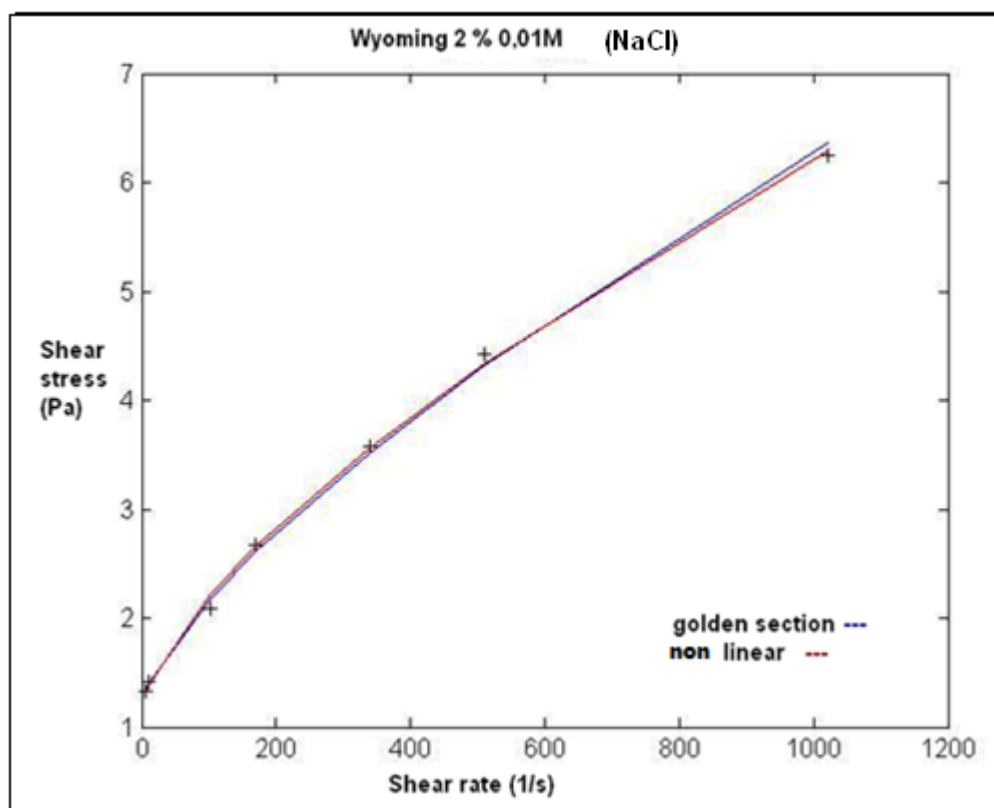
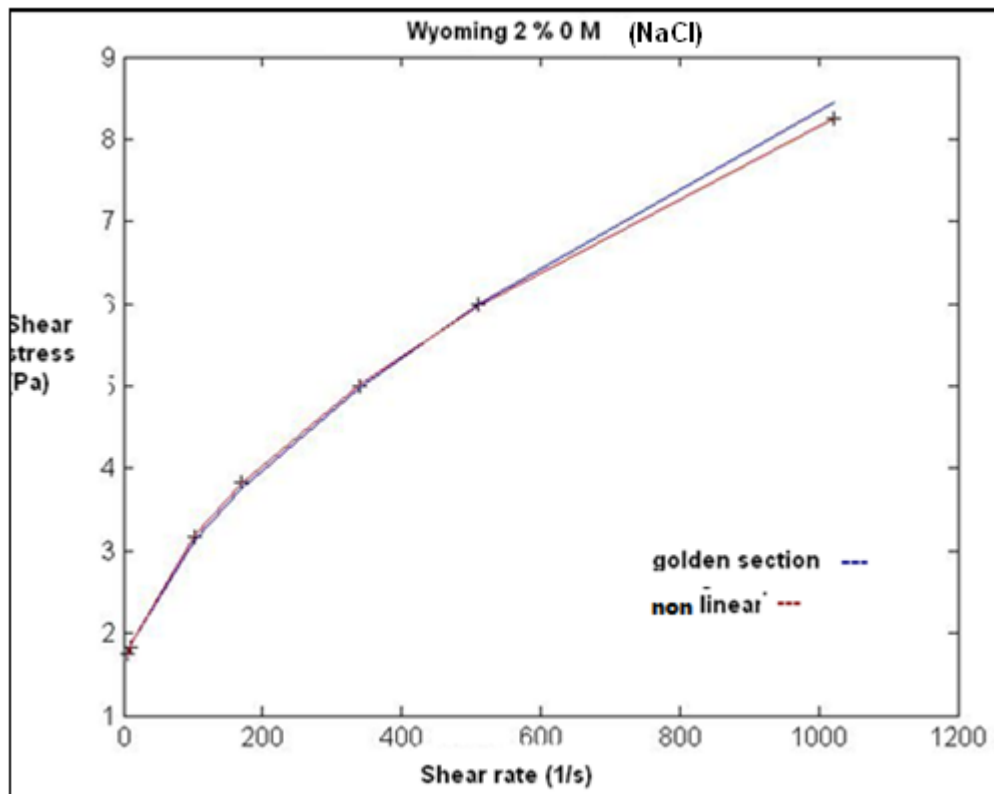
Zenith 6.42% 0.1M KCl

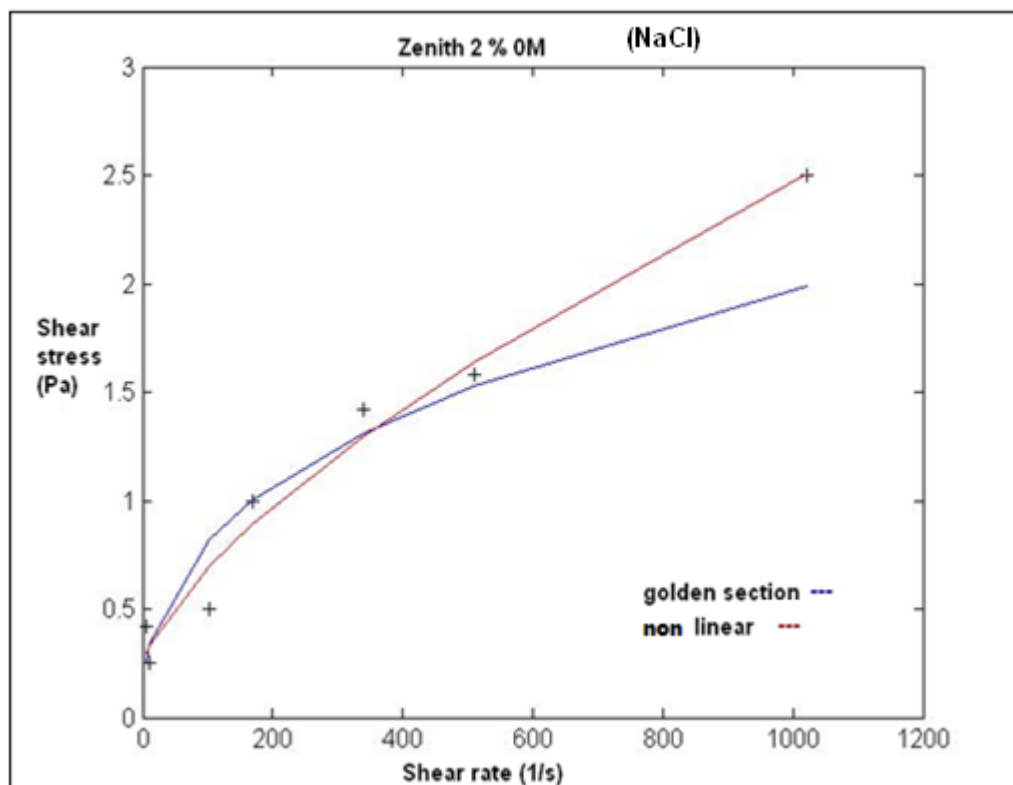
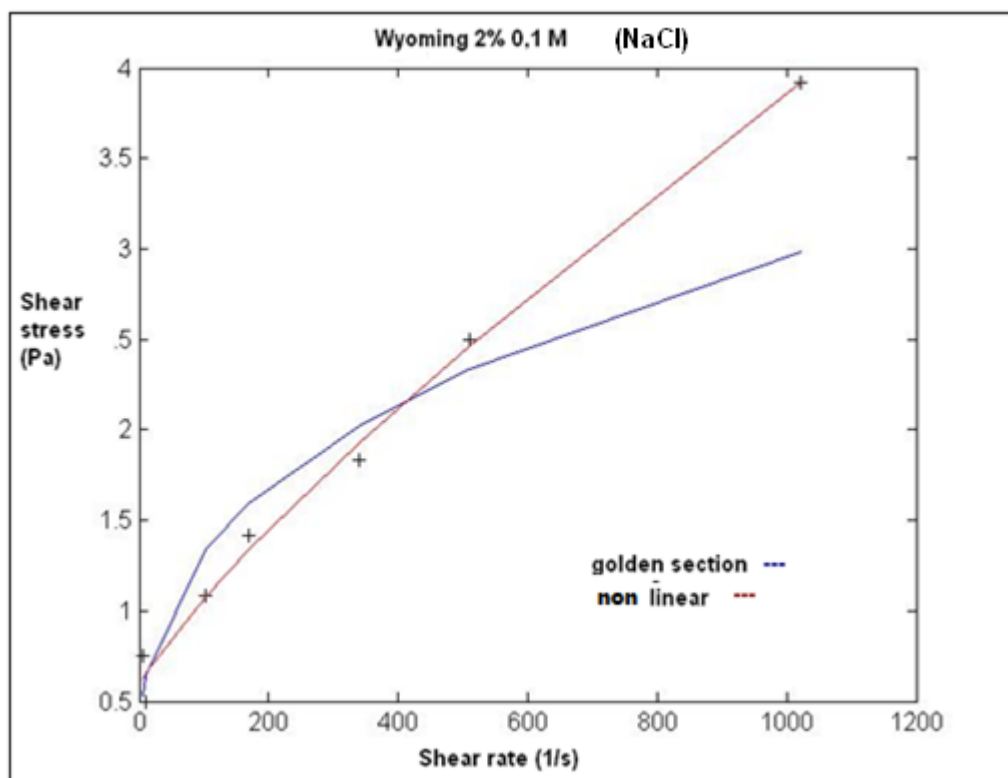
```
C_golden_section =1.6715e-005
square_r_final =0.9850
B_golden_section =0.1364
A_golden_section =7.4808
sse_r_final =1.3409
square_r_power2 = 0.9935
sse_r_power2 =0.5040
A_power2 =-220.0613
B_power2 = -0.0085
C_power2 = 226.1210
```

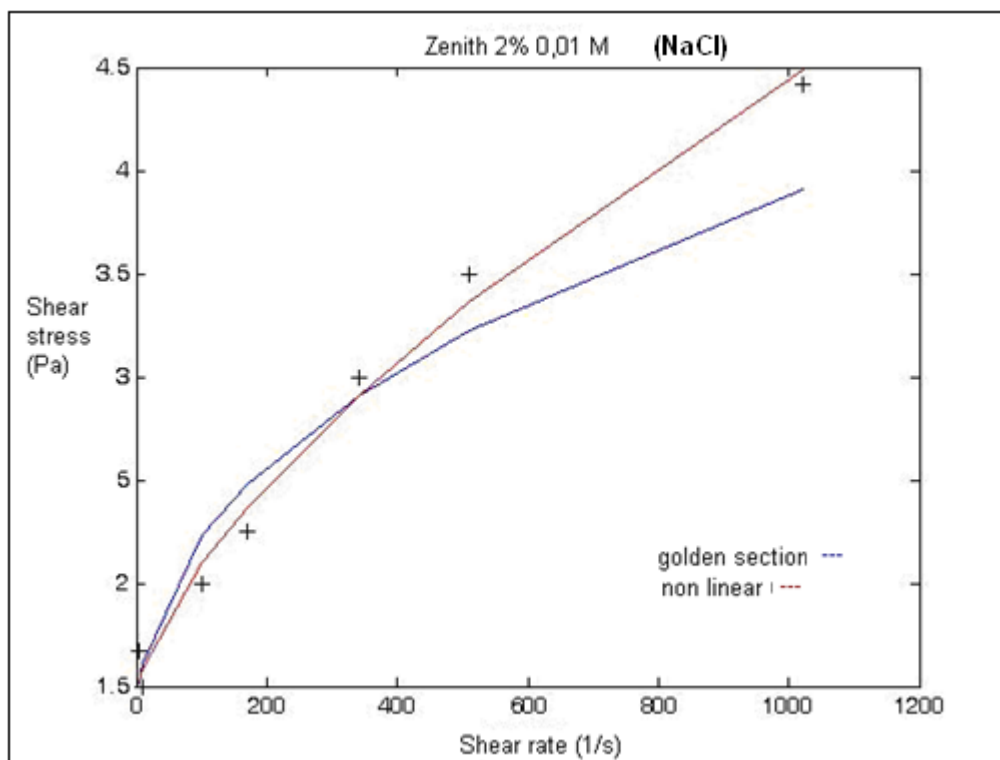
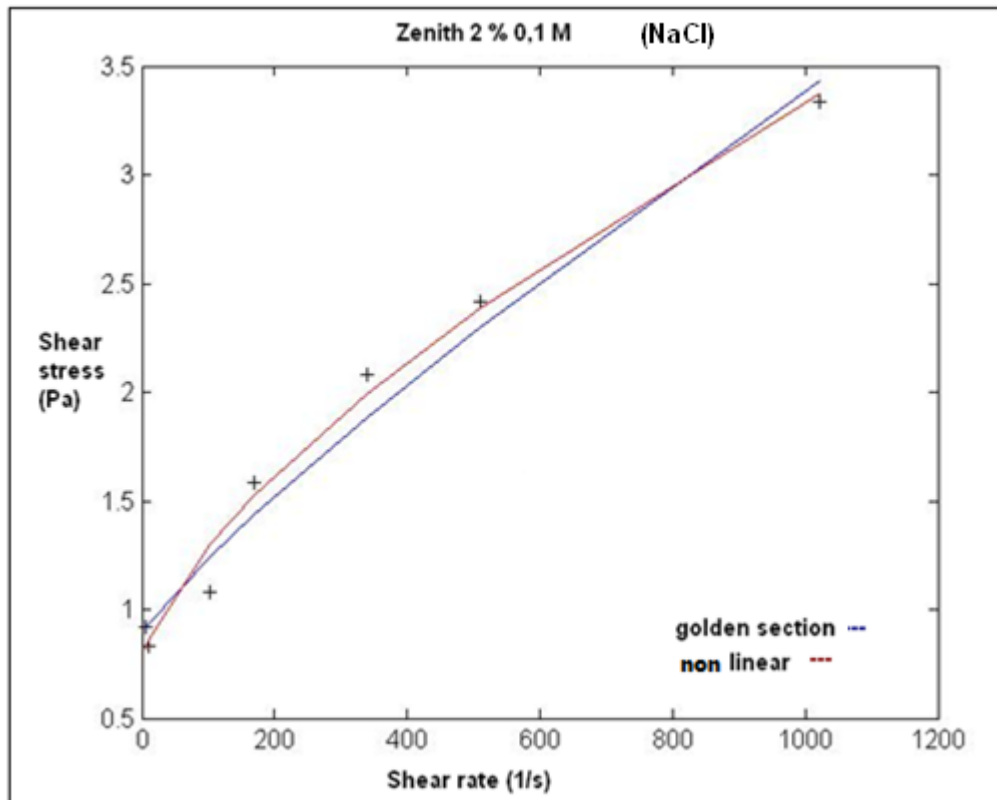
Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

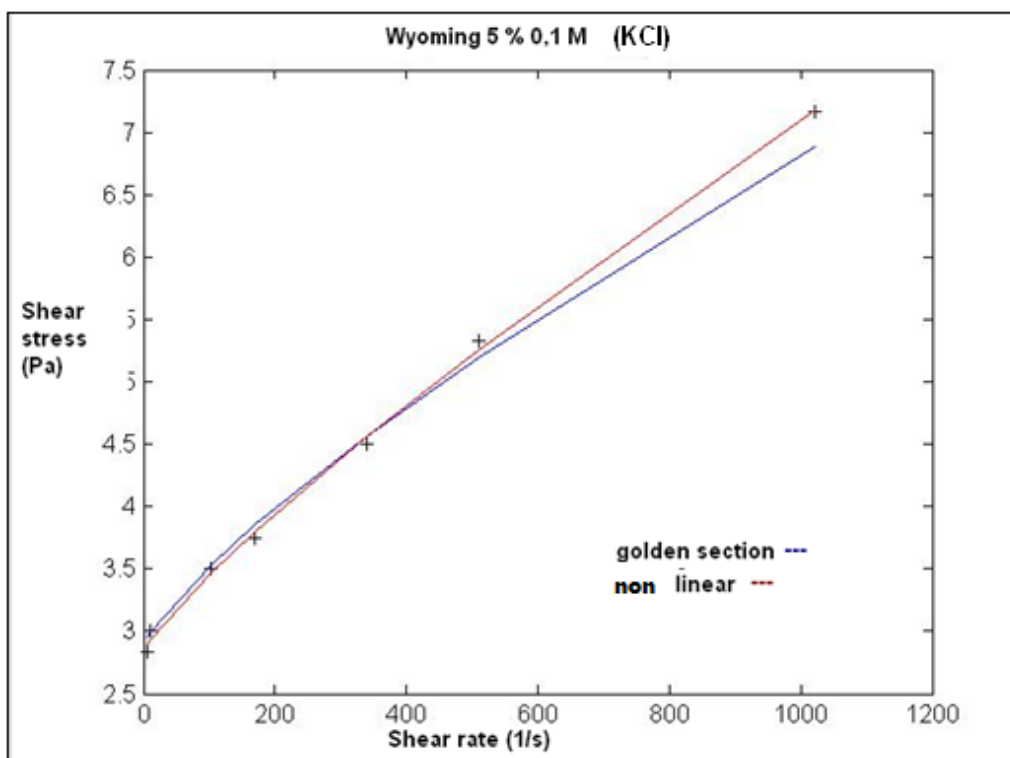
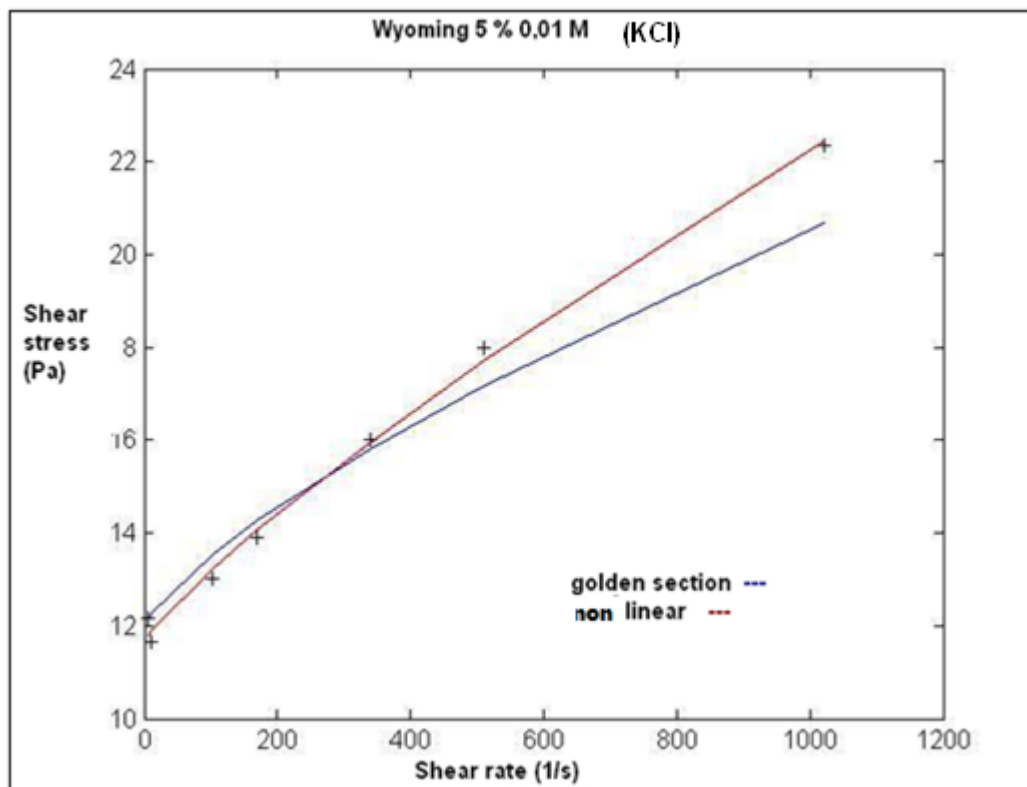
```
A =-220.0613
B = -0.0085
C =226.12100.1m
```

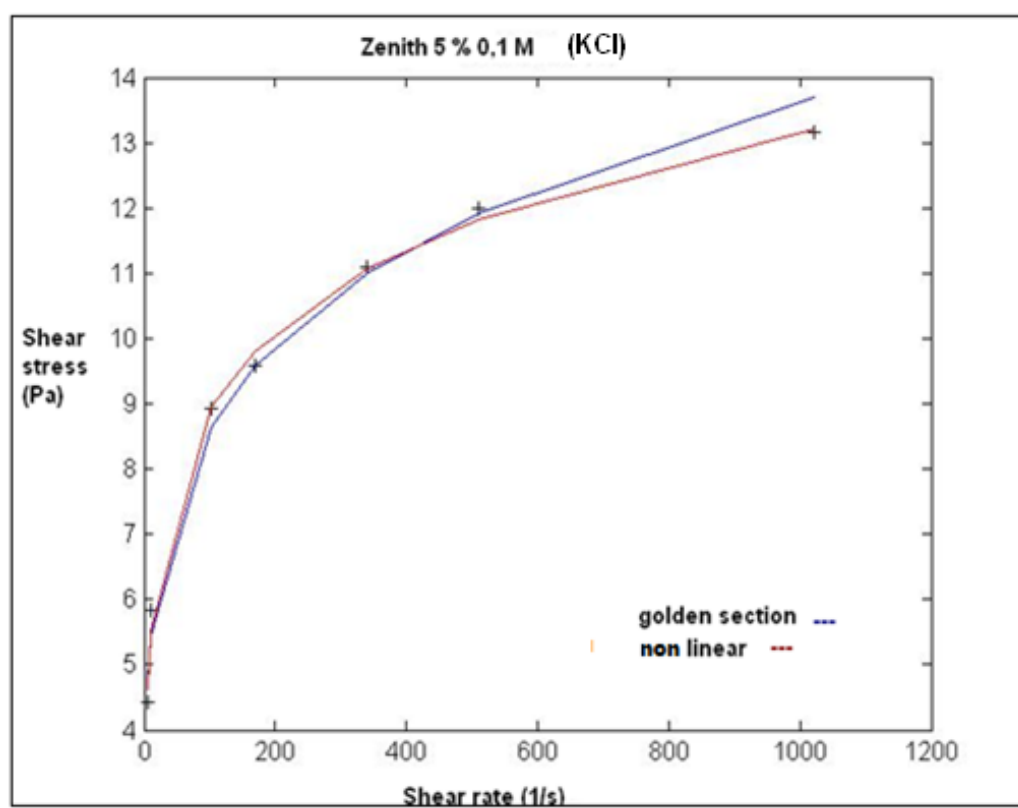
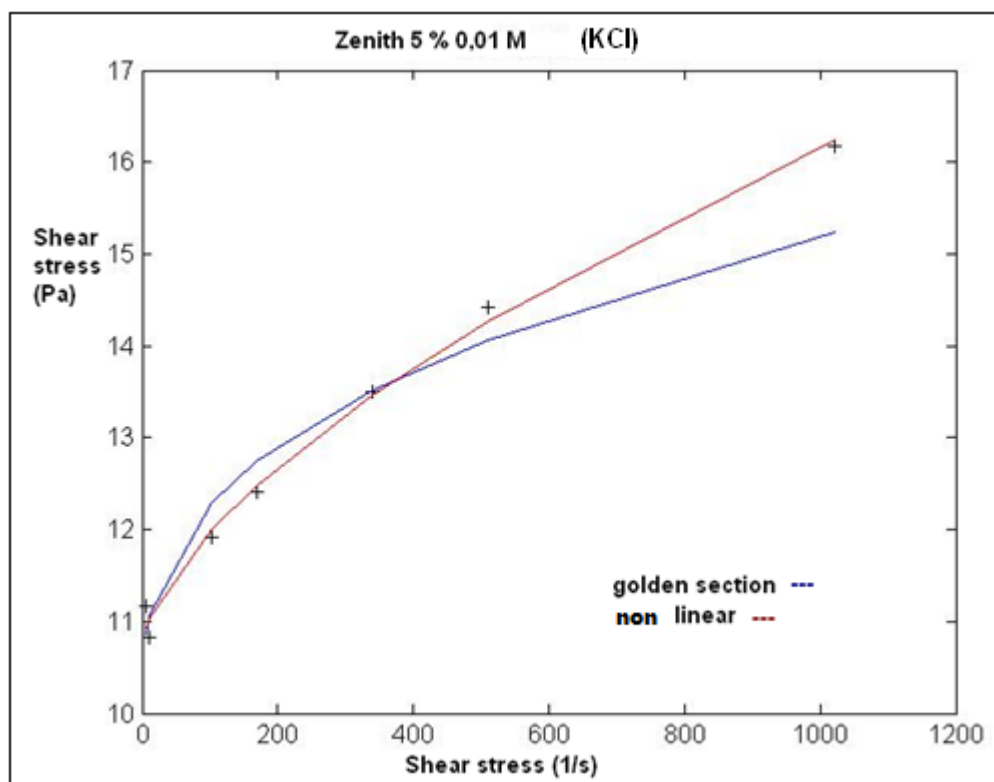
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT

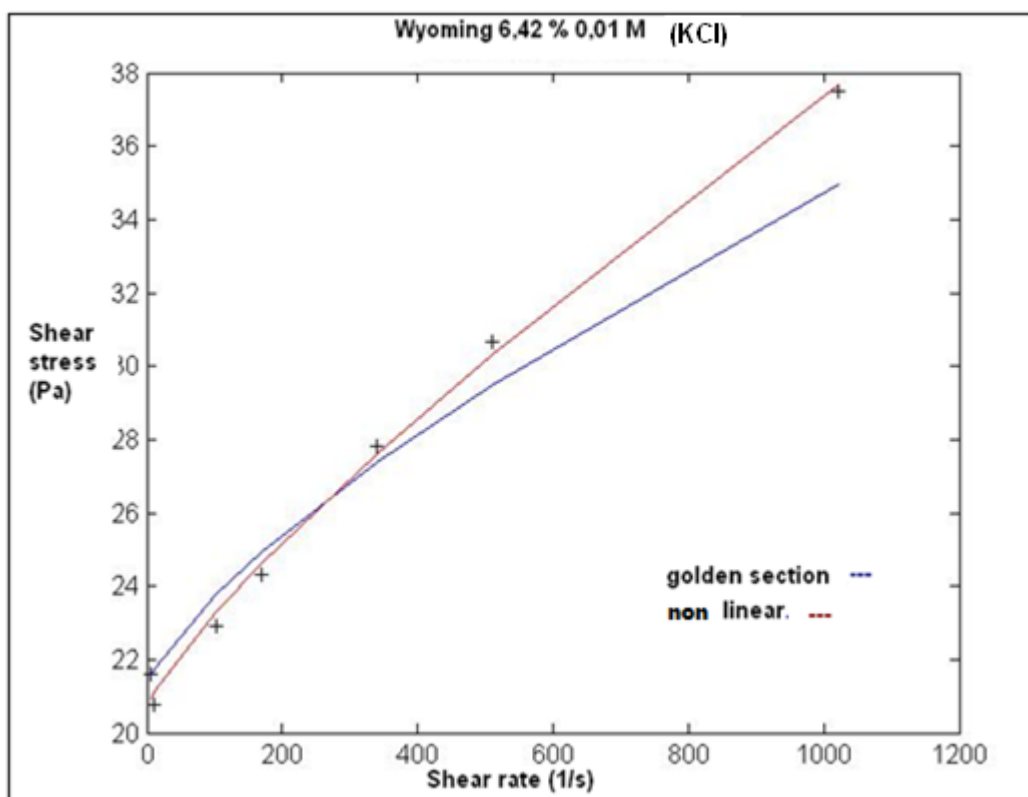
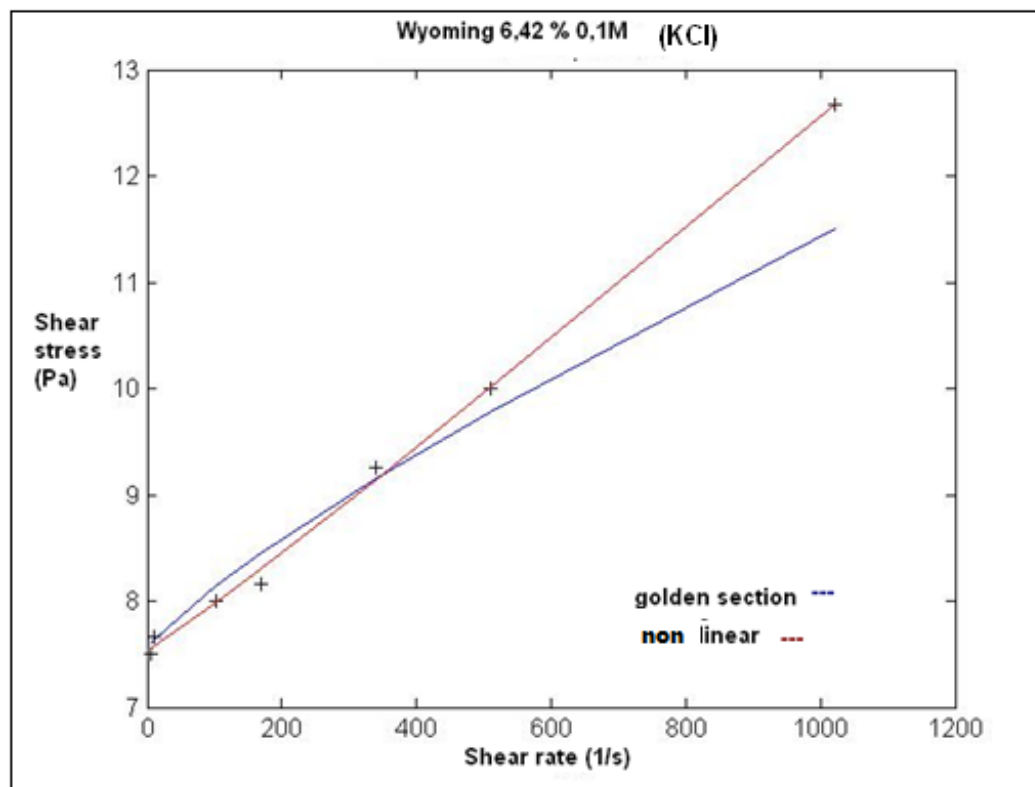


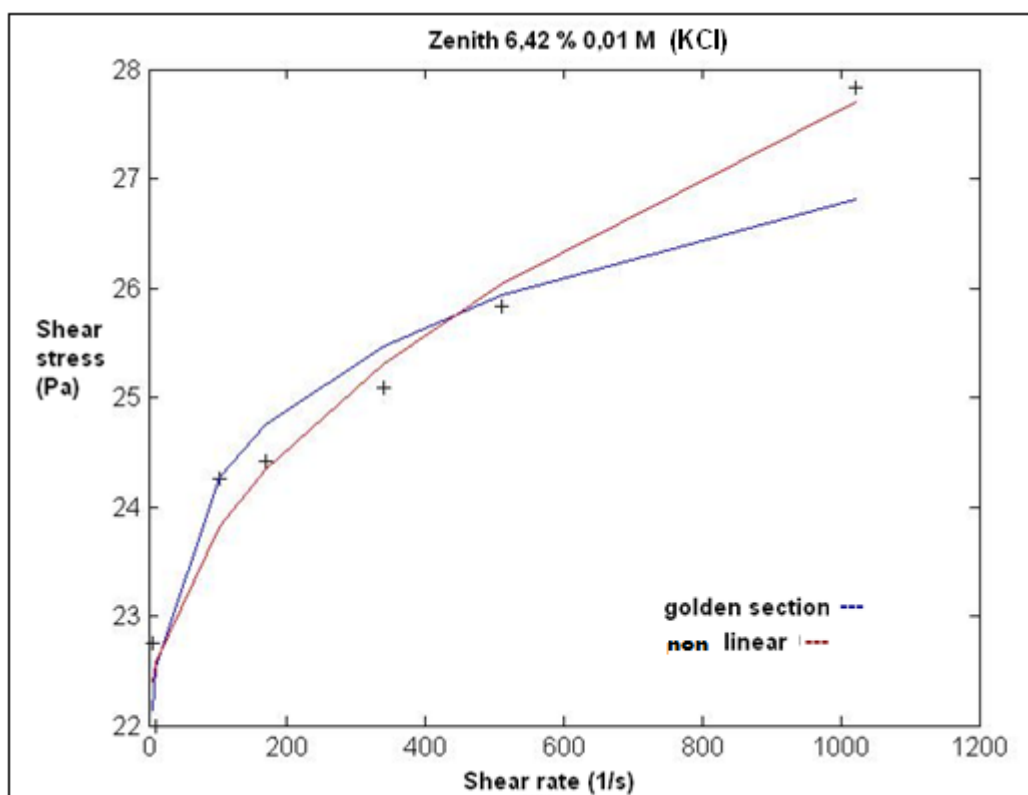
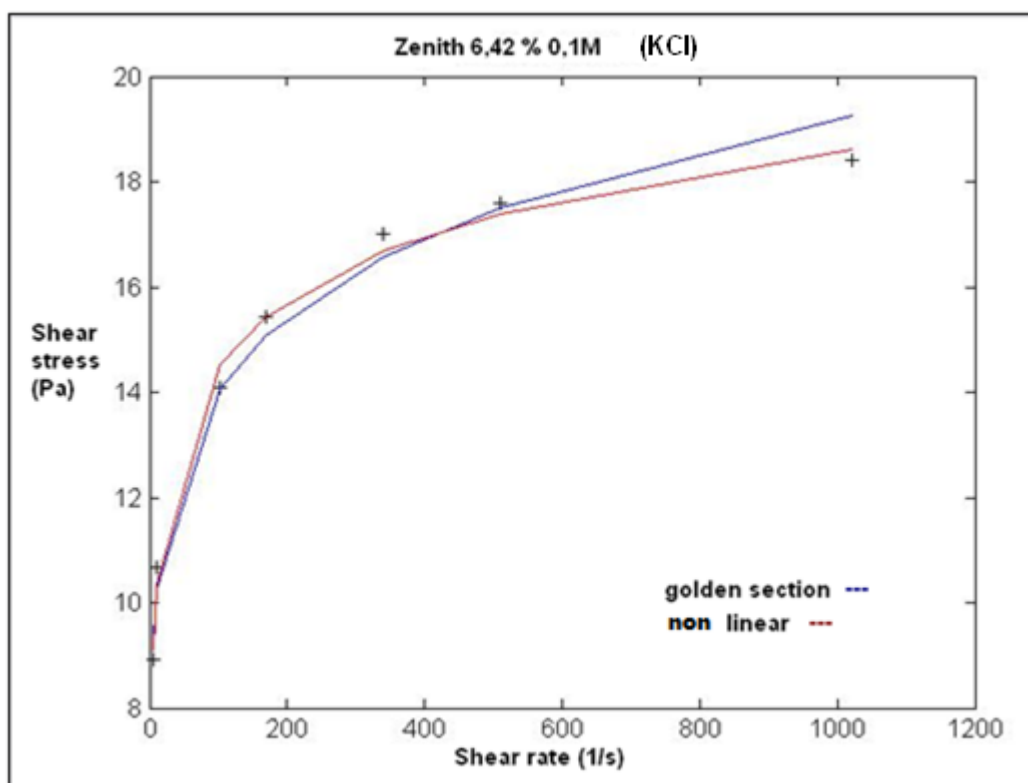












ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΟΛΦΟ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ

ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Sea water 6,42%

Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)
1021.4	1.0
1021.4	2.5
1021.4	2.5
1021.4	1.5
1021.4	2.0
1021.4	2.5
510.7	1.5
510.7	1.5
510.7	1.5
510.7	1.5
510.7	1.5
510.7	1.5
510.7	1.5
340.5	1.0
340.5	1.0
340.5	1.0
340.5	1.0
340.5	1.0
340.5	1.0
170.2	0.5
170.2	1.0
170.2	1.0
170.2	1.0
170.2	1.0
170.2	1.0
10.2	0.5
10.2	1.0
10.2	0.5
10.2	0.5
10.2	0.5
10.2	0.5
5.1	1.0
5.1	0.5
5.1	0.5
5.1	0.5
5.1	0.5
5.1	0.5

Sea water 5 %

Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)
1021.4	0.5
1021.4	1.5
1021.4	2.0
1021.4	1.5
1021.4	2.0
1021.4	2.0
510.7	1.0
510.7	1.0
510.7	1.0
510.7	1.0
510.7	1.0
510.7	1.0
340.5	0.5
340.5	0.5
340.5	0.5
340.5	0.5
340.5	0.5
340.5	0.5
170.2	0.5
170.2	0.5
170.2	0.5
170.2	0.0
170.2	0.5
170.2	0.5
10.2	0.0
10.2	0.5
10.2	0.5
10.2	0.5
10.2	0.5
10.2	0.0
5.1	0.0
5.1	0.0
5.1	0.0
5.1	0.5
5.1	0.0
5.1	0.5

Ολική μοριακή σύσταση θαλασσινού νερού (αλατότητα = 35)

συστατικό	συγκέντρωση (mol/kg)
<u>H₂O</u>	53.6
<u>Cl⁻</u>	0.546
<u>Na⁺</u>	0.469
<u>Mg²⁺</u>	0.0528
<u>SO₄²⁻</u>	0.0282
<u>Ca²⁺</u>	0.0103
<u>K⁺</u>	0.0102
<u>C_T</u>	0.00206
<u>Br⁻</u>	0.000844
<u>B_T</u>	0.000416
<u>Sr²⁺</u>	0.000091
<u>F⁻</u>	0.000068

Συγκεντρώσεις αλάτων σε θαλασσινό νερό (Wikipedia, 2008)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT

Sea water bentonite 5%

```
C_golden_section =0.2094
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In Herschel_Bulkley at 107
```

```
square_r_final =0.8657
```

```
B_golden_section =0.5324
```

```
A_golden_section =0.0219
```

```
sse_r_final =0.3266
```

```
square_r_power2 =0.9622
```

```
sse_r_power2 =0.0513
```

```
A_power2 =6.9060e-004
```

```
B_power2 =1.0938
```

```
C_power2 =0.2302
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

```
tau =A*gamma^B+C
```

```
A = 6.9060e-004
```

```
B =1.0938
```

```
C = 0.2302
```

Sea water bentonite 6.42%

```
C_golden_section =0.5962
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In Herschel_Bulkley at 107
```

```
square_r_final = 0.9842
```

```
B_golden_section =0.9440
```

```
A_golden_section =0.0021
```

```
sse_r_final =0.0411
```

```
square_r_power2 =0.9763
```

```
sse_r_power2 =0.0366
```

```
A_power2 =0.0044
```

```
B_power2 =0.8378
```

```
C_power2 = 0.5571
```

Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters

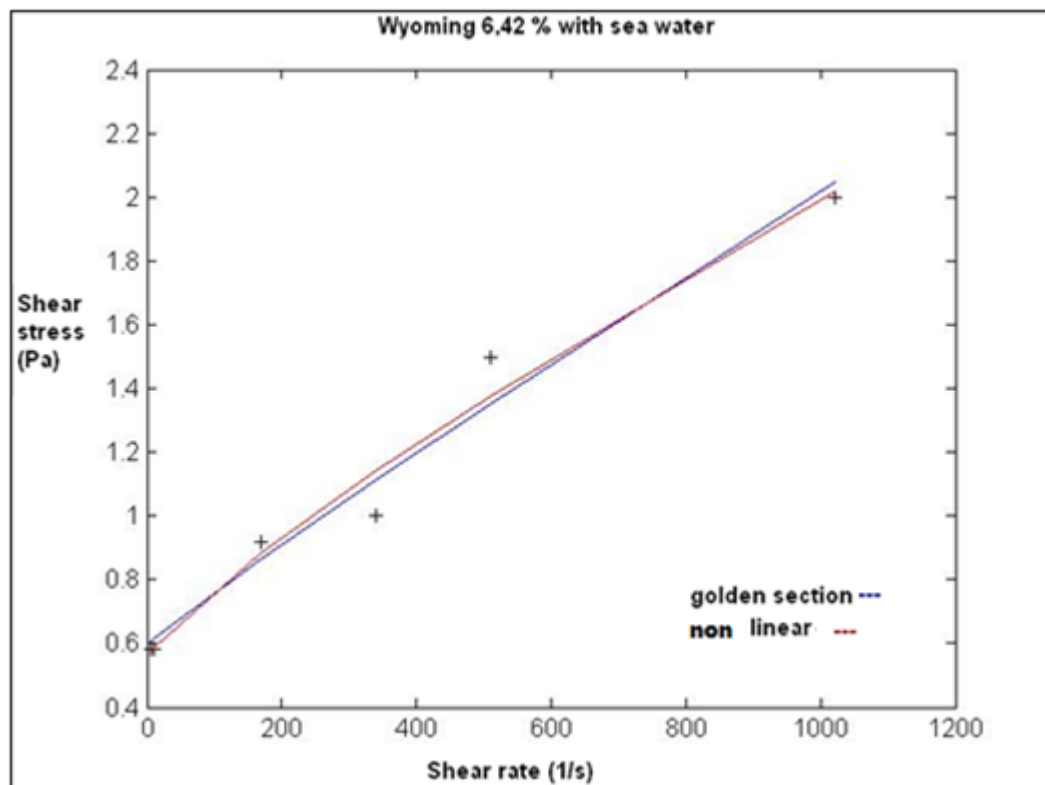
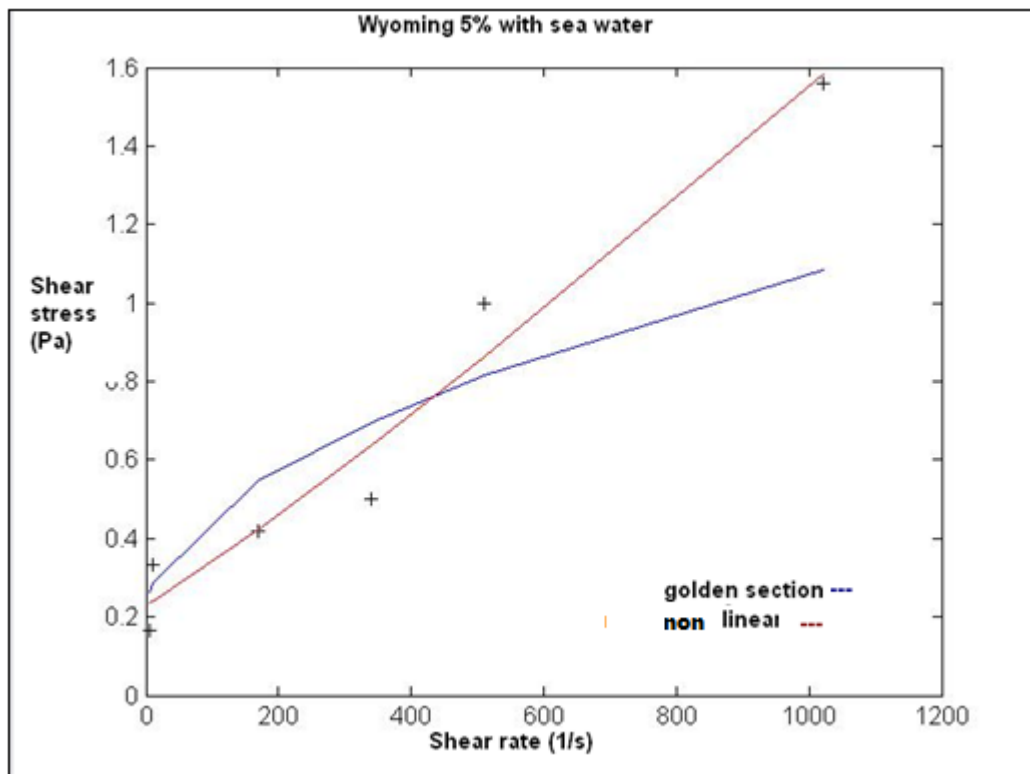
```
tau =A*gamma^B+C
```

```
A =0.0021
```

```
B =0.9440
```

```
C = 0.5962
```

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π3.ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΟΛΦΟΥΣ ΠΡΟΕΝΥΔΑΤΩΜΕΝΟΥ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ (SLURRY)

ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

bentonite 4%		bentonite 4,5 %	
Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)
1021.4	12.0	1021.4	14.5
1021.4	12.0	1021.4	14.5
1021.4	12.0	1021.4	14.5
1021.4	12.0	1021.4	14.5
1021.4	12.0	1021.4	14.5
1021.4	12.0	1021.4	14.5
510.7	10.0	510.7	12.0
510.7	10.0	510.7	12.0
510.7	10.0	510.7	12.0
510.7	10.0	510.7	12.0
510.7	9.5	510.7	12.0
510.7	10.0	510.7	12.0
340.5	9.0	340.5	11.0
340.5	9.0	340.5	11.0
340.5	9.0	340.5	11.0
340.5	9.0	340.5	11.0
340.5	9.0	340.5	11.0
340.5	9.0	340.5	11.0
170.2	8.0	170.2	10.0
170.2	7.5	170.2	10.0
170.2	8.0	170.2	10.0
170.2	8.0	170.2	9.5
170.2	8.0	170.2	10.0
170.2	8.0	170.2	10.0
10.2	5.0	10.2	6.5
10.2	5.0	10.2	7.0
10.2	5.0	10.2	7.0
10.2	5.0	10.2	7.0
10.2	5.5	10.2	7.0
10.2	5.5	10.2	7.0
5.1	5.5	5.1	7.0
5.1	5.5	5.1	7.0
5.1	5.5	5.1	7.0
5.1	5.5	5.1	6.5
5.1	5.5	5.1	6.5
5.1	5.5	5.1	7.0

bentonite 5 %

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	56.0
1021.4	59.0
1021.4	59.5
1021.4	58.5
1021.4	58.5
1021.4	58.5
510.7	53.5
510.7	54.0
510.7	54.0
510.7	54.5
510.7	54.5
510.7	54.5
340.5	51.0
340.5	51.5
340.5	51.0
340.5	51.5
340.5	51.5
340.5	51.5
170.2	46.0
170.2	46.5
170.2	46.5
170.2	46.0
170.2	46.5
170.2	46.0
10.2	26.0
10.2	26.5
10.2	25.5
10.2	26.0
10.2	25.5
10.2	26.5
5.1	20.0
5.1	20.0
5.1	20.0
5.1	21.0
5.1	21.0
5.1	20.5

bentonite 5,5 %

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	79.0
1021.4	108.5
1021.4	111.0
1021.4	113.0
1021.4	113.5
1021.4	114.5
510.7	102.0
510.7	102.5
510.7	103.0
510.7	103.5
510.7	103.5
510.7	104.0
340.5	98.5
340.5	104.0
340.5	104.0
340.5	104.5
340.5	104.5
340.5	105.0
170.2	95.5
170.2	96.0
170.2	96.0
170.2	96.0
170.2	96.5
170.2	96.5
10.2	56.5
10.2	54.5
10.2	55.5
10.2	53.0
10.2	54.0
10.2	54.0
5.1	42.0
5.1	38.0
5.1	37.0
5.1	36.5
5.1	38.5
5.1	38.0

bentonite 6 %

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	84.5
1021.4	154.0
1021.4	160.0
1021.4	164.0
1021.4	167.0
1021.4	169.0
510.7	157.0
510.7	158.5
510.7	159.5
510.7	161.0
510.7	161.5
510.7	162.0
340.5	154.5
340.5	155.0
340.5	155.0
340.5	156.0
340.5	156.5
340.5	157.0
170.2	146.0
170.2	147.0
170.2	147.5
170.2	148.5
170.2	147.5
170.2	148.0
10.2	93.5
10.2	97.0
10.2	97.5
10.2	98.0
10.2	98.0
10.2	99.5
5.1	85.5
5.1	83.5
5.1	86.0
5.1	84.5
5.1	86.5
5.1	87.0

bentonite 6,5%

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	117.5
1021.4	156.0
1021.4	160.5
1021.4	163.0
1021.4	163.5
1021.4	165.0
510.7	149.0
510.7	157.0
510.7	157.5
510.7	158.0
510.7	158.5
510.7	158.5
340.5	150.5
340.5	150.5
340.5	151.0
340.5	151.0
340.5	151.0
340.5	151.0
170.2	137.5
170.2	138.5
170.2	138.5
170.2	138.5
170.2	138.0
170.2	138.0
10.2	74.5
10.2	70.0
10.2	69.0
10.2	70.0
10.2	69.5
10.2	68.5
5.1	43.0
5.1	45.0
5.1	46.5
5.1	45.0
5.1	44.0
5.1	42.5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT SLURIES

Slurry 4% bentonite

```
C_golden_section = 5.3755
Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.
> In fit>handlewarn at 715
  In fit at 217
    In Herschel_Bulkley at 107
      square_r_final = 0.9927
      B_golden_section = 0.7784
      A_golden_section = 0.0363
      sse_r_final = 2.4240
      square_r_power2 = 0.9949
      sse_r_power2 = 0.1770
      A_power2 = 0.2822
      B_power2 = 0.4706
      C_power2 = 4.6368

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
tau = A*gamma^B+C
A = 0.2822
B = 0.4706
C = 4.6368
```

Slurry 4.5% bentonite

```
C_golden_section = 6.0803
square_r_final = 0.9944
B_golden_section = 0.4734
A_golden_section = 0.3157
sse_r_final = 0.0974
square_r_power2 = 0.9979
sse_r_power2 = 0.0939
A_power2 = 0.3433
B_power2 = 0.4613
C_power2 = 6.0338

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
tau = A*gamma^B+C

A = 0.3433
B = 0.4613
C = 6.0338
```

Slurry 5 % bentonite

```
C_golden_section = 1.0005e-005
square_r_final = 0.9854
B_golden_section = 0.1986
A_golden_section = 15.7117
square_r_power2 = 0.9999
A_power2 = -196.2113
B_power2 = -0.0440
C_power2 = 203.0608
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = -196.2113
B = -0.0440
C = 203.0608
```

Slurry 5.5 % bentonite

```
C_golden_section = 116.9349
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In HBGS at 110
```

```
square_r_final = 0.9938
B_golden_section = -0.3914
A_golden_section = 150.8057
square_r_power2 = 0.9984
A_power2 = -146.0555
B_power2 = -0.3487
C_power2 = 120.4730
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

```
A = -146.0555
B = -0.3487
C = 120.4730
```

Slurry 6 % bentonite

```
C_golden_section =193.9839
```

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

```
> In fit>handlewarn at 715
```

```
In fit at 217
```

```
In HBGS at 110
```

```
square_r_final =0.9797
```

```
B_golden_section =-0.2749
```

```
A_golden_section =230.5832
```

```
square_r_power2 =0.9960
```

```
A_power2 = -240.7513
```

```
B_power2 = -0.3391
```

```
C_power2 =181.6293
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

A = -240.7513

B = -0.3391

C =181.6293

Slurry 6.5 % bentonite

```
C_golden_section =1.0008e-005
```

```
square_r_final =0.9296
```

```
B_golden_section =0.1201
```

```
A_golden_section =73.4054
```

```
square_r_power2 =0.9715
```

```
A_power2 = -161.4750
```

```
B_power2 = -0.3756
```

```
C_power2 = 169.9175
```

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

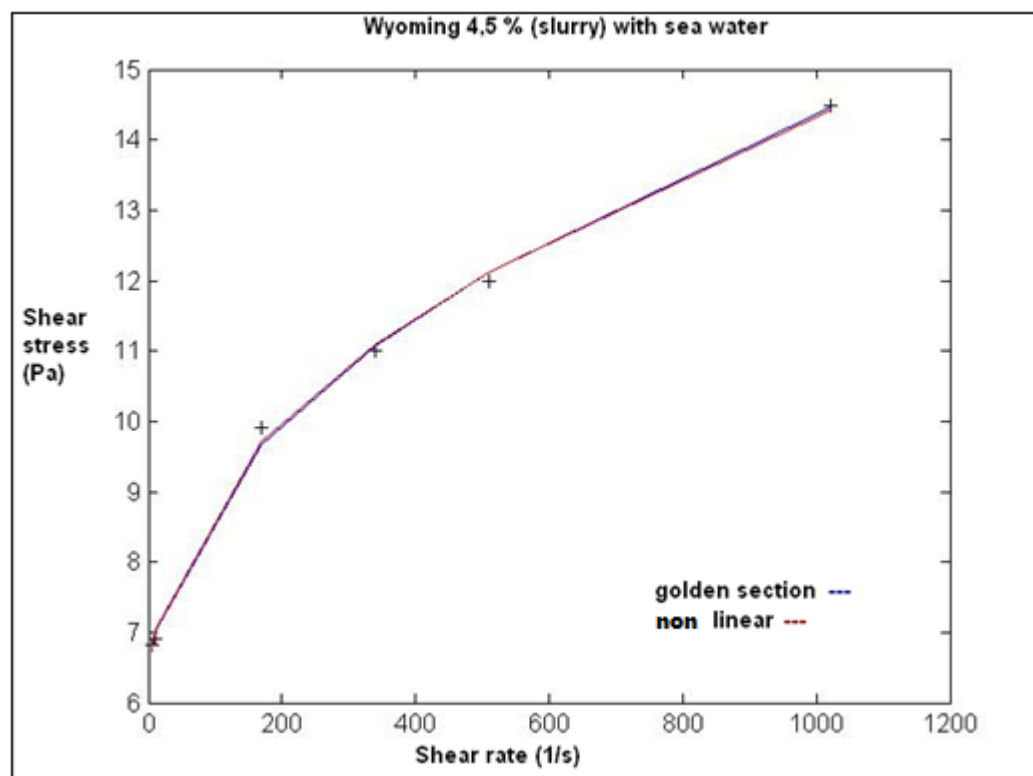
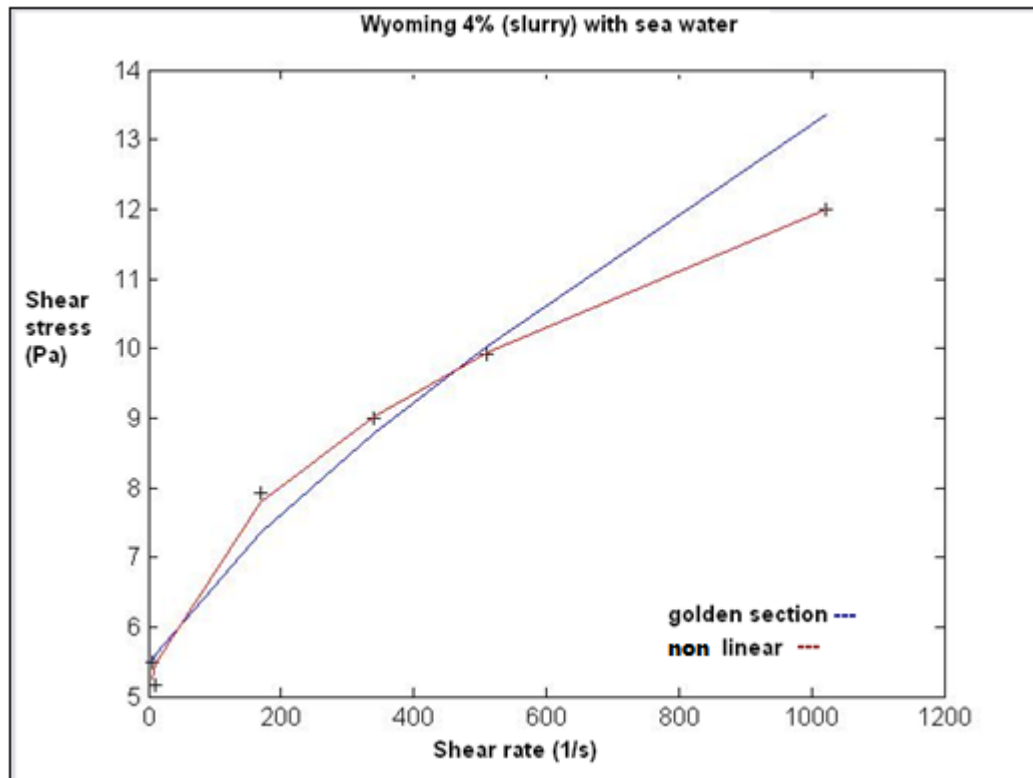
$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

A = -161.4750

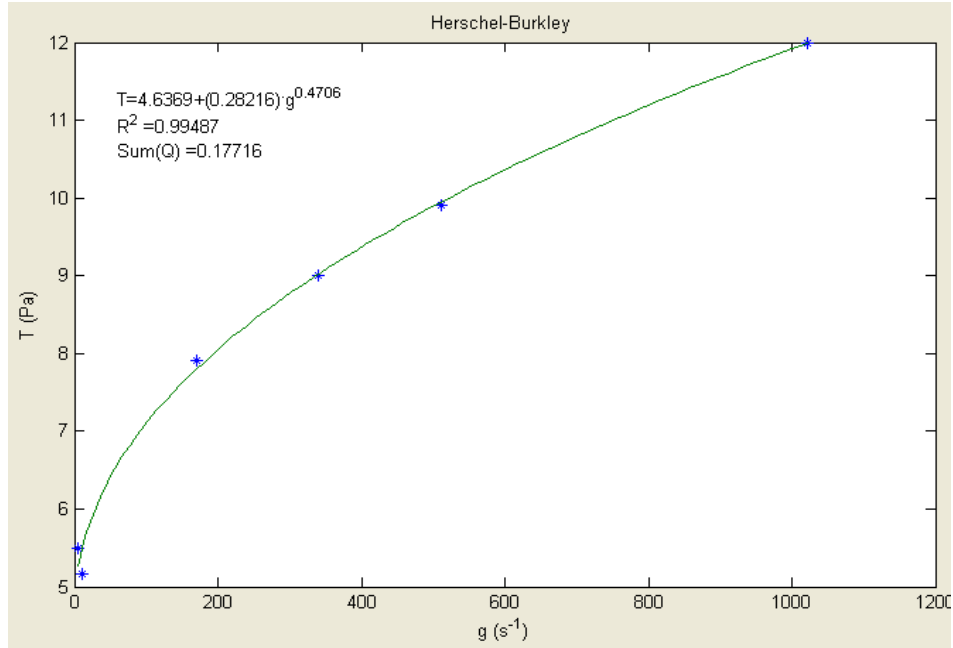
B =-0.3756

C =169.9175

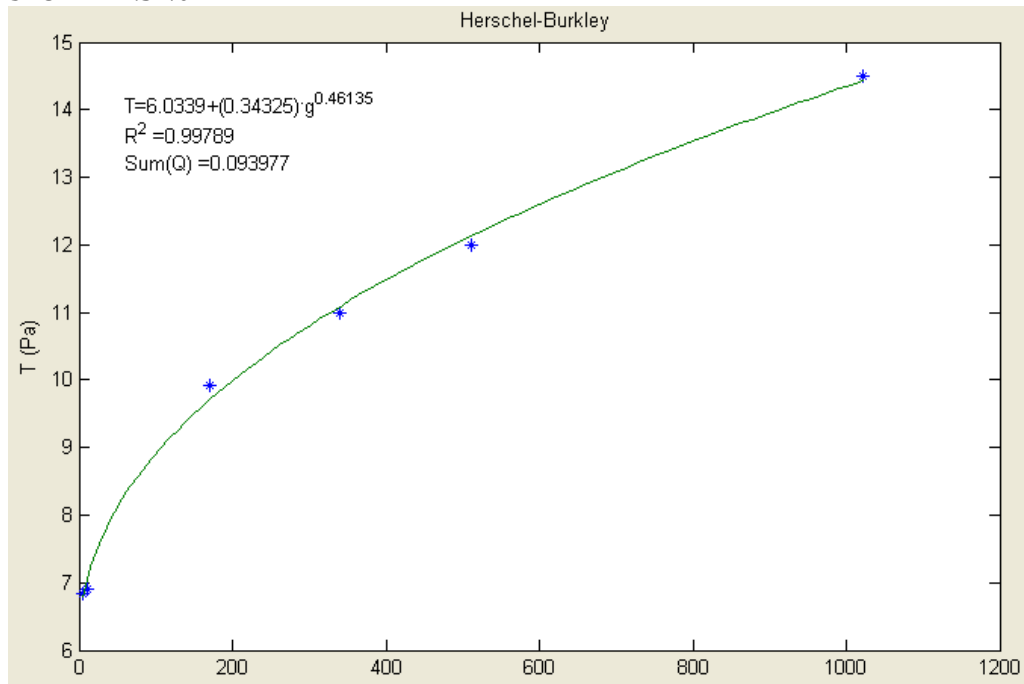
Σημείωση: Τα αποτελέσματα για συγκέντρωση κ.β > 4,5 % απορρίφθηκαν λόγω αρνητικών αριθμών που προέκυψαν από λανθασμένη χρήση αρχικών παραμέτρων. Οι τιμές που χρησιμοποιήσαμε δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT



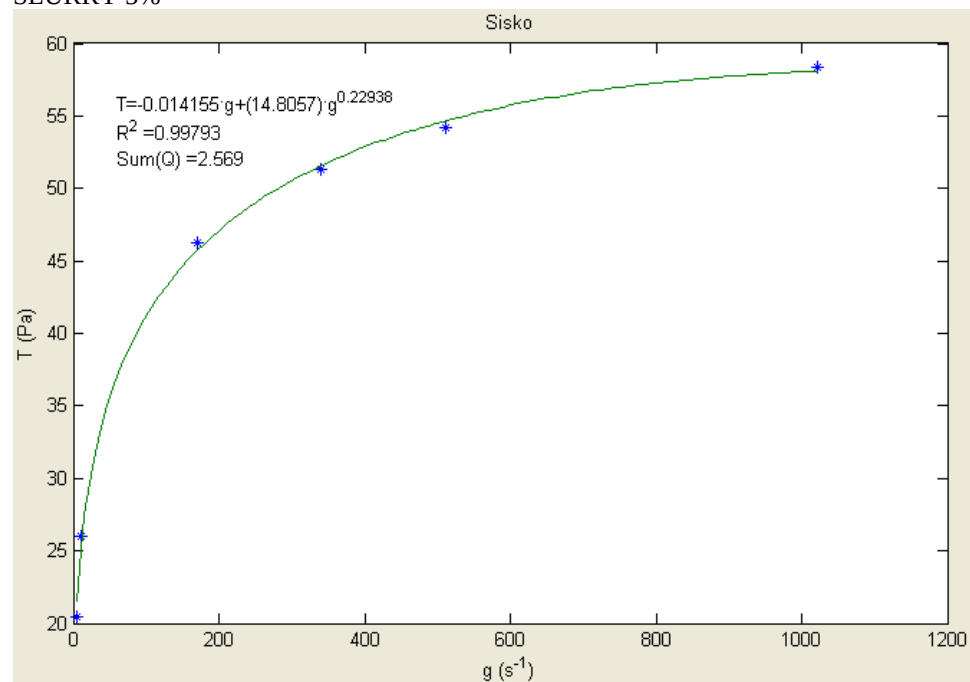
SLURRY 4 %



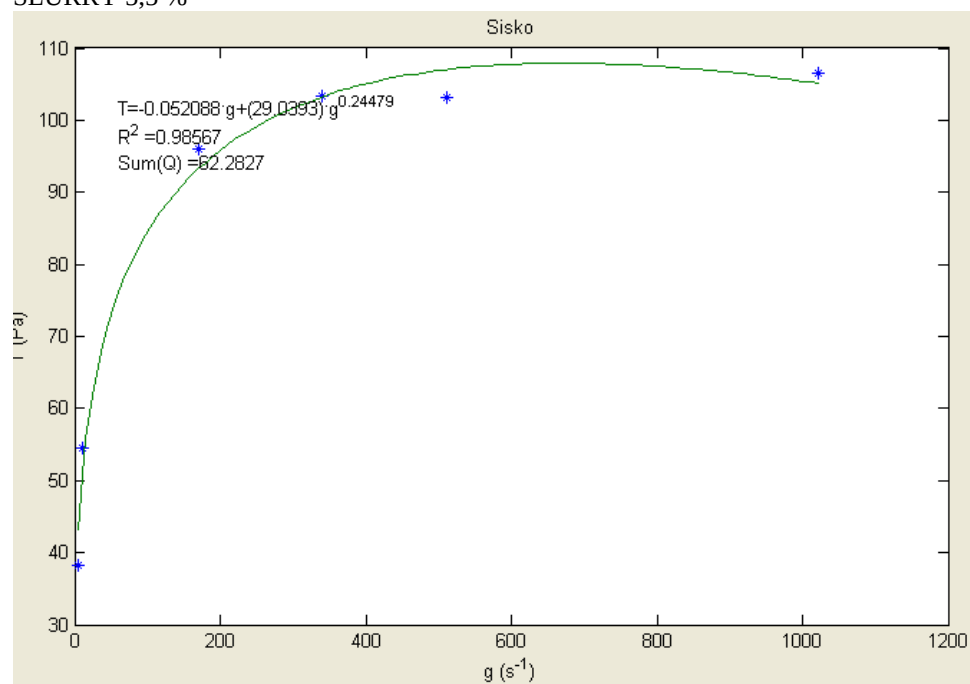
SLURRY 4.5 %



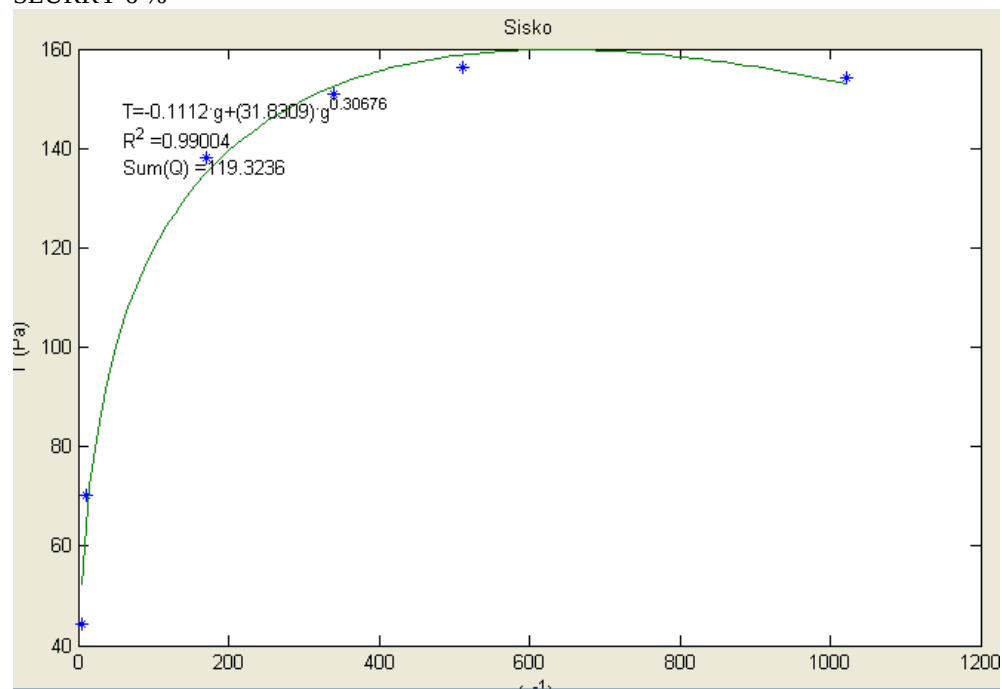
SLURRY 5%



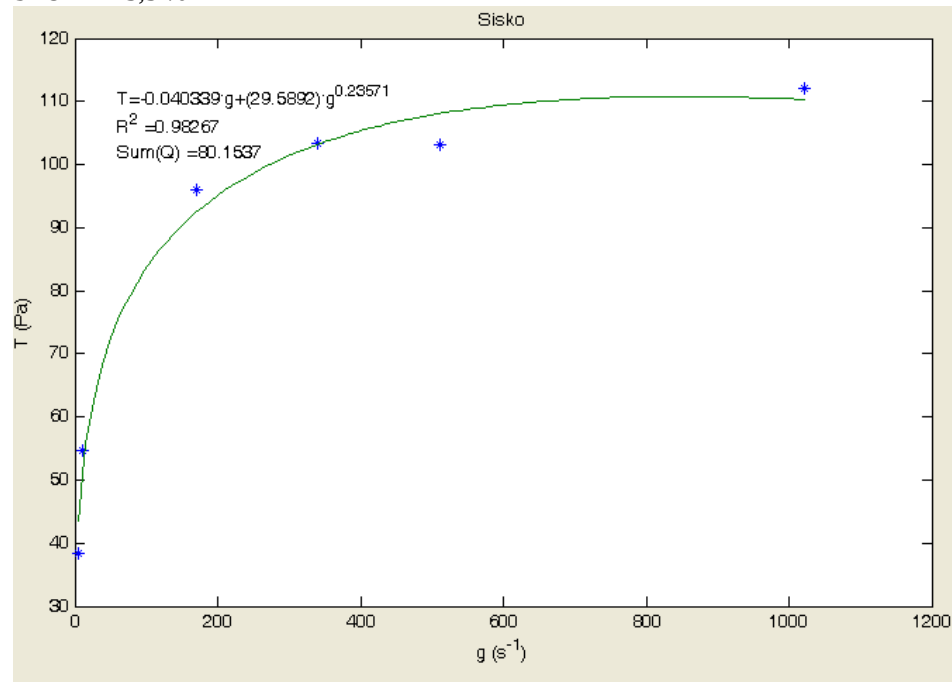
SLURRY 5,5 %



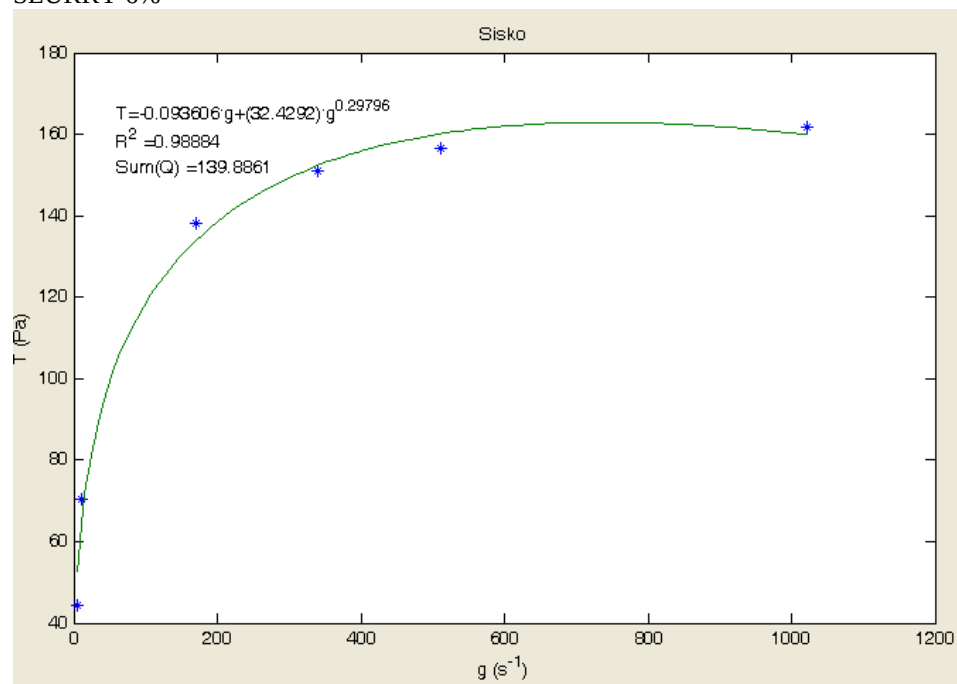
SLURRY 6 %



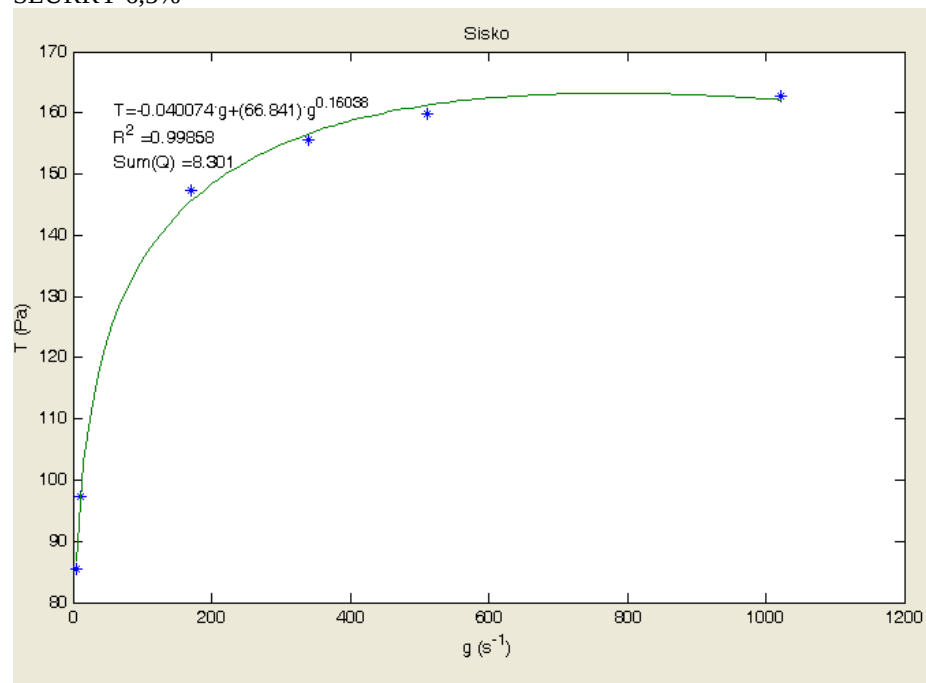
SLURRY 5,5 %



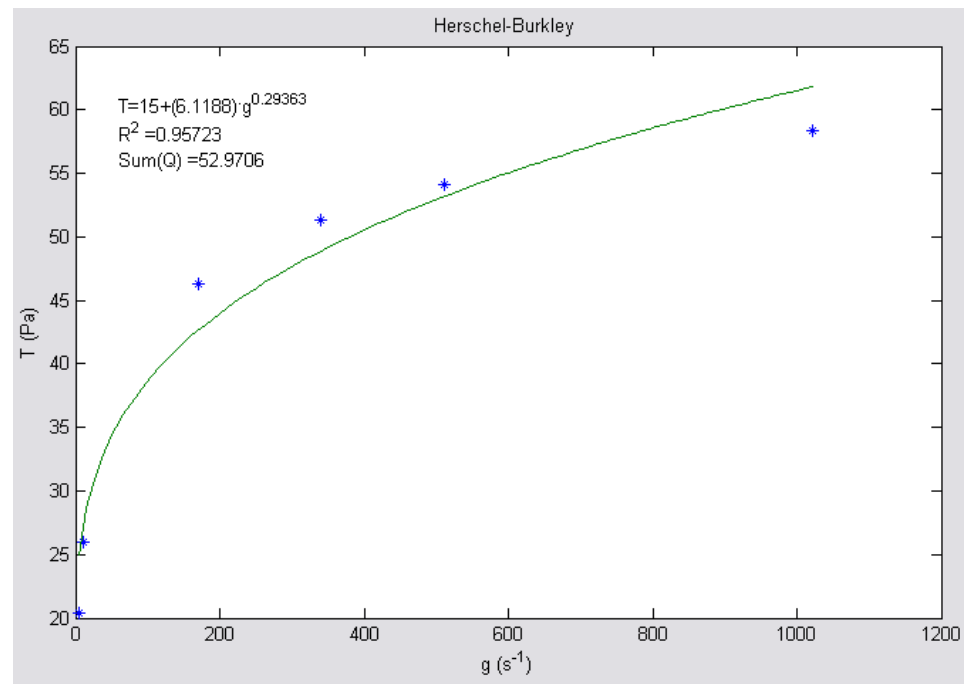
SLURRY 6%



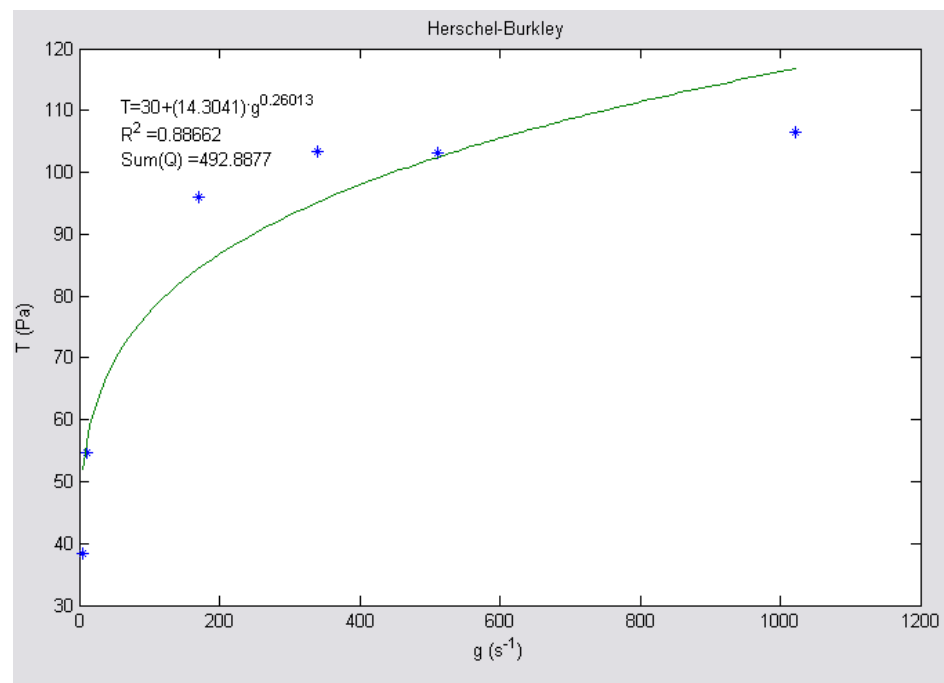
SLURRY 6,5%



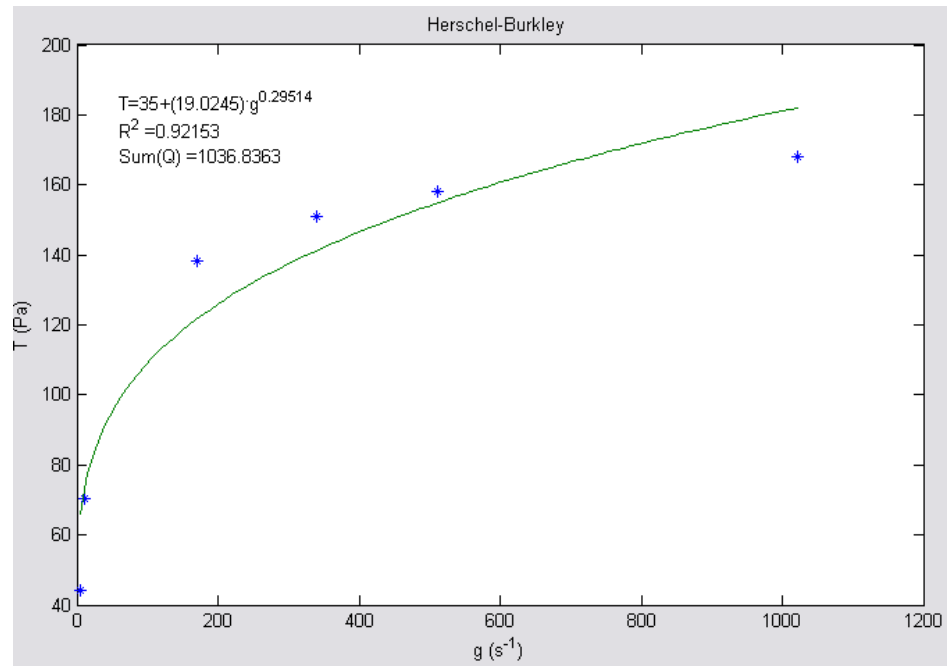
SLURRY 5 %



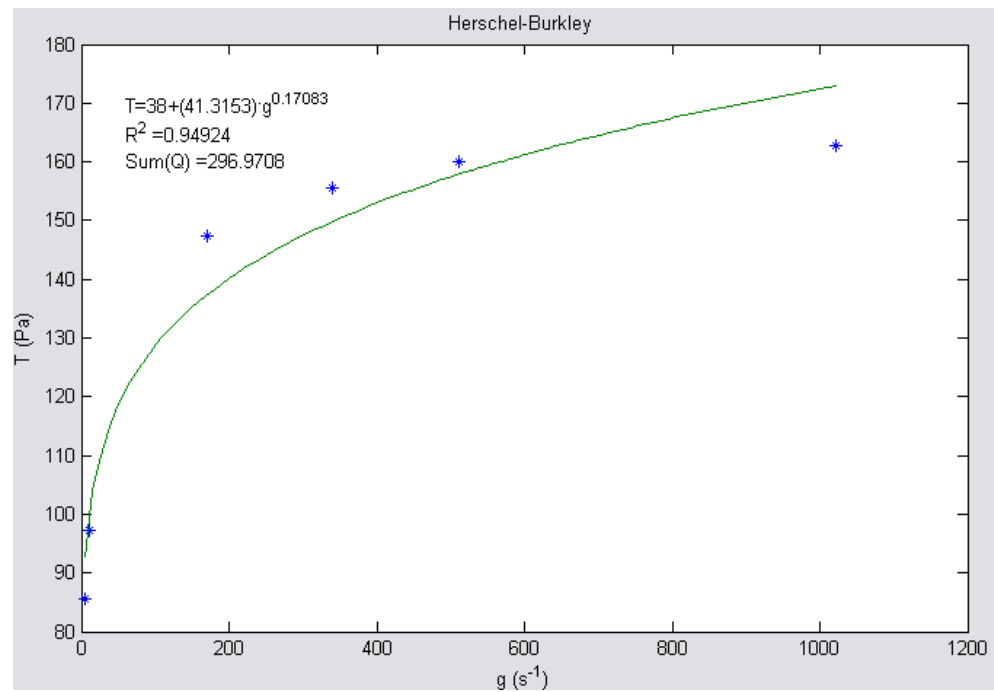
SLURRY 5,5 %



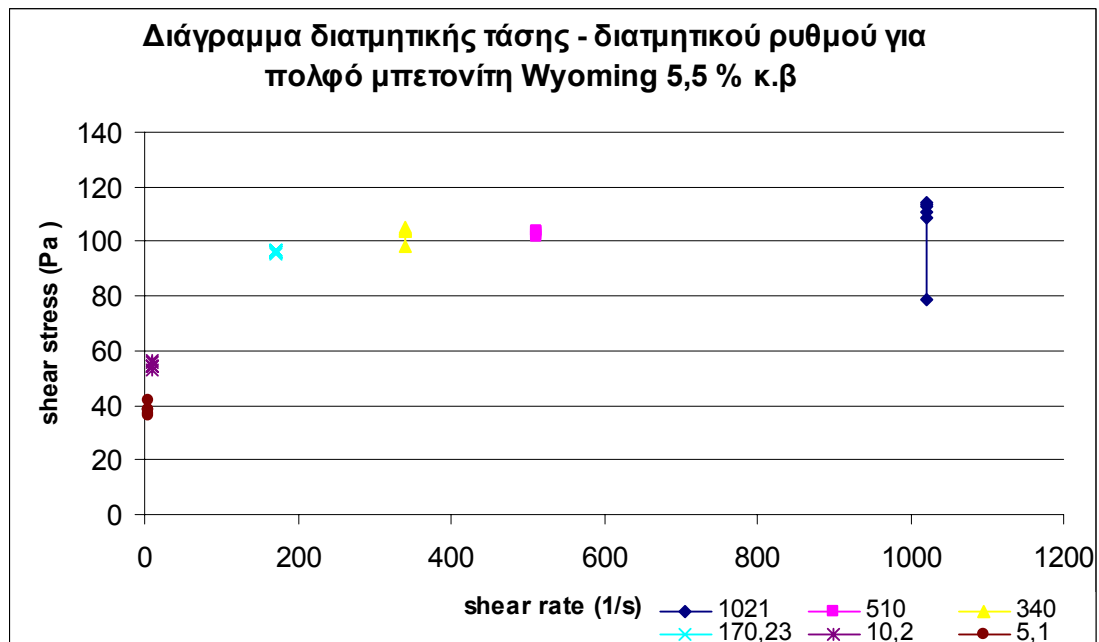
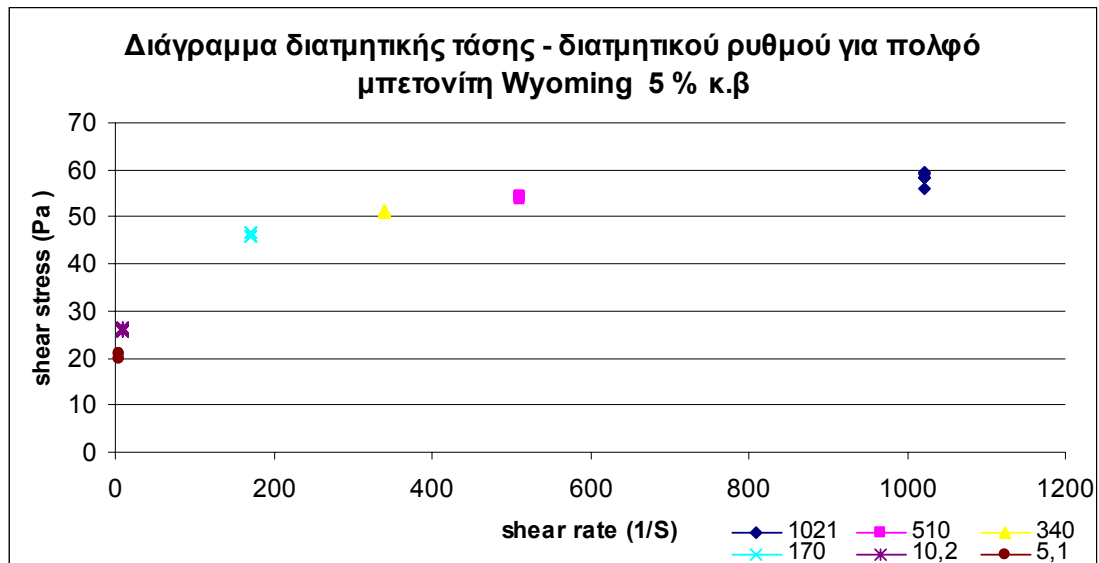
SLURRY 6 %

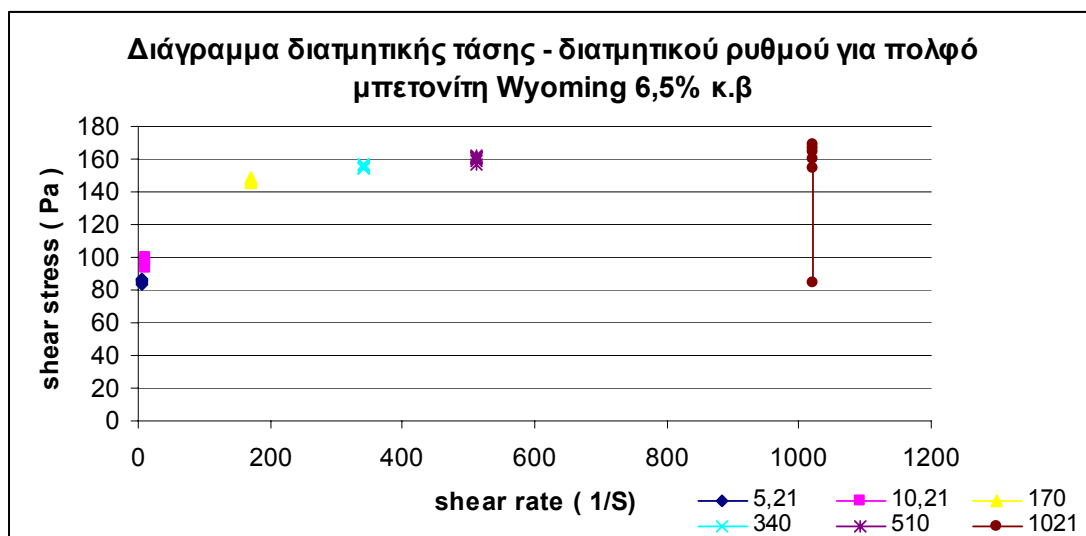
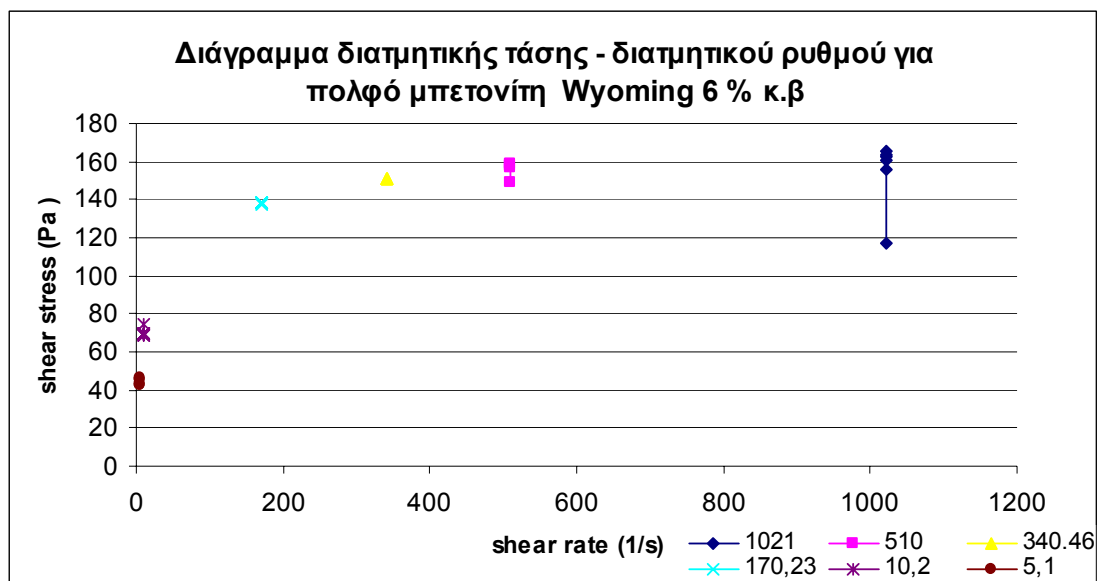


SLURRY 6,5 %



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ – ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΡΥΘΜΟΥ





**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π4.ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΠΟΛΦΟΥΣ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ
ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Zenith 6,42 %

Rolling 5 h

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	20.0
1021.4	20.5
1021.4	21.5
1021.4	22.0
1021.4	22.5
1021.4	22.5
510.7	18.5
510.7	19.0
510.7	19.0
510.7	19.0
510.7	19.0
510.7	19.0
510.7	19.5
340.5	17.5
340.5	17.5
340.5	17.5
340.5	17.5
340.5	17.5
340.5	18.0
170.2	15.5
170.2	15.5
170.2	15.5
170.2	15.5
170.2	15.5
170.2	15.5
10.2	11.0
10.2	12.0
10.2	11.5
10.2	12.5
10.2	11.5
10.2	12.0
10.2	12.0
5.1	14.5
5.1	13.0
5.1	13.5
5.1	13.5
5.1	13.0
5.1	13.0

Static 5 h

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	17.5
1021.4	20.0
1021.4	20.5
1021.4	21.0
1021.4	21.0
1021.4	21.5
510.7	18.0
510.7	18.0
510.7	18.5
510.7	18.0
510.7	18.5
510.7	18.5
340.5	17.0
340.5	17.0
340.5	17.0
340.5	17.0
340.5	17.0
340.5	17.0
170.2	15.0
170.2	15.5
170.2	15.5
170.2	15.0
170.2	15.5
170.2	15.5
10.2	11.0
10.2	11.0
10.2	11.5
10.2	11.5
10.2	12.0
10.2	12.0
5.1	13.0
5.1	12.5
5.1	12.5
5.1	12.5
5.1	14.0
5.1	13.5

Rolling 10 h

Static 10 h

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	17.0
1021.4	18.5
1021.4	19.0
1021.4	19.5
1021.4	20.0
1021.4	20.5
510.7	16.5
510.7	16.5
510.7	17.0
510.7	17.0
510.7	17.0
510.7	17.0
510.7	17.0
340.5	15.5
340.5	15.5
340.5	15.5
340.5	15.5
340.5	16.0
340.5	16.0
170.2	13.0
170.2	14.0
170.2	13.5
170.2	13.5
170.2	14.0
170.2	14.0
10.2	9.0
10.2	10.5
10.2	10.0
10.2	10.5
10.2	10.0
10.2	10.0
5.1	11.5
5.1	11.5
5.1	11.5
5.1	11.0
5.1	11.0
5.1	11.0

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	17.0
1021.4	19.0
1021.4	19.5
1021.4	19.5
1021.4	20.0
1021.4	20.5
510.7	16.5
510.7	17.0
510.7	17.0
510.7	17.0
510.7	17.5
510.7	17.5
340.5	15.5
340.5	16.0
340.5	16.0
340.5	16.0
340.5	16.0
340.5	16.0
170.2	14.0
170.2	14.0
170.2	14.0
170.2	14.0
170.2	14.5
170.2	14.5
10.2	10.0
10.2	10.5
10.2	10.5
10.2	10.5
10.2	10.5
10.2	10.5
5.1	13.0
5.1	12.5
5.1	11.5
5.1	11.5
5.1	11.5
5.1	11.5

Rolling 16 h

Static 16 h

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	19.0
1021.4	23.5
1021.4	24.5
1021.4	25.0
1021.4	25.5
1021.4	25.5
510.7	21.5
510.7	21.5
510.7	21.5
510.7	22.0
510.7	22.0
510.7	22.0
340.5	20.0
340.5	20.0
340.5	20.0
340.5	20.5
340.5	20.0
340.5	20.5
170.2	17.5
170.2	18.0
170.2	18.0
170.2	18.0
170.2	18.0
170.2	18.5
10.2	13.5
10.2	13.5
10.2	14.5
10.2	13.5
10.2	14.5
10.2	13.5
5.1	16.0
5.1	15.5
5.1	15.0
5.1	15.0
5.1	14.5
5.1	15.5

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	17.5
1021.4	23.0
1021.4	24.0
1021.4	24.5
1021.4	25.0
1021.4	25.0
510.7	21.0
510.7	21.0
510.7	21.0
510.7	21.5
510.7	21.5
510.7	21.5
340.5	19.5
340.5	19.5
340.5	19.5
340.5	20.0
340.5	20.0
340.5	20.0
170.2	17.5
170.2	18.0
170.2	18.0
170.2	18.0
170.2	18.0
170.2	18.0
10.2	13.5
10.2	14.0
10.2	14.0
10.2	14.5
10.2	13.5
10.2	14.5
5.1	16.0
5.1	15.0
5.1	14.5
5.1	15.0
5.1	15.5
5.1	15.0

Rolling 24 h		Static 24 h	
Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	20.0	1021.4	19.5
1021.4	21.5	1021.4	22.0
1021.4	22.0	1021.4	22.5
1021.4	23.0	1021.4	23.0
1021.4	23.0	1021.4	23.0
1021.4	23.5	1021.4	23.5
510.7	19.5	510.7	19.5
510.7	19.5	510.7	20.0
510.7	20.0	510.7	20.0
510.7	20.0	510.7	20.0
510.7	20.0	510.7	20.5
510.7	20.5	510.7	20.5
340.5	18.5	340.5	19.0
340.5	18.5	340.5	18.5
340.5	18.5	340.5	18.5
340.5	18.5	340.5	19.0
340.5	18.5	340.5	19.0
340.5	18.5	340.5	19.0
170.2	16.0	170.2	16.5
170.2	16.5	170.2	16.5
170.2	16.5	170.2	17.0
170.2	16.5	170.2	17.0
170.2	16.5	170.2	17.5
170.2	16.5	170.2	17.0
10.2	11.5	10.2	12.5
10.2	12.5	10.2	13.0
10.2	12.0	10.2	13.0
10.2	12.0	10.2	13.0
10.2	11.5	10.2	13.5
10.2	12.0	10.2	12.5
5.1	14.5	5.1	15.0
5.1	13.5	5.1	14.5
5.1	13.5	5.1	14.5
5.1	13.0	5.1	14.0
5.1	13.0	5.1	15.0
5.1	13.5	5.1	14.5

Wyoming bentonite 6,42 %

Rolling 5 h

Static 5 h

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	52.0
1021.4	80.0
1021.4	80.0
1021.4	80.0
1021.4	80.0
1021.4	80.0
510.7	67.0
510.7	67.5
510.7	68.0
510.7	68.0
510.7	68.5
510.7	68.5
340.5	62.5
340.5	63.0
340.5	63.0
340.5	63.0
340.5	63.5
340.5	63.5
170.2	55.5
170.2	56.0
170.2	56.0
170.2	56.0
170.2	56.0
170.2	56.5
10.2	41.5
10.2	42.0
10.2	44.0
10.2	43.5
10.2	44.5
10.2	44.0
5.1	44.0
5.1	44.0
5.1	44.5
5.1	44.5
5.1	45.0
5.1	46.0

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	56.0
1021.4	78.0
1021.4	77.5
1021.4	77.0
1021.4	77.5
1021.4	77.0
510.7	63.0
510.7	63.5
510.7	63.5
510.7	63.5
510.7	64.0
510.7	64.0
340.5	58.0
340.5	58.0
340.5	58.5
340.5	58.5
340.5	58.5
340.5	58.5
170.2	50.5
170.2	51.0
170.2	51.0
170.2	51.0
170.2	51.0
170.2	51.5
10.2	34.5
10.2	37.5
10.2	37.5
10.2	38.5
10.2	38.5
10.2	38.5
5.1	40.0
5.1	39.0
5.1	40.0
5.1	39.0
5.1	39.0
5.1	39.0

Rolling 10 h

Static 10 h

Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)
1021.4	48.5	1021.4	57.5
1021.4	69.0	1021.4	69.0
1021.4	69.0	1021.4	69.0
1021.4	69.0	1021.4	69.0
1021.4	69.5	1021.4	69.0
1021.4	69.5	1021.4	69.0
510.7	57.0	510.7	56.5
510.7	57.5	510.7	57.0
510.7	58.0	510.7	57.5
510.7	58.0	510.7	57.5
510.7	58.5	510.7	57.5
510.7	58.5	510.7	57.5
340.5	52.5	340.5	52.5
340.5	53.0	340.5	52.5
340.5	53.0	340.5	52.5
340.5	53.0	340.5	52.5
340.5	53.5	340.5	53.0
340.5	53.5	340.5	52.5
170.2	46.0	170.2	45.5
170.2	46.0	170.2	46.0
170.2	46.0	170.2	46.0
170.2	46.5	170.2	46.5
170.2	46.5	170.2	46.5
170.2	46.5	170.2	46.0
10.2	30.5	10.2	32.0
10.2	32.5	10.2	34.0
10.2	33.0	10.2	33.5
10.2	33.5	10.2	35.0
10.2	33.0	10.2	35.0
10.2	35.0	10.2	36.0
5.1	35.5	5.1	36.5
5.1	35.5	5.1	36.5
5.1	36.0	5.1	36.5
5.1	35.5	5.1	36.5
5.1	37.0	5.1	37.5
5.1	37.0	5.1	37.5

Rolling 16 h

Static 16 h

Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	62.5	1021.4	52.5
1021.4	69.5	1021.4	70.0
1021.4	68.5	1021.4	69.0
1021.4	68.5	1021.4	69.0
1021.4	69.0	1021.4	69.0
1021.4	69.0	1021.4	69.0
510.7	57.0	510.7	56.5
510.7	57.5	510.7	57.5
510.7	57.5	510.7	57.5
510.7	57.5	510.7	58.0
510.7	57.5	510.7	58.0
510.7	57.5	510.7	57.5
340.5	52.0	340.5	52.5
340.5	52.0	340.5	53.0
340.5	52.0	340.5	53.0
340.5	52.0	340.5	53.0
340.5	52.0	340.5	53.0
340.5	52.5	340.5	53.0
170.2	44.5	170.2	46.0
170.2	44.5	170.2	46.0
170.2	45.0	170.2	46.0
170.2	45.0	170.2	46.5
170.2	45.0	170.2	46.5
170.2	45.0	170.2	46.5
10.2	30.0	10.2	32.5
10.2	31.5	10.2	34.0
10.2	31.0	10.2	33.0
10.2	32.0	10.2	34.5
10.2	31.5	10.2	34.0
10.2	32.0	10.2	34.5
5.1	32.5	5.1	35.5
5.1	32.0	5.1	35.5
5.1	32.0	5.1	35.0
5.1	32.0	5.1	35.0
5.1	32.5	5.1	35.0
5.1	33.0	5.1	34.5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT

WYOMING BENTONITE 6.42 %

ROLLING 5 HOURS

$C_{golden_section} = 33.9026$

$square_r_final = 0.9651$

$B_{golden_section} = 0.2777$

$A_{golden_section} = 5.7854$

$sse_r_final = 14.6156$

$square_r_power2 = 0.9923$

$sse_r_power2 = 6.3044$

$A_power2 = 2.1748$

$B_power2 = 0.4086$

$C_power2 = 39.0642$

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

$A = 2.1748$

$B = 0.4086$

$C = 39.0642$

STATIC 1(5 HOURS)

$C_{golden_section} = 28.3474$

$square_r_final = 0.9569$

$B_{golden_section} = 0.2900$

$A_{golden_section} = 5.6266$

$sse_r_final = 26.1419$

$square_r_power2 = 0.9946$

$sse_r_power2 = 5.3927$

$A_power2 = 1.3940$

$B_power2 = 0.4823$

$C_power2 = 34.8080$

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

$A = 1.3940$

$B = 0.4823$

$C = 34.8080$

ROLLING 10 HOURS

$C_{golden_section} = 15.5579$

$square_r_final = 0.9335$

$B_{golden_section} = 0.1848$

$A_{golden_section} = 13.0168$

$sse_r_final = 37.3312$

$square_r_power2 = 0.9857$

$sse_r_power2 = 11.5962$

$A_power2 = 1.7188$

$B_power2 = 0.4386$

$C_power2 = 30.4653$

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

$A = 1.7188$

$B = 0.4386$

$C = 30.4653$

STATIC 2 (10 HOURS)

$C_{golden_section} = 24.0168$

$square_r_final = 0.9327$

$B_{golden_section} = 0.2475$

$A_{golden_section} = 6.9558$

$sse_r_final = 38.5497$

$square_r_power2 = 0.9916$

$sse_r_power2 = 6.5837$

$A_power2 = 0.8763$

$B_power2 = 0.5293$

$C_power2 = 33.0807$

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
 $\tau = A \cdot \gamma^B + C$

$A = 0.8763$

$B = 0.5293$

$C = 33.0807$

ROLLING 16 HOURS

_C Golden_section =33.7108

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

> In fit>handlewarn at 715

In fit at 217

In Herschel_Bulkley at 107

square_r_final =0.9982

B_golden_section =0.5986

A_golden_section =0.5479

sse_r_final =30.6547

square_r_power2 = 0.9970

sse_r_power2 =3.1018

A_power2 =1.5134

B_power2 =0.4732

C_power2 =27.9655

Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

A =0.5479

B =0.5986

C =3.7108

STATIC 3 (16HOURS)

C_golden_section =36.4623

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

> In fit>handlewarn at 715

In fit at 217

In Herschel_Bulkley at 107

square_r_final =0.9922

B_golden_section =0.5576

A_golden_section =0.625

sse_r_final =35.7199

square_r_power2 = 0.9953

sse_r_power2 =3.8691

A_power2 =1.5616

B_power2 =0.4535

C_power2 =30.5939

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

$\tau = A \cdot \gamma^B + C$

A =1.5616

B =0.4535

C =30.5939

ZENITH BENTONITE 6.42%

ROLLING 5 HOURS

```
C_golden_section = 3.0310
square_r_final = 0.8705
B_golden_section = 0.1193
A_golden_section = 7.4396
sse_r_final = 6.9815
square_r_power2 = 0.9682
sse_r_power2 = 2.0785
A_power2 = 0.2607
B_power2 = 0.5237
C_power2 = 11.8697
Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section
tau = A*gamma^B+C
A = 0.2607
B = 0.5237
C = 11.8697
```

STATIC 1(5 HOURS)

```
C_golden_section = 12.3687
Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.
> In fit>handlewarn at 715
In fit at 217
In Herschel_Bulkley at 107
square_r_final = 0.9972
B_golden_section = 0.4773
A_golden_section = 0.2842
sse_r_final = 3.2167
square_r_power2 = 0.9673
sse_r_power2 = 1.7585
A_power2 = 0.4178
B_power2 = 0.4453
C_power2 = 11.2875
Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters
tau = A*gamma^B+C
A = 0.2842
B = 0.4773
C = 12.3687
```

ROLLING 10 HOURS

```
C_golden_section =10.7364
Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.
> In fit>handlewarn at 715
  In fit at 217
    In Herschel_Bulkley at 107
square_r_final = 0.9977
B_golden_section = 0.5305
A_golden_section =0.2132
sse_r_final =2.3894
square_r_power2 = 0.9767
sse_r_power2 =1.3821
A_power2 = 0.3861
B_power2 = 0.4633
C_power2 =9.6844
Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters
tau =A*gamma^B+C
A = 0.2132
B =0.5305
C =10.7364
```

STATIC 2(10 HOURS)

```
C_golden_section =11.2840
Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.
> In fit>handlewarn at 715
  In fit at 217
    In Herschel_Bulkley at 107
square_r_final =0.9962
B_golden_section =0.4767
A_golden_section =0.2834
sse_r_final =3.2740
square_r_power2 =0.9685
sse_r_power2 = 1.7069
A_power2 = 0.3609
B_power2 =0.4658
C_power2 =10.3016
Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters
tau =A*gamma^B+C
A = 0.2834
B =0.4767
C =11.2840
```

ROLLING 16 HOURS

C_golden_section =4.7325

square_r_final =0.9068

B_golden_section =0.1248

A_golden_section =7.5921

sse_r_final =5.3468

square_r_power2 =0.9730

sse_r_power2 =1.9895

A_power2 =0.5274

B_power2 =0.4356

C_power2 =13.3186

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

*tau =A*gamma^B+C*

A =0.5274

B =0.4356

C =13.3186

STATIC 3(16 HOURS)

C_golden_section =6.4415

square_r_final = 0.9187

B_golden_section = 0.1355

A_golden_section =6.1749

sse_r_final =3.8369

square_r_power2 =0.9774

sse_r_power2 =1.4153

A_power2 =0.5396

B_power2 =0.4217

C_power2 =13.3677

Automatic method for parameters evaluation gives better results than Golden section

*tau =A*gamma^B+C*

A =0.5396

B =0.4217

C =13.3677

ROLLING 24 HOURS

C_golden_section =12.8440

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

> In fit>handlewarn at 715

In fit at 217

In Herschel_Bulkley at 10

square_r_final =0.9984

B_golden_section = 0.5069

A_golden_section = 0.2846

sse_r_final =3.7149

square_r_power2 =0.9713

sse_r_power2 =2.1766

A_power2 = 0.5923

B_power2 = 0.4217

C_power2 =11.3913

Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters

*tau =A*gamma^B+C*

A =0.2846

B =0.5069

C =12.8440

STATIC 4(24 HOURS)

C_golden_section =13.8760

Warning: Complex YDATA detected. Will use real components only.

> In fit>handlewarn at 715

In fit at 217

In Herschel_Bulkley at 107

square_r_final =0.9948

B_golden_section =0.4659

A_golden_section =0.3214

sse_r_final =4.0615

square_r_power2 =0.9648

sse_r_power2 =2.1403

A_power2 =0.4111

B_power2 = 0.4557

C_power2 =12.7819

Golden section gives better results than Automatic method for evaluating parameters

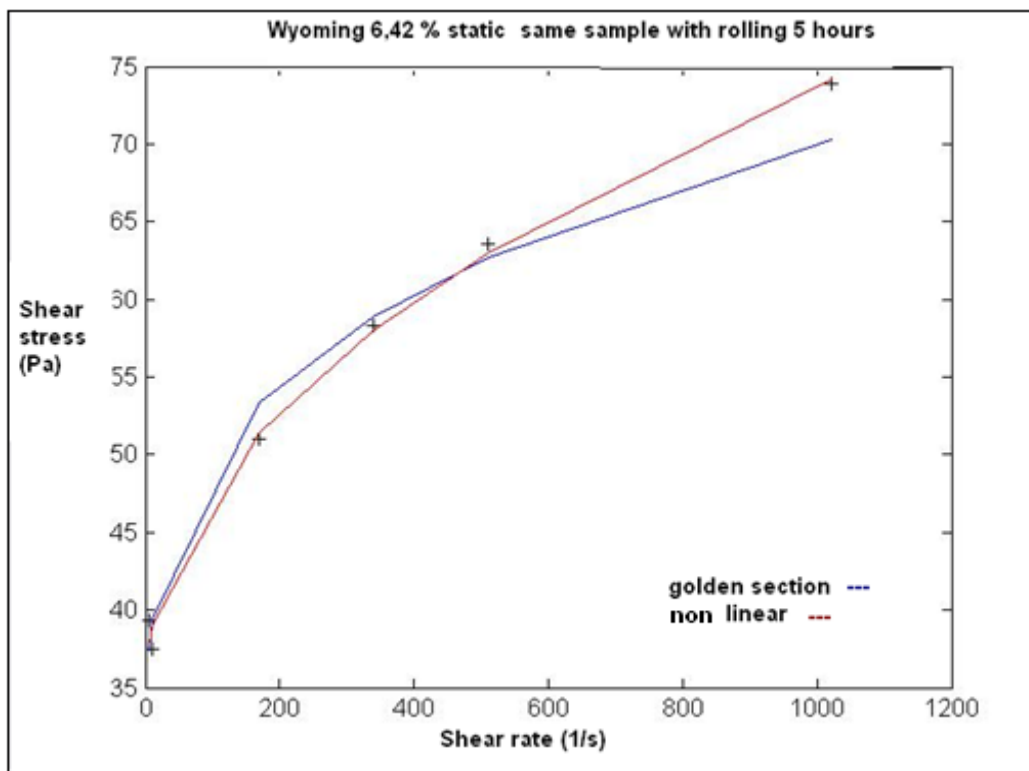
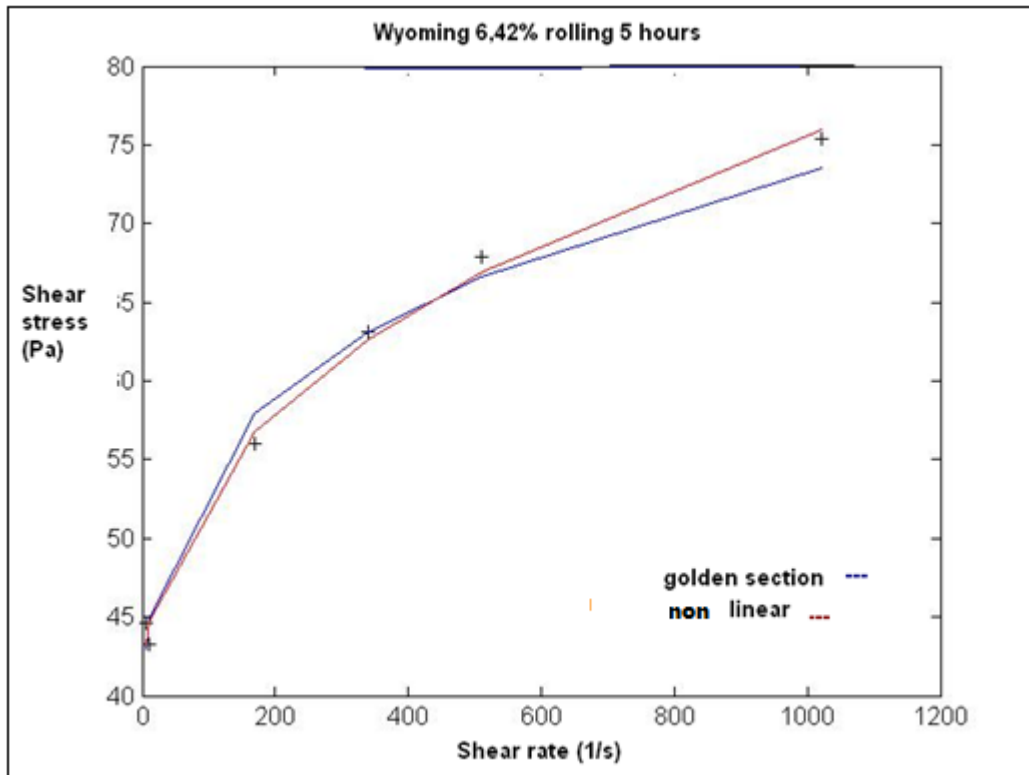
*tau =A*gamma^B+C*

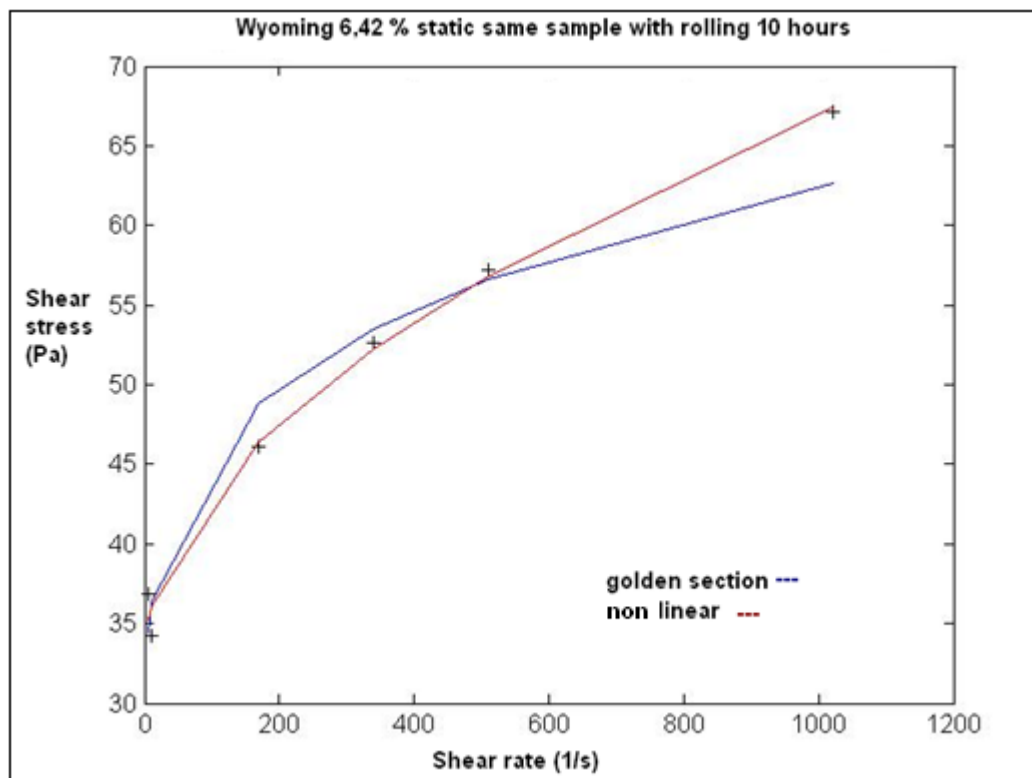
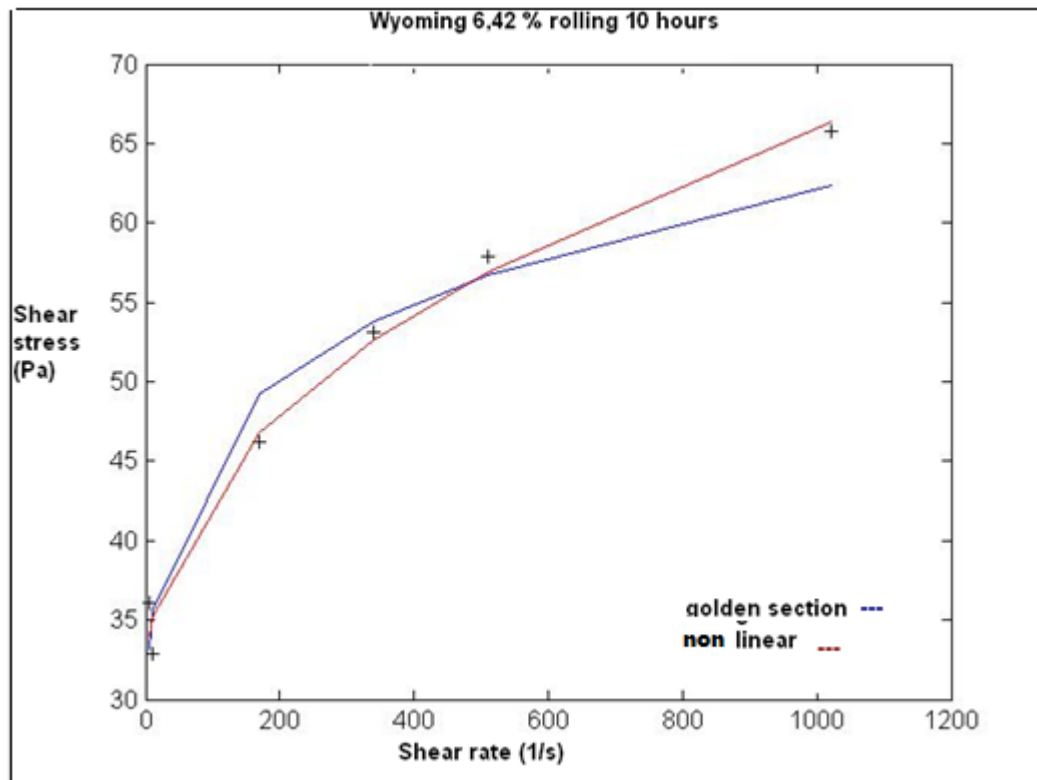
A =0.3214

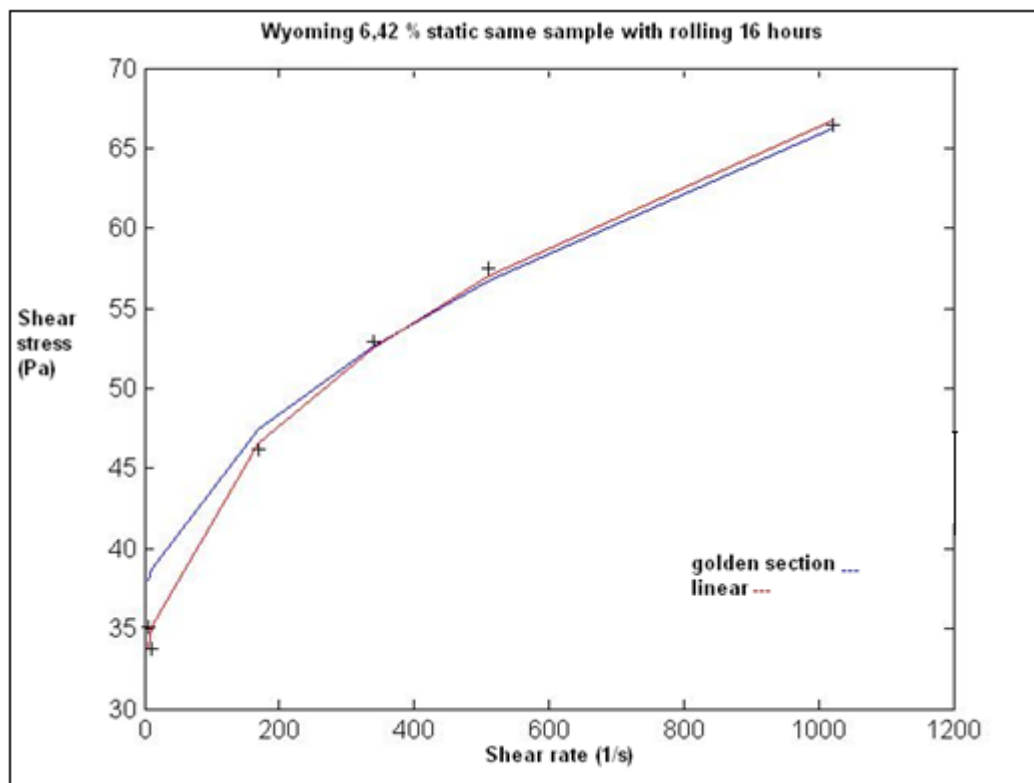
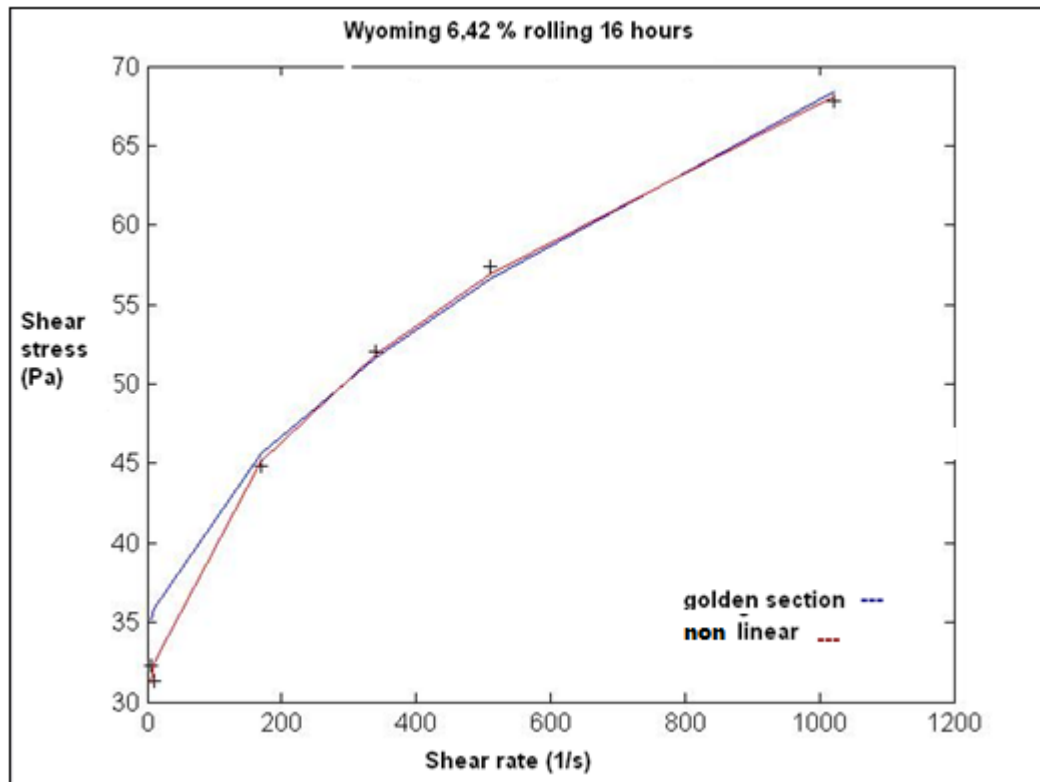
B =0.4659

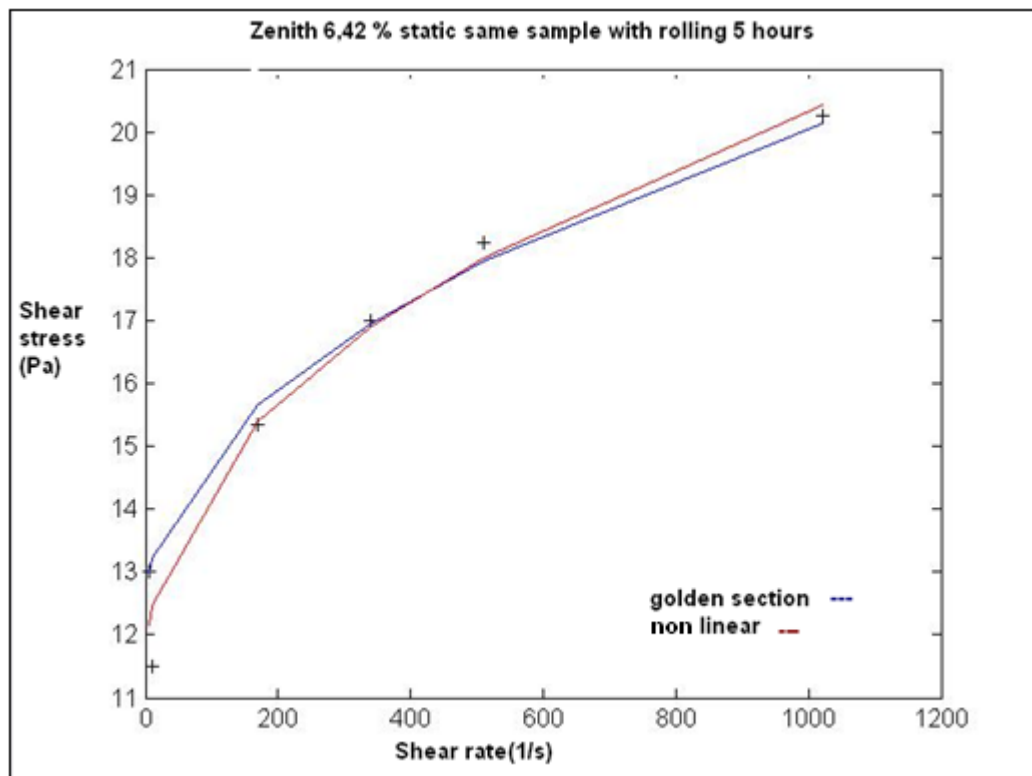
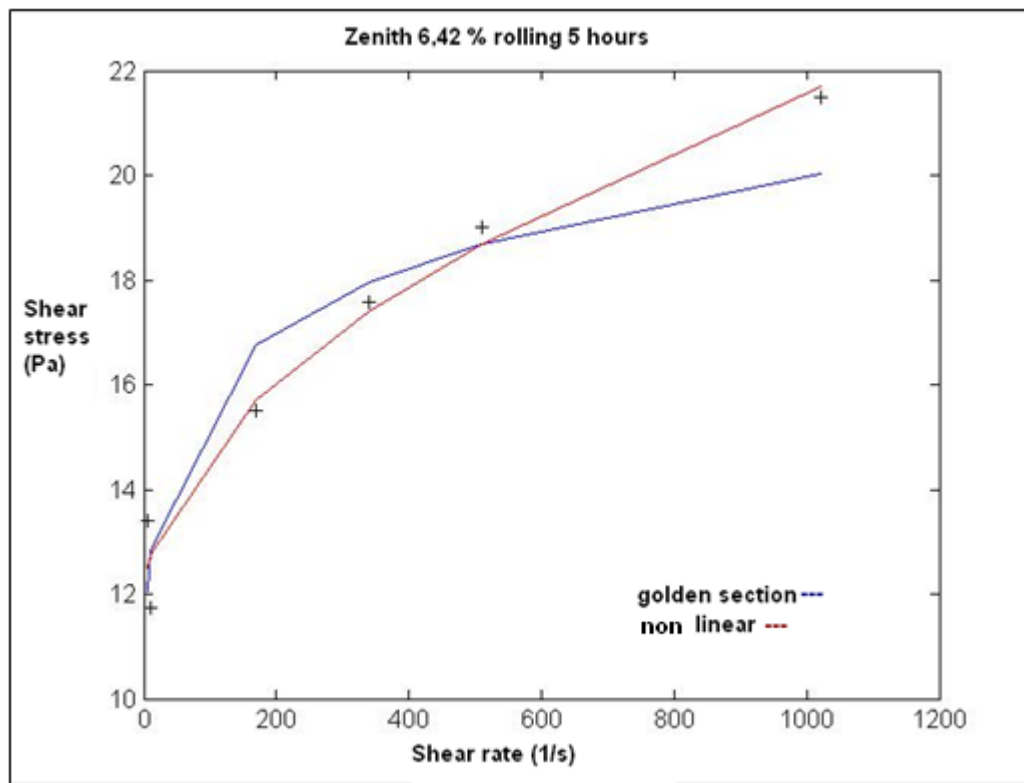
C =13.8760

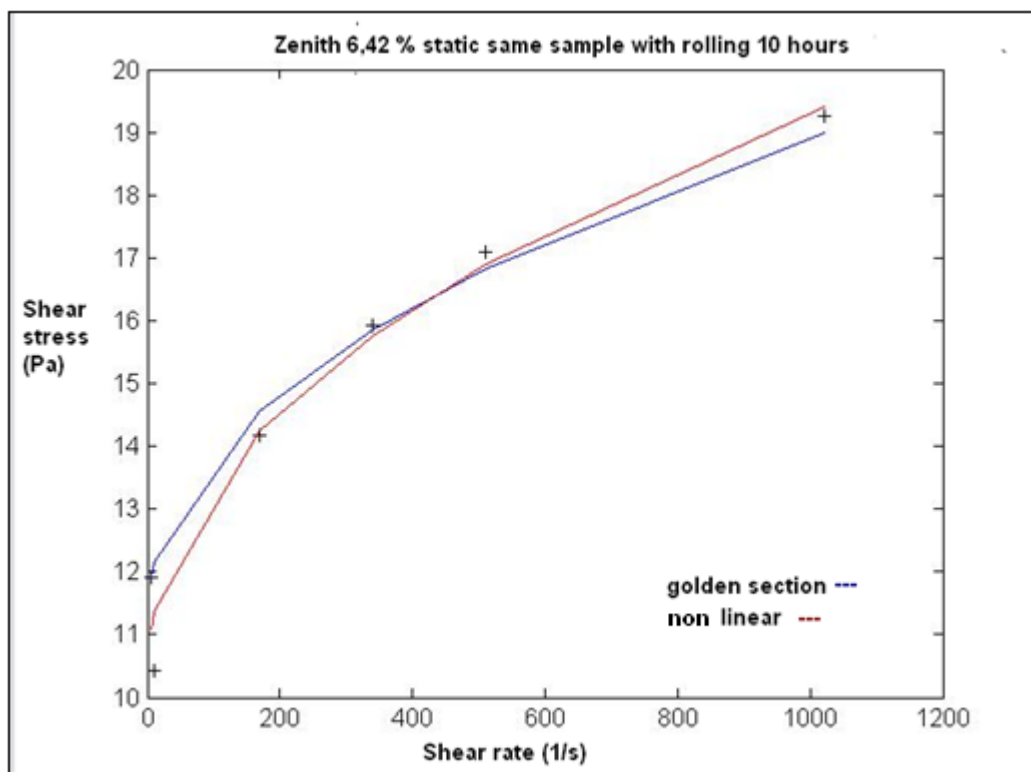
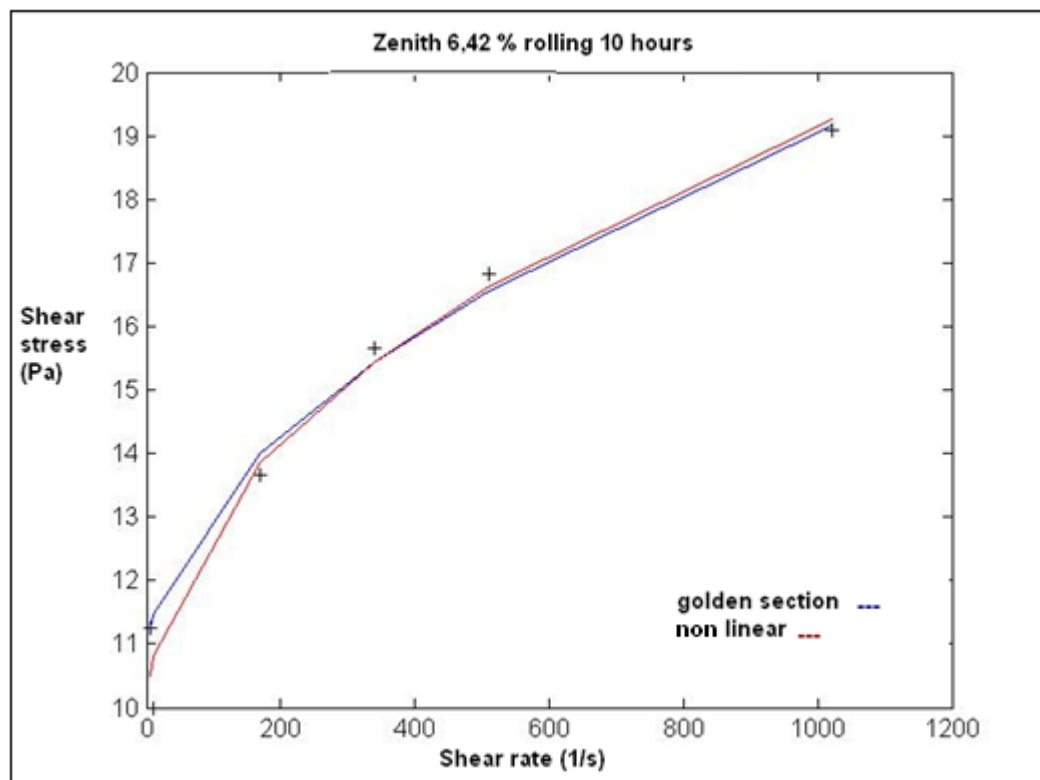
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT

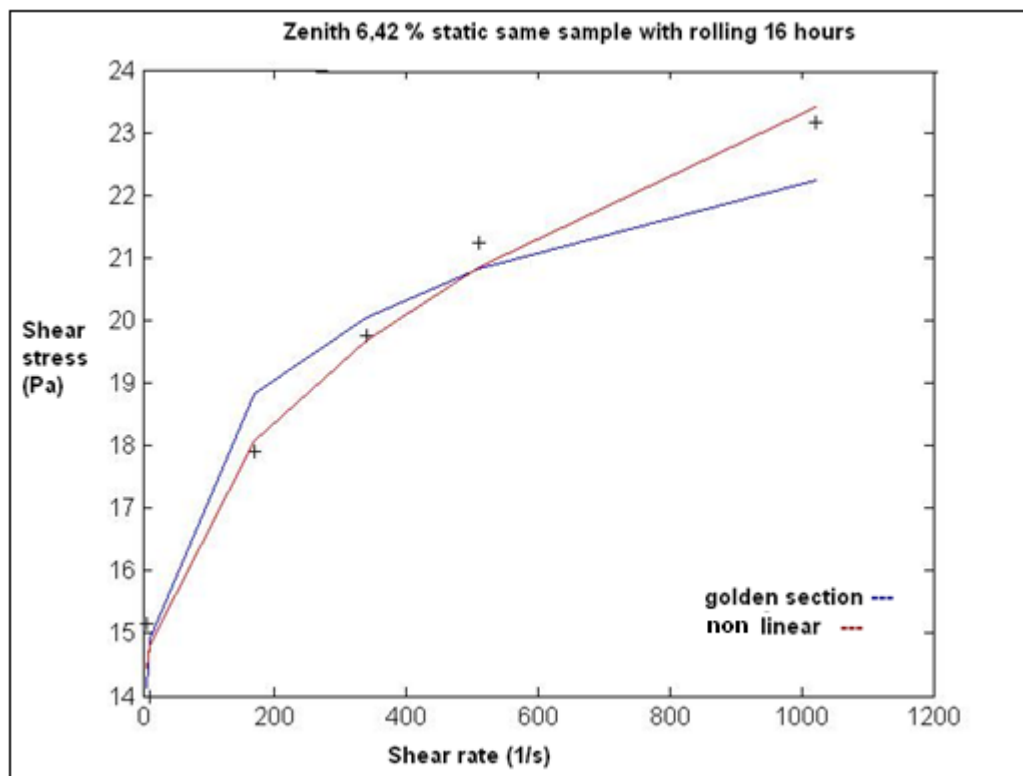
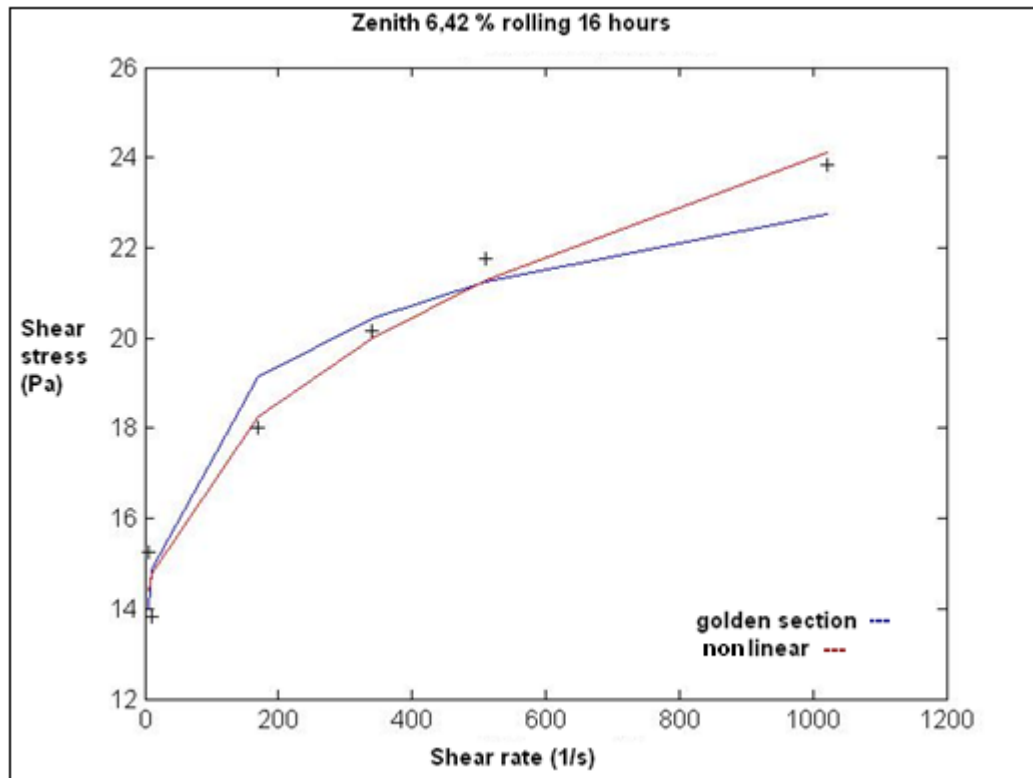


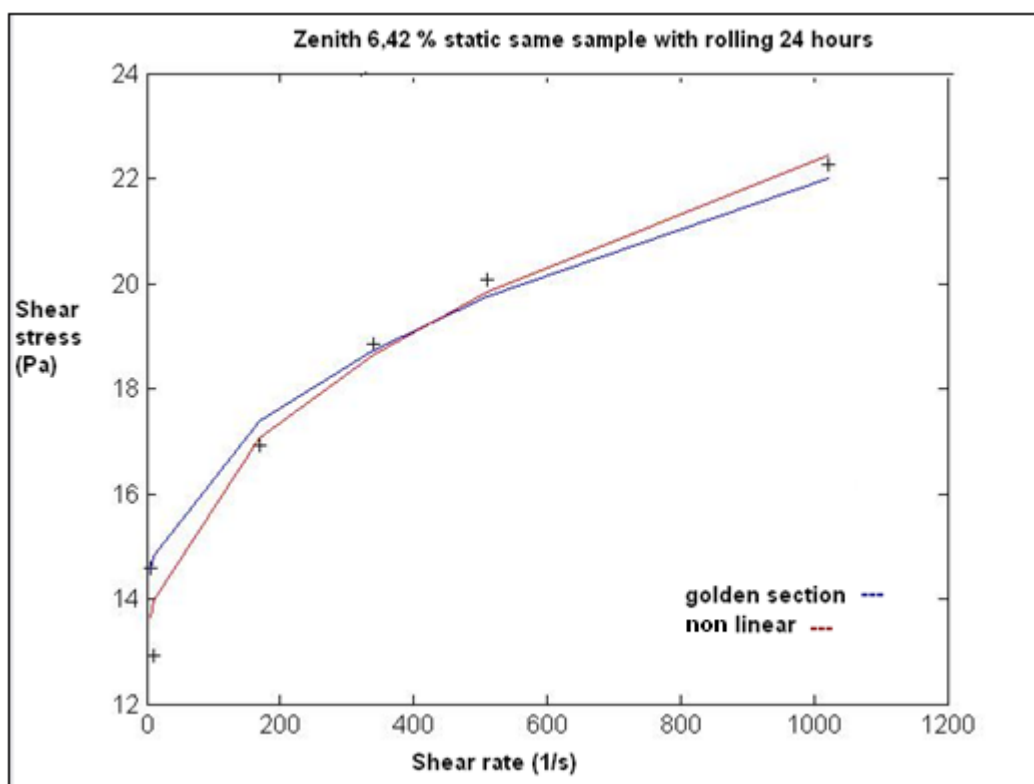
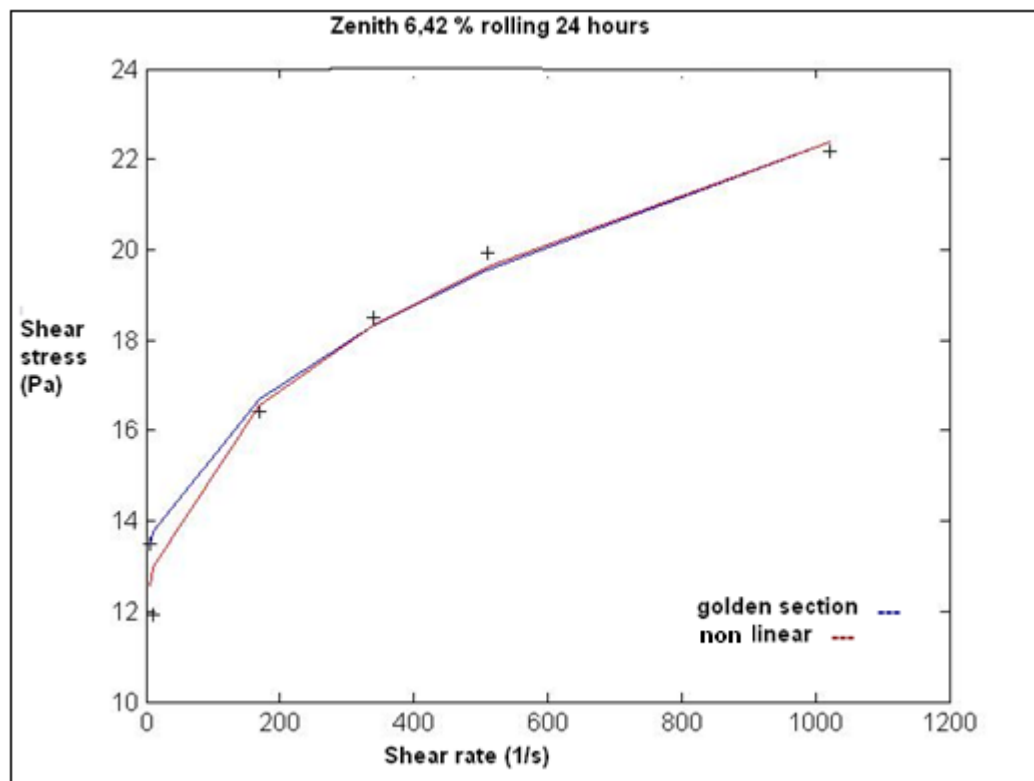












ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΡΟΤΟΡΩΝ ΣΤΟ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟ

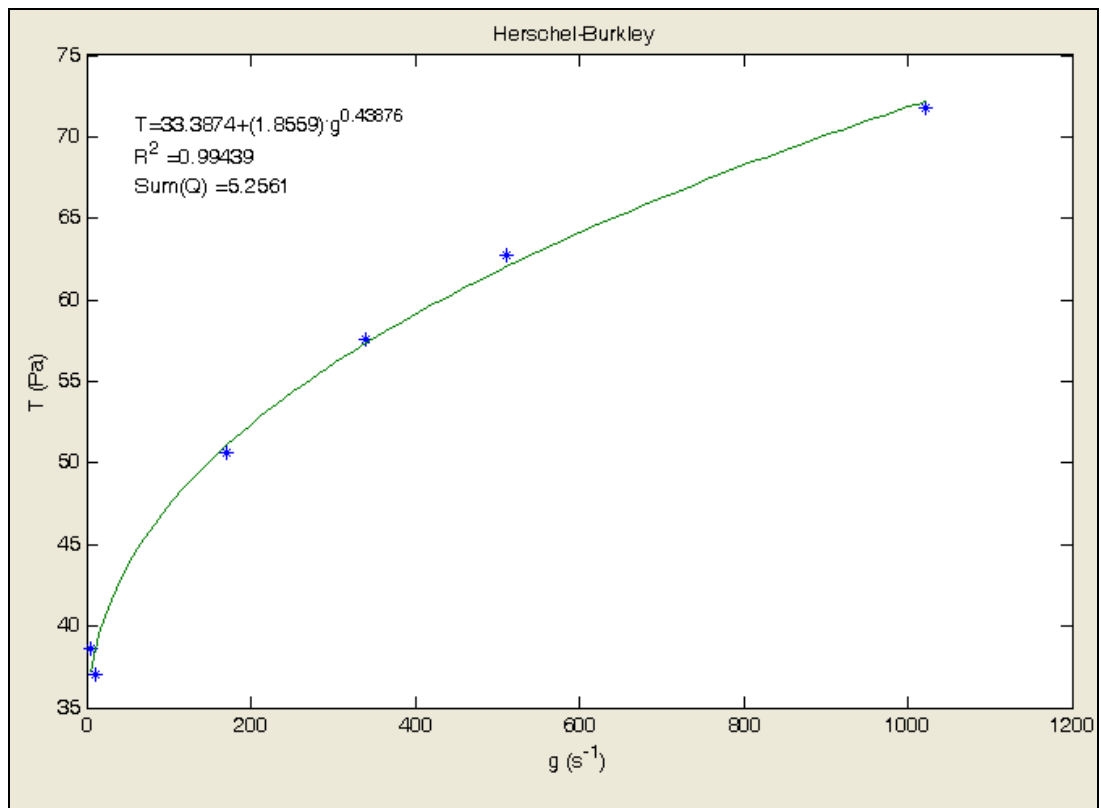
Αρχικές μετρήσεις ιξωδομέτρου (μέτρηση σε τρία ίδια δείγματα)

Bob1		Bob5		Bob2	
Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	59.0	510.2	71.0	226.2	64.0
1021.4	66.0	510.2	63.0	226.2	60.0
1021.4	66.0	510.2	61.0	226.2	60.0
1021.4	66.0	510.2	61.0	226.2	60.0
1021.4	66.0	510.2	61.0	226.2	60.0
1021.4	66.0	510.2	61.0	226.2	60.0
510.7	52.0	255.1	56.0	113.1	52.0
510.7	53.0	255.1	56.0	113.1	52.0
510.7	53.0	255.1	56.0	113.1	52.0
510.7	54.0	255.1	57.0	113.1	52.0
510.7	54.0	255.1	57.0	113.1	53.0
510.7	54.0	255.1	57.0	113.1	53.0
340.5	48.0	170.1	54.0	75.4	49.0
340.5	48.5	170.1	54.0	75.4	49.0
340.5	48.5	170.1	54.0	75.4	49.0
340.5	48.5	170.1	55.0	75.4	49.0
340.5	48.5	170.1	54.0	75.4	49.0
340.5	49.0	170.1	54.0	75.4	49.0
170.2	41.0	85.0	48.0	37.7	44.0
170.2	41.0	85.0	49.0	37.7	44.0
170.2	41.0	85.0	49.0	37.7	45.0
170.2	41.5	85.0	49.0	37.7	44.0
170.2	41.5	85.0	50.0	37.7	45.0
170.2	41.0	85.0	50.0	37.7	45.0
10.2	26.5	5.1	34.0	2.3	31.0
10.2	27.0	5.1	36.0	2.3	32.0
10.2	28.0	5.1	37.0	2.3	33.0
10.2	28.5	5.1	36.0	2.3	33.0
10.2	28.5	5.1	37.0	2.3	34.0
10.2	28.5	5.1	37.0	2.3	34.0
5.1	29.0	2.6	39.0	1.1	35.0
5.1	28.5	2.6	38.0	1.1	34.0
5.1	30.0	2.6	39.0	1.1	35.0
5.1	29.5	2.6	39.0	1.1	35.0
5.1	29.0	2.6	40.0	1.1	35.0
5.1	28.5	2.6	40.0	1.1	35.0

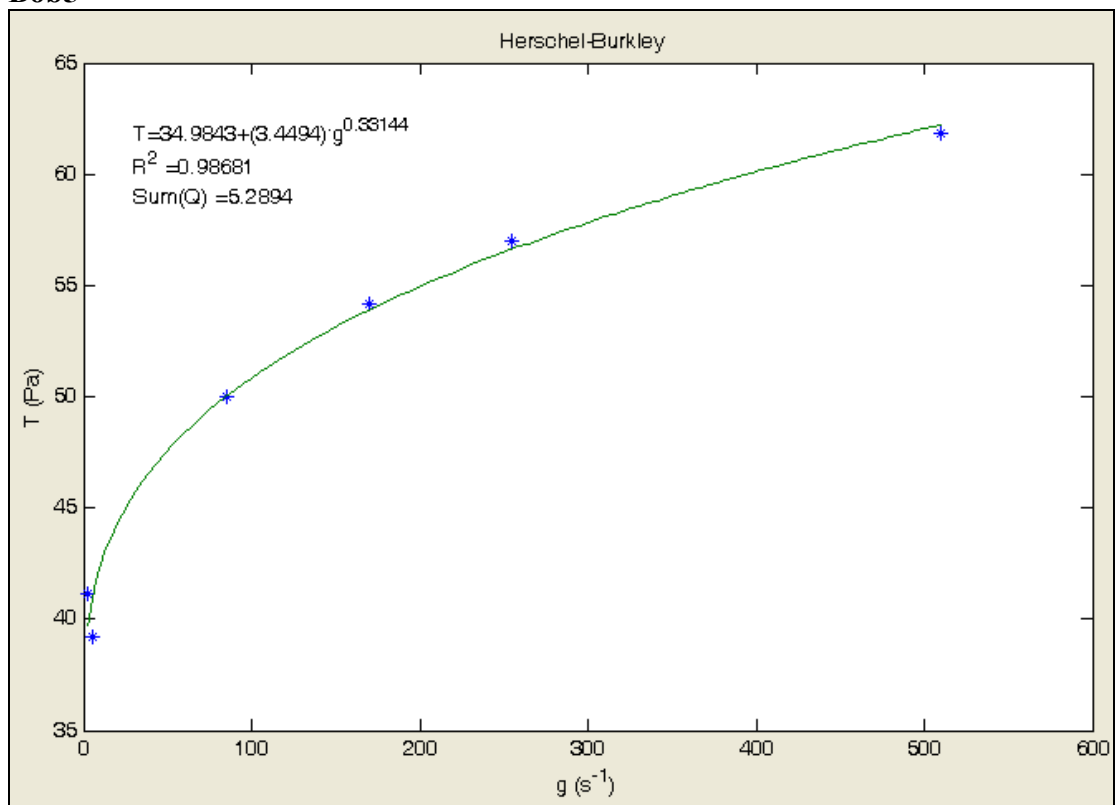
Αρχικές μετρήσεις ιξωδομέτρου (μέτρηση σε ίδιο δείγμα)

Bob1		Bob5		Bob2	
Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress	Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)	(1/S)	(Pa)
1021.4	59.0	510.2	52.2	226.2	77.0
1021.4	74.0	510.2	63.8	226.2	69.0
1021.4	74.5	510.2	63.8	226.2	68.0
1021.4	74.5	510.2	63.8	226.2	67.0
1021.4	74.0	510.2	63.8	226.2	67.0
1021.4	74.5	510.2	63.8	226.2	68.0
510.7	62.0	255.1	56.2	113.1	63.0
510.7	62.5	255.1	56.8	113.1	63.0
510.7	62.5	255.1	56.8	113.1	64.0
510.7	63.0	255.1	57.4	113.1	64.0
510.7	63.0	255.1	57.4	113.1	63.0
510.7	63.5	255.1	57.4	113.1	64.0
340.5	57.0	170.1	53.9	75.4	61.0
340.5	57.5	170.1	53.9	75.4	61.0
340.5	57.5	170.1	53.9	75.4	61.0
340.5	57.5	170.1	54.5	75.4	61.0
340.5	58.0	170.1	54.5	75.4	61.0
340.5	58.0	170.1	54.5	75.4	62.0
170.2	50.0	85.0	49.8	37.7	56.0
170.2	50.5	85.0	49.8	37.7	57.0
170.2	50.5	85.0	49.8	37.7	57.0
170.2	51.0	85.0	49.8	37.7	58.0
170.2	51.0	85.0	50.4	37.7	57.0
170.2	51.0	85.0	50.4	37.7	58.0
10.2	35.5	5.1	36.5	2.3	42.0
10.2	36.0	5.1	38.8	2.3	44.0
10.2	37.5	5.1	38.8	2.3	45.0
10.2	37.0	5.1	40.0	2.3	44.0
10.2	38.5	5.1	40.0	2.3	49.0
10.2	37.5	5.1	41.1	2.3	45.0
5.1	39.0	2.6	41.1	1.1	47.0
5.1	38.0	2.6	41.1	1.1	46.0
5.1	38.0	2.6	41.1	1.1	46.0
5.1	38.5	2.6	40.6	1.1	47.0
5.1	39.0	2.6	41.7	1.1	47.0
5.1	39.0	2.6	41.1	1.1	47.0

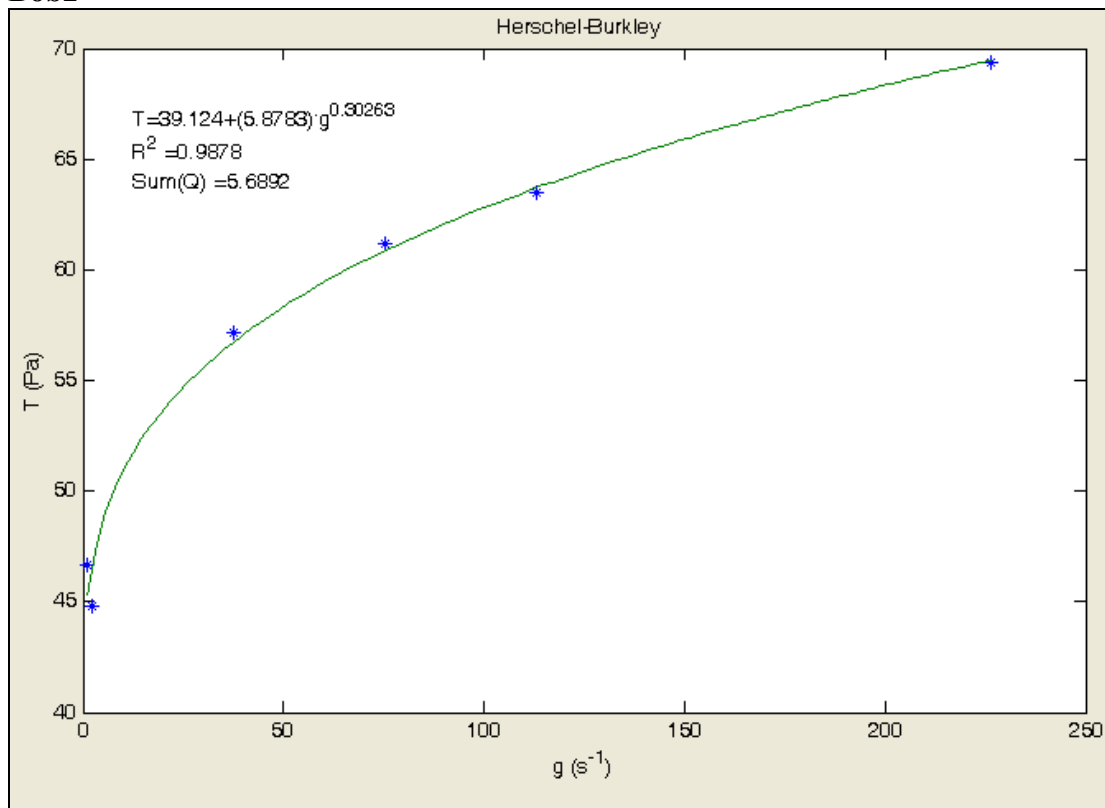
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT
3 ΟΜΟΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ
Bob1



Bob5

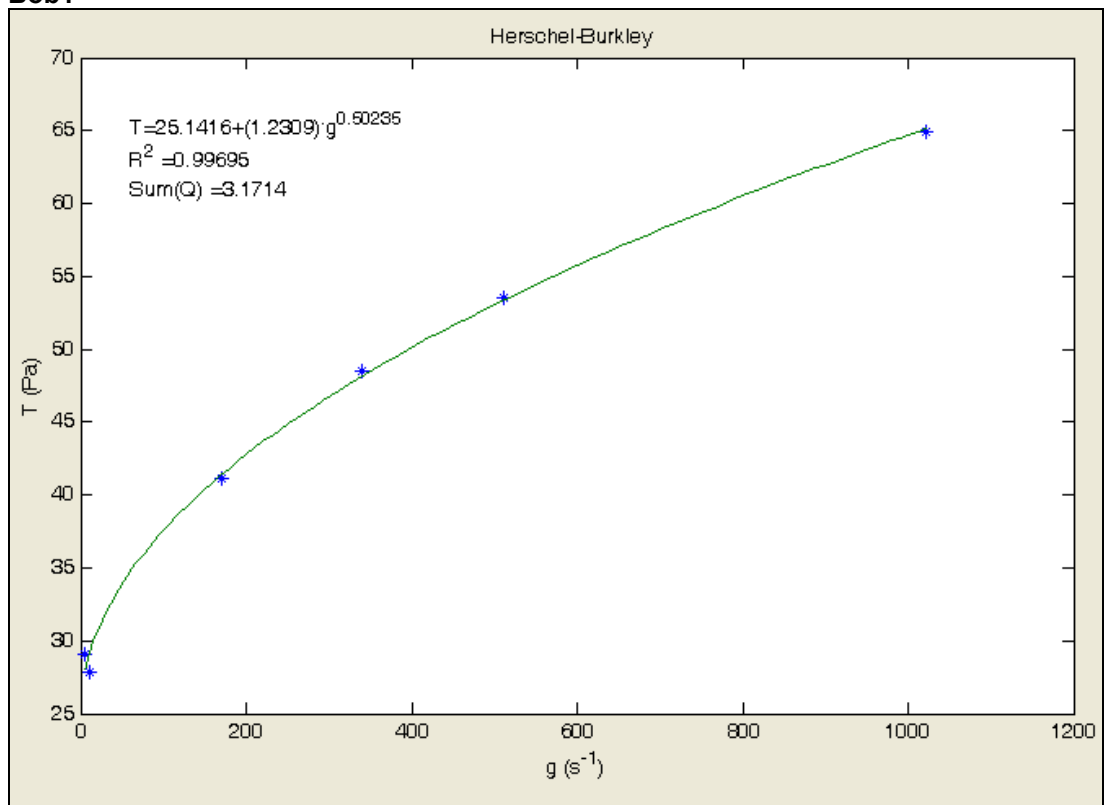


Bob2

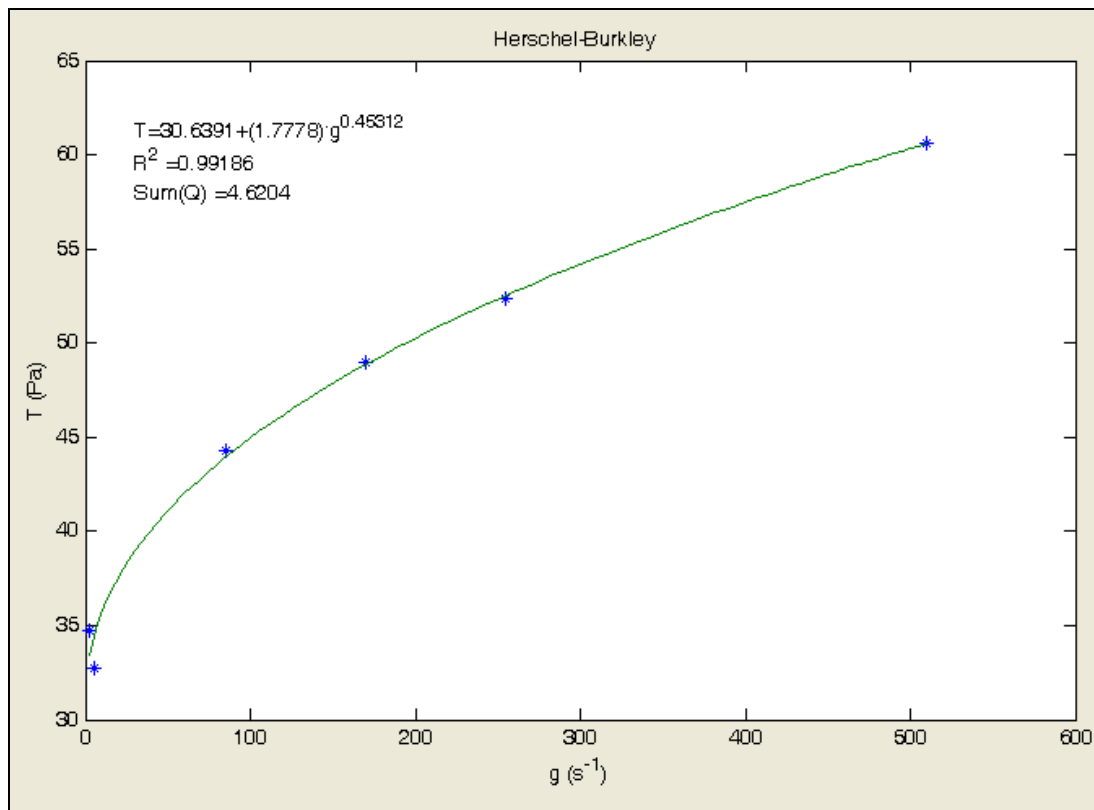


ΙΔΙΟ ΔΕΙΓΜΑ

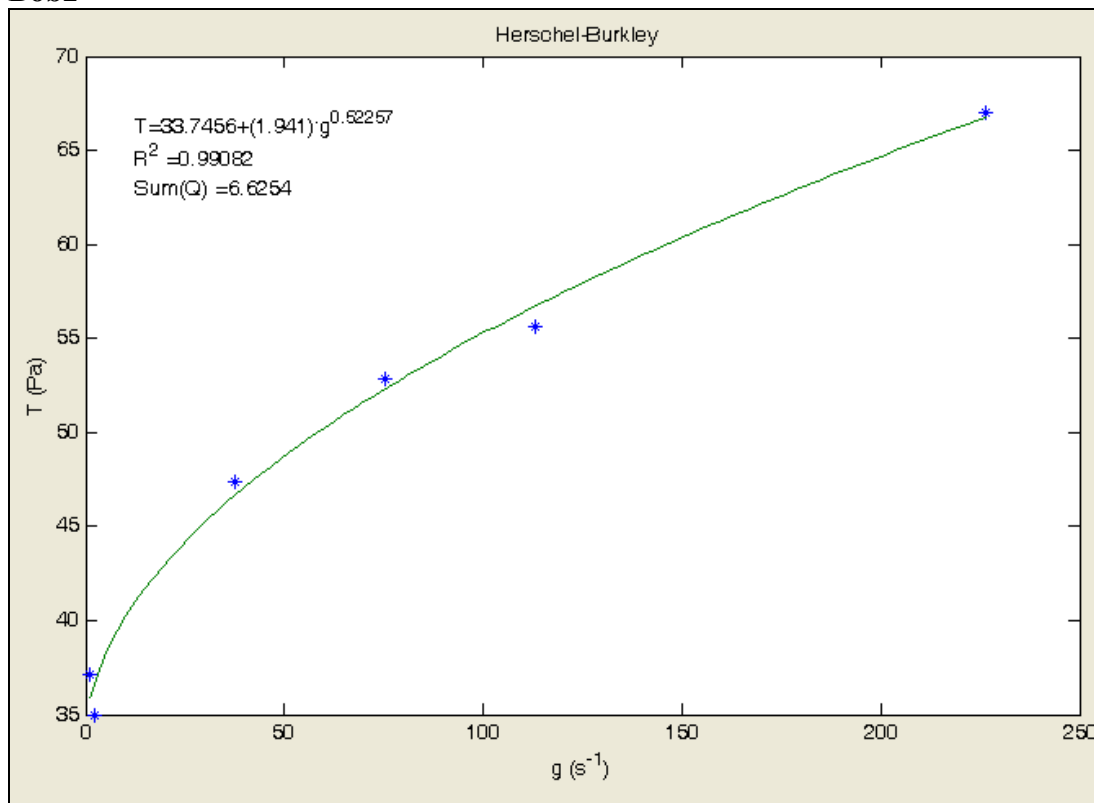
Bob1



Bob5



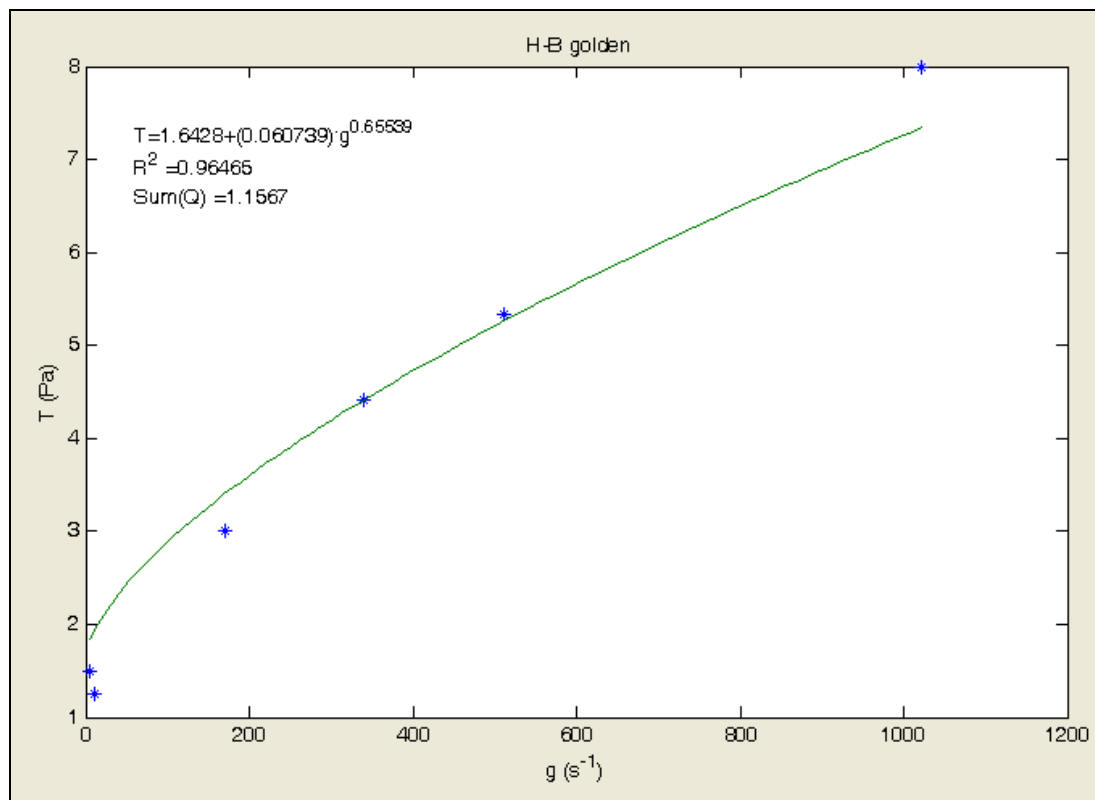
Bob2



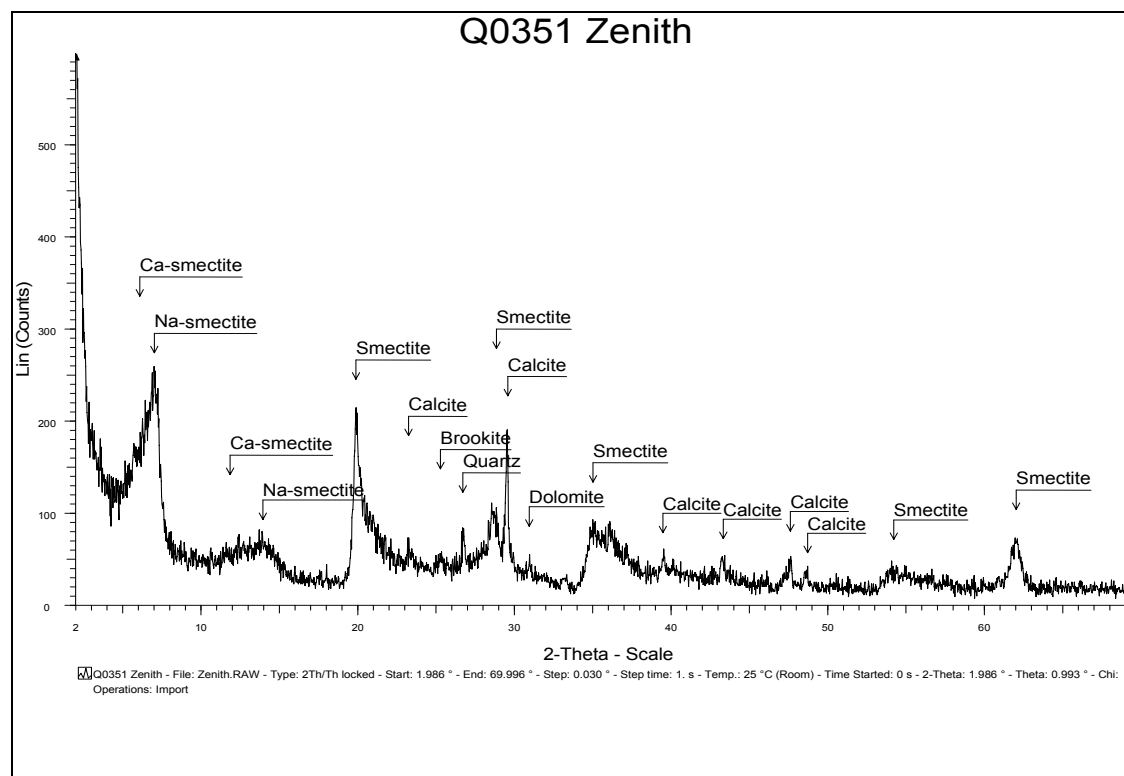
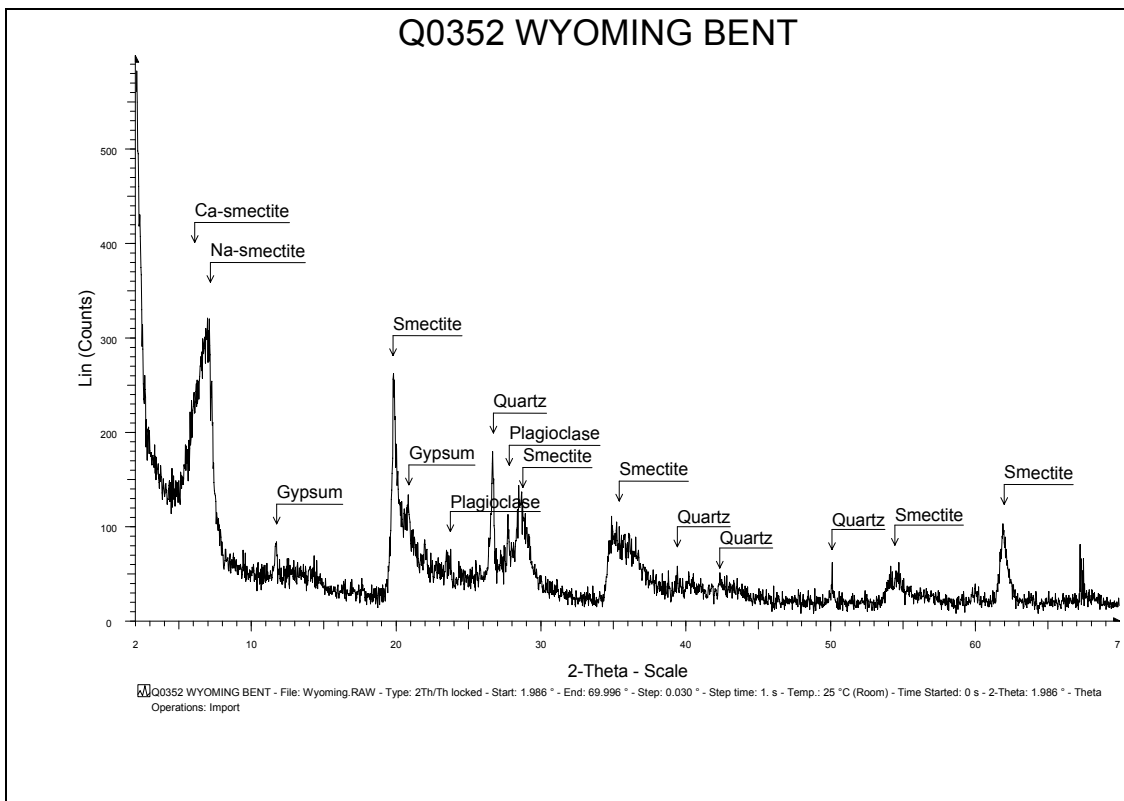
Π.6. ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΔΑΦΝΕΣ
ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Shear Rate	Shear Stress
(1/S)	(Pa)
1021.4	8.0
1021.4	8.0
1021.4	8.0
1021.4	8.0
1021.4	8.0
1021.4	8.0
510.7	5.0
510.7	5.0
510.7	5.5
510.7	5.5
510.7	5.5
510.7	5.5
340.5	4.0
340.5	4.5
340.5	4.5
340.5	4.5
340.5	4.5
340.5	4.5
170.2	3.0
170.2	3.0
170.2	3.0
170.2	3.0
170.2	3.0
170.2	3.0
10.2	0.5
10.2	1.0
10.2	1.0
10.2	2.0
10.2	1.5
10.2	1.5
5.1	1.5
5.1	1.5
5.1	1.5
5.1	1.5
5.1	1.5
5.1	1.5

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ RHEOFIT



11.7. XRD TRACES



Ca – smectite: ασβεστιούχος σμεκτίτης

Na – smectite: νατριούχος σμεκτίτης

Calcite: ασβεστίτης

Brookite: μπρουκίτης

Dolomite: Δολομίτης

Quartz: Χαλαζίας

Gypsum: Γύψος

Plagioclase: Πλαγιόκλαστα

Π.8. ΜΕΡΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΧΑΝΙΩΝ



ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ

Αρ. Φύλλου 280
9 Δεκεμβρίου 2003

ΝΟΜΟΣ ΥΠΑΡΙΘ. 3199

Προστασία και διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000.

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

Εκδίδωμε τον ακόλουθο νόμο που ψήφισε η Βουλή:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α' ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Άρθρο 1

Με τις διατάξεις του παρόντος νόμου και των κανονιστικών πράξεων που προβλέπεται να εκδοθούν κατ' εξουσιοδότηση του, εναρμονίζεται το εθνικό δίκαιο προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων L327/22.12.2000).

Άρθρο 2 Πεδίο εφαρμογής-Ορισμοί

1. Ο νόμος αυτός εφαρμόζεται για την προστασία και διαχείριση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων.

2. Κατά την έννοια του νόμου αυτού και των κανονιστικών πράξεων που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότηση του, νοούνται ως:

α) «Επιφανειακά ύδατα»: είναι τα εσωτερικά ύδατα, εκτός των υπόγειων υδάτων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα. Στα επιφανειακά ύδατα περιλαμβάνονται και τα χωρικά ύδατα για τη χημική τους κατάσταση.

β) «Υπόγεια ύδατα»: είναι το σύνολο των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στη ζώνη κορεσμού και σε άμεση επαφή με το έδαφος ή το υπέδαφος.

γ) «Εσωτερικά ύδατα»: είναι το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων επιφανειακών υδάτων και όλα τα υπόγεια ύδατα, τα οποία βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης, από την οποία μετράται το ύψος των χωρικών υδάτων.

δ) «Ποταμός»: είναι σύστημα εσωτερικών υδάτων το οποίο ρέει, κατά το μεγαλύτερο μέρος του, στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά το οποίο μπορεί, για ένα μέρος της διαδρομής του, να ρέει και υπογείως.

ε) «Λίμνη»: είναι σύστημα στάσιμων εσωτερικών επιφανειακών υδάτων.

στ) «Μεταβατικά ύδατα»: είναι συστήματα επιφανειακών υδάτων κοντά σε στόμια εκβολής ποταμών, τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γεινιάσεως τους με παράκτια ύδατα, αλλά τα οποία επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκών υδάτων.

ζ) «Παράκτια ύδατα»: είναι τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μιας γραμμής, κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων, και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων.

η) «Τεχνητό υδατικό σύστημα»: είναι το σύστημα επιφανειακών υδάτων που δημιουργείται από ανθρώπινη δραστηριότητα.

θ) «Ιδιαίτερος τροποποιημένο υδατικό σύστημα»: είναι το σύστημα επιφανειακών υδάτων του οποίου ο χαρακτήρας έχει μεταβληθεί ουσιαστικά, εξαιτίας αλλοιώσεων στη φύση του από ανθρώπινες δραστηριότητες. Με το προεδρικό διάταγμα, που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15, καθορίζεται το αρμόδιο όργανο χαρακτηρισμού των συστημάτων αυτών, η μεθοδολογία χαρακτηρισμού τους και κάθε σχετικό θέμα.

ι) «Σύστημα επιφανειακών υδάτων»: είναι διακεκριμένο και σημαντικό στοιχείο επιφανειακών υδάτων, όπως π.χ. λίμνη, ταμειωτήρας, ρεύμα, ποταμός ή διώρυγα, τμήμα ρεύματος, ποταμού ή διώρυγας, μεταβατικά ύδατα ή ένα τμήμα παράκτιων υδάτων.

ια) «Υδροφόρος ορίζοντας»: είναι υπόγειο στρώμα ή στρώματα βράχων ή άλλες γεωλογικές στοιβάδες επαρκώς πορώδεις και διαπερατές, ώστε να επιτρέπουν, είτε σημαντική ροή υπόγειων υδάτων, είτε την άντληση σημαντικών ποσοτήτων υπόγειων υδάτων.

ιβ) «Σύστημα υπόγειων υδάτων»: είναι ο συγκεκριμένος όγκος υπόγειων υδάτων εντός ενός ή περισσότερων υδροφόρων οριζόντων.

ιγ) «Λεκάνη απορροής ποταμού»: είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής, μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και, πιθανώς, λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές ή δέλτα.

ιδ) «Υπολεκάνη»: είναι η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω σειράς

ρευμάτων, ποταμών και, πιθανώς, λιμνών σε συγκεκριμένο σημείο υδάτινου ρεύματος (συνήθως λίμνης ή συμβολής ποταμών).

ιε) «Περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού»: αντιστοιχεί στη θαλάσσια και χερσαία έκταση, που αποτελείται από μια ή περισσότερες γειτονικές λεκάνες απορροής ποταμού μαζί με τα συναφή υπόγεια και παράκτια ύδατα και αποτελεί τη βασική μονάδα με βάση την οποία γίνεται η διαχείριση και η προστασία των λεκανών απορροής ποταμού όπως ορίζεται στο άρθρο 5.

ιστ) «Κατάσταση επιφανειακών υδάτων»: είναι η συνολική αποτύπωση της κατάστασης ενός επιφανειακού υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της οικολογικής και της χημικής του κατάστασης.

ιζ) «Καλή κατάσταση επιφανειακών υδάτων»: η κατάσταση επιφανειακού υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή», τόσο από οικολογική όσο και από χημική άποψη.

ιη) «Κατάσταση υπόγειων υδάτων»: είναι η συνολική αποτύπωση της κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος, που καθορίζεται από τις χαμηλότερες τιμές της ποσοτικής και της χημικής του κατάστασης.

ιθ) «Καλή κατάσταση υπόγειων υδάτων»: η κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος που χαρακτηρίζεται τουλάχιστον «καλή», τόσο από ποσοτική όσο και από χημική άποψη.

κ) «Οικολογική κατάσταση»: είναι η ποιοτική αποτύπωση της διάρθρωσης και της λειτουργίας υδάτινων οικοσυστημάτων που συνδέονται με επιφανειακά ύδατα, η οποία ταξινομείται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

κα) «Καλή οικολογική κατάσταση»: η κατάσταση ενός συστήματος επιφανειακών υδάτων το οποίο ταξινομείται κατ' αυτόν τον τρόπο σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

κβ) «Καλό οικολογικό δυναμικό»: η κατάσταση ενός ιδιαίτερα τροποποιημένου ή τεχνητού υδατικού συστήματος, το οποίο ταξινομείται κατ' αυτόν τον τρόπο σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

κγ) «Καλή χημική κατάσταση επιφανειακών υδάτων»: η χημική κατάσταση που απαιτείται για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων για τα επιφανειακά ύδατα, οι οποίοι καθορίζονται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

κδ) «Καλή χημική κατάσταση υπόγειων υδάτων»: η χημική κατάσταση συστήματος υπόγειων υδάτων, η οποία πληροί όλους τους όρους που ορίζονται στο προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

κε) «Επικίνδυνες ουσίες»: ουσίες ή ομάδες ουσιών που είναι τοξικές, σταθερές και επιρρεπείς σε βιοσυσσώρευση, καθώς και άλλες ουσίες ή ομάδες ουσιών που δημιουργούν ανάλογο βαθμό ανησυχίας.

κστ) «Ουσίες προτεραιότητας»: Ουσίες που καθορίζονται σύμφωνα μετά οριζόμενα στο άρθρο 9 παρ. 2. Μεταξύ των ουσιών αυτών διακρίνονται οι «επικίνδυνες ουσίες προτεραιότητας», δηλαδή ουσίες που καθορίζονται σύμφωνα με τις διατάξεις του ίδιου άρθρου για τις οποίες πρέπει να ληφθούν μέτρα, σύμφωνα μετά οριζόμενα στο άρθρο 9.

κζ) «Ρύπανση»: είναι η άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας εξαιτίας ανθρώπινων δραστηριοτήτων, που μπορούν να είναι επιζήμιες για την υγεία του ανθρώπου ή για την ποιότητα των

υδατικών οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα, συντελούν στη φθορά υλικής ιδιοκτησίας, ή επηρεάζουν δυσμενώς ή παρεμβαίνουν σε λειτουργίες αναψυχής ή σε λοιπές νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος.

κη) «Ποιοτικό περιβαλλοντικό πρότυπο»: η συγκέντρωση, στο νερό, το ίζημα ή το βιόκοσμο, συγκεκριμένου ρύπου ή ομάδας ρύπων της οποίας δεν πρέπει να σημειώνεται υπέρβαση, ώστε να προστατεύεται η υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον.

κθ) «Υπηρεσίες ύδατος»: όλες οι υπηρεσίες οι οποίες παρέχουν, για τα νοικοκυριά, τις δημόσιες υπηρεσίες ή για οποιαδήποτε οικονομική δραστηριότητα:

α) άντληση, κατακράτηση, αποθήκευση, επεξεργασία και διανομή επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων,

β) εγκαταστάσεις συλλογής και επεξεργασίας λυμάτων, οι οποίες στη συνέχεια πραγματοποιούν απορρίψεις σε επιφανειακά ύδατα.

λ) «Οριακές τιμές εκπομπής»: η μάζα, εκφρασμένη σε σχέση με ορισμένες ειδικές παραμέτρους, η συγκέντρωση ή/και η στάθμη μιας εκπομπής, της οποίας δεν επιτρέπεται η υπέρβαση κατά τη διάρκεια μιας ή περισσότερων συγκεκριμένων χρονικών περιόδων. Οριακές τιμές εκπομπής μπορούν επίσης να ορίζονται και για συγκεκριμένες ομάδες, οικογένειες ή κατηγορίες ουσιών, όπως ειδικότερα ορίζεται στο προεδρικό διάταγμα, που προβλέπεται από την παρ. 1 του άρθρου 15.

Οι οριακές τιμές εκπομπής ουσιών ισχύουν κανονικά στο σημείο όπου οι εκπομπές βγαίνουν από την εγκατάσταση, χωρίς να υπολογίζεται, για τον προσδιορισμό τους, η τυχόν αραίωση τους. Όσον αφορά τις έμμεσες απορρίψεις στο νερό, οι επιπτώσεις ενός σταθμού επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να συνυπολογίζονται κατά τον προσδιορισμό των οριακών τιμών εκπομπής της συγκεκριμένης εγκατάστασης, υπό την προϋπόθεση ότι κατοχυρώνεται ισοδύναμο επίπεδο προστασίας του όλου περιβάλλοντος και ότι δεν γεννώνται μεγαλύτερα ρυπαντικά φορτία για το περιβάλλον.

λα) «Ελεγχόμενες εκπομπές»: έλεγχοι οι οποίοι απαιτούν περιορισμό μιας συγκεκριμένης εκπομπής, π.χ. μια οριακή τιμή εκπομπής, ή οι οποίοι ορίζουν, κατ' άλλον τρόπο, όρια ή συνθήκες για τις επιπτώσεις, τη φύση ή άλλα χαρακτηριστικά μιας εκπομπής ή τις συνθήκες λειτουργίας που επηρεάζουν τις εκπομπές.

λβ) «Ποσοτική κατάσταση»: η έκφραση του βαθμού στον οποίο ένα σύστημα υπόγειων υδάτων επηρεάζεται από άμεσες ή έμμεσες αντλήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β' ΦΟΡΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ

Άρθρο 3 Εθνική Επιτροπή Υδάτων

1. Συνιστάται Εθνική Επιτροπή Υδάτων, η οποία χαράσσει την πολιτική για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, παρακολουθεί και ελέγχει την εφαρμογή της και εγκρίνει, μετά από εισήγηση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και γνώμη του Εθνικού Συμβουλίου Υδάτων τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας.

Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων αποτελείται από:

α) τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, ως Πρόεδρο,

β) τον Υπουργό Οικονομίας και Οικονομικών,

γ) τον Υπουργό Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης,

δ) τον Υπουργό Ανάπτυξης,

ε) τον Υπουργό Υγείας και Πρόνοιας,

στ) τον Υπουργό Γεωργίας.

Στην Επιτροπή συμμετέχουν, ύστερα από πρόσκληση του Προέδρου, και άλλοι Υπουργοί εφόσον συζητούνται θέματα αρμοδιότητάς τους. Στην Επιτροπή μετέχει και ο Υπουργός Εξωτερικών, όταν συζητούνται θέματα που αφορούν διακρατικά ύδατα.

Τα μέλη της Επιτροπής αναπληρώνονται από τους Γενικούς Γραμματείς των αντίστοιχων Υπουργείων.

Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων μπορεί να συνιστά Γνωμοδοτικές - Επιστημονικές Επιτροπές για τη στήριξη του έργου της.

2. Συνιστάται Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων με Πρόεδρο τον Υπουργό Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, στο οποίο συμμετέχουν με έναν εκπρόσωπο τους:

- κάθε κόμμα που εκπροσωπείται στη Βουλή,

- η Ένωση Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων Ελλάδος (Ε.Ν.Α.Ε.),

- η Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων Ελλάδος (Κ.Ε.Δ.Κ.Ε.),

- η Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης,

- οι εταιρείες ύδρευσης και αποχέτευσης που δεν εκπροσωπούνται από την Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης,

- η Πανελλήνια Συνομοσπονδία Ένωσης Γεωργικών Συνεταιρισμών (Π.Α.Σ. Ε. Γ.Ε.Σ.),

- ο Σύνδεσμος Ελληνικών Βιομηχανιών (Σ.Ε.Β.),

- η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.),

- η Γενική Συνομοσπονδία Εργατών Ελλάδος (Γ.Σ.Ε.Ε.),

- το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.),

- το Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, -το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.), -το

Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (Ε.Κ.Θ.Ε.), -το

Εθνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (Ε.Κ.Β.Υ.), -το

Εθνικό Κέντρο Φυσικών Επιστημών (Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. Δημόκριτος),

- δύο περιβαλλοντικές μη κυβερνητικές οργανώσεις,

- το Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (Ε.Κ.Π.Α.Α.),

- το Ινστιτούτο Καταναλωτών (ΙΝ.ΚΑ.),

- το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών και Γεωργικών Ερευνών (ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε.),

- ο Πρόεδρος της Εθνικής Επιτροπής για την καταπολέμηση της Απερμήωσης.

3. Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων υποβάλλει στη Βουλή και στο Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων ετήσια έκθεση σχετικά με την κατάσταση του υδάτινου περιβάλλοντος της χώρας, την εφαρμογή της νομοθεσίας για την προστασία και διαχείριση των υδάτων, καθώς και για τη συμβατότητα με το κοινοτικό κεκτημένο.

4. Το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων συγκαλείται από τον Πρόεδρο του τουλάχιστον μια φορά το χρόνο.

5. Το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων, συγκροτείται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και συγκαλείται από τον Πρόεδρο του τουλάχιστον μια φορά το χρόνο. Με όμοια απόφαση καθορίζεται ο τρόπος λειτουργίας του, η υπηρεσία που παρέχει γραμματειακή υποστήριξη, ο τρόπος υπόδειξης του εκπροσώπου των εταιρειών ύδρευσης και αποχέτευσης

που δεν εκπροσωπούνται από την Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης και κάθε άλλο θέμα αναγκαίο για τη λειτουργία του.

Άρθρο 4 Κεντρική

Υπηρεσία Υδάτων

1. Συνιστάται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, η οποία ασκεί τις εξής αρμοδιότητες:

α) Καταρτίζει τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού της χώρας και παρακολουθεί και συντονίζει την εφαρμογή τους. Τα εθνικά προγράμματα διακρίνονται σε μακροχρόνια με διάρκεια πάνω από έξι έτη και μεσοχρόνια, με διάρκεια από δύο έως έξι έτη.

Πριν την έγκρισή τους, εισάγονται για διαβούλευση στο Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων.

β) Καταρτίζει την ετήσια έκθεση που προβλέπεται στην παρ. 3 του προηγούμενου άρθρου.

γ) Συντονίζει τις υπηρεσίες και τους κρατικούς φορείς και μετέχει στα αρμόδια κοινοτικά όργανα για κάθε ζήτημα που αφορά στην προστασία και τη διαχείριση των υδάτων.

δ) Εισηγείται τους γενικούς κανόνες κοστολόγησης και τιμολόγησης των υδάτων και παρακολουθεί την τήρηση τους σύμφωνα με τα μακροχρόνια και μεσοχρόνια προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας.

ε) Εισηγείται νομοθετικά και διοικητικά μέτρα για την προστασία και διαχείριση των υδάτων.

στ) Παρακολουθεί σε εθνικό επίπεδο την ποιότητα και την ποσότητα των υδάτων σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών και μεριμνά για την ανάπτυξη και τη λειτουργία εθνικού δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων.

ζ) Διαχειρίζεται βάση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων σε εθνικό επίπεδο και μεριμνά για τη διαρκή της ενημέρωση. Κρατικές υπηρεσίες, νομικά πρόσωπα δημοσίου δικαίου, οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης Α' ή Β' βαθμού, καθώς και κάθε φορέας που συμμετέχει στο εθνικό δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων, υποχρεούται να παρέχει δωρεάν στοιχεία στη βάση δεδομένων του προηγούμενου εδαφίου. Την ίδια υποχρέωση έχει και κάθε νομικό ή φυσικό πρόσωπο υπέρ του οποίου έχει εκδοθεί άδεια χρήσης νερού ή εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων, σύμφωνα με τους ειδικότερους όρους που καθορίζονται στην άδεια.

η) Παρακολουθεί τη λειτουργία των Διευθύνσεων Υδάτων των Περιφερειών και παρέρχει οδηγίες για την άσκηση των αρμοδιοτήτων τους.

θ) Για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού, η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων υποχρεούται έως 22.12. 2004:

- να συντάξει πλήρη και αναλυτική έκθεση των χαρακτηριστικών της.

- να διαπιστώσει τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων.

- να προβεί στην οικονομική ανάλυση κάθε χρήσης ύδατος στη λεκάνη αυτή.

ι) Καταρτίζει το Εθνικό Μητρώο προστατευόμενων περιοχών έως 22.12.2004. Με το προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15 καθορίζεται αναλυτικά το περιεχόμενο του Μητρώου.

ια) Φροντίζει, το αργότερο έως το 2015, για την προ-

οτασία, αναβάθμιση και αποκατάσταση όλων των συστημάτων των επιφανειακών υδάτων, καθώς και των τεχνητών και ιδιαίτερος τροποποιημένων υδατικών συστημάτων, με σκοπό την επίτευξη καλής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων και καλού οικολογικού δυναμικού και καλής χημικής κατάστασης για επιφανειακά ύδατα των τεχνητών και ιδιαίτερος τροποποιημένων υδατικών συστημάτων, εκτός αν για αυτά, τα παραπάνω είναι δυσανάλογα δαπανηρά ή αν λόγω ανωτέρας βίας ή φυσικών αιτιών ή ατυχήματος κάτι τέτοιο δεν καθίσταται εφικτό.

2. Η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων αποτελεί ενιαίο διοικητικό τομέα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, του οποίου προϊστάται μετακλητός ειδικός γραμματέας με βαθμό Β' της κατηγορίας ειδικών θέσεων και οργανώνεται σε Διευθύνσεις και Τμήματα με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης και Οικονομίας και Οικονομικών. Με την ίδια απόφαση μπορεί να καταργούνται υφιστάμενες οργανικές μονάδες του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων που ασκούν συναφείς αρμοδιότητες ή να μεταφέρονται στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, προσδιορίζονται αναλυτικά οι αρμοδιότητες της Υπηρεσίας, κατανέμονται οι αρμοδιότητες στις Διευθύνσεις και τα Τμήματα και συστήνονται οι αναγκαίες θέσεις μόνιμου και με σχέση εργασίας αορίστου χρόνου προσωπικού ανά κλάδο, κατηγορία και βαθμό. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται οι διατάξεις του άρθρου 28 του ν. 1558/1985 (ΦΕΚ 137 Α').

3. Συνιστάται στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων Γνωμοδοτική Επιτροπή Υδάτων, η οποία αποτελείται από τον Προϊστάμενο της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων ως πρόεδρο, έναν εκπρόσωπο του Υπουργείου Ανάπτυξης, έναν εκπρόσωπο του Υπουργείου Γεωργίας, έναν εκπρόσωπο του Υπουργείου Οικονομίας και Οικονομικών και έναν εκπρόσωπο του Υπουργείου Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης. Η Γνωμοδοτική Επιτροπή Υδάτων συγκροτείται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και γνωμοδοτεί προς την Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων για την άσκηση των αρμοδιοτήτων που αναφέρονται στις περιπτώσεις α', β' και δ' της παραγράφου 1.

4. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Γεωργίας, Ανάπτυξης, Οικονομίας και Οικονομικών, Υγείας και Πρόνοιας, ορίζεται εθνικό δίκτυο παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων με καθορισμό των θέσεων (σταθμών) μετρήσεων και των φορέων που υποχρεούνται στη λειτουργία τους. Με την ίδια απόφαση καθορίζονται οι υποχρεώσεις των φορέων που συμμετέχουν στο εθνικό δίκτυο παρακολούθησης και κάθε θέμα σχετικό με την ανάπτυξη και τη λειτουργία του.

Άρθρο 5 Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας

1. Η προστασία και διαχείριση κάθε λεκάνης απορροής ποταμού ανήκει στην Περιφέρεια στα διοικητικά όρια της οποίας εκτείνεται.

2. Με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, που δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως καθορίζονται οι λεκάνες απορροής ποταμών και ορίζονται οι Περιφέρειες, οι οποίες είναι αρμόδιες για τη διαχείριση και προστασία τους.

3. Αν λεκάνη απορροής ποταμού εκτείνεται στα διοικη-

τικά όρια περισσότερων Περιφερειών, οι ανωτέρω αρμοδιότητες ασκούνται από κοινού. Με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, που δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, επιτρέπεται να κατανέμονται οι αρμοδιότητες μεταξύ των Περιφερειών ή να καθορίζεται μια Περιφέρεια ως αποκλειστικώς αρμόδια και να καθορίζεται ο τρόπος και η ειδικότερη διαδικασία άσκησης των αρμοδιοτήτων της παρούσας παραγράφου.

4. Σε κάθε Περιφέρεια συνιστάται Διεύθυνση Υδάτων μέσω της οποίας ασκούνται οι αρμοδιότητες της Περιφέρειας για την προστασία και διαχείριση των υδάτων. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης και Οικονομίας και Οικονομικών:

α) συνιστώνται οι αναγκαίες θέσεις προσωπικού ανά κατηγορία και κλάδο για τη στελέχωση της Διεύθυνσης,

β) ορίζεται η διάρθρωση της Διεύθυνσης σε τμήματα, κατανέμονται οι αρμοδιότητες σ' αυτά και ρυθμίζεται κάθε θέμα σχετικό με την οργάνωση και τη στελέχωση της.

5. Η Διεύθυνση Υδάτων έχει τις εξής αρμοδιότητες:

α) Λαμβάνει τα αναγκαία μέτρα για:

- την πρόληψη της υποβάθμισης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων,

- την αναβάθμιση και αποκατάσταση των υδατικών συστημάτων,

- την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από τις ουσίες προτεραιότητας και την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών, των απορρίψεων και των διαρροών επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας,

- την προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατινών πόρων,

- τη διασφάλιση της ισορροπίας ανάμεσα στην άντληση νερού από τους υδροφόρους και τον εμπλουτισμό τους,

- το μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες και

- την εφαρμογή όλων των στόχων και προτύπων που προβλέπονται για τις προστατευόμενες περιοχές.

β) Εξειδικεύει και εφαρμόζει μακροχρόνια και μεσοχρόνια προγράμματα προστασίας και διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμού.

γ) Καταρτίζει Σχέδια Διαχείρισης και Προγράμματα Μέτρων, όπως προβλέπεται στα άρθρα 7 και 8.

δ) Εφαρμόζει τα Σχέδια Διαχείρισης και τα Προγράμματα Μέτρων και συντάσσει ετήσια έκθεση εφαρμογής τους. Η ετήσια έκθεση διαβιβάζεται στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων.

ε) Καταρτίζει μητρώο προστατευόμενων περιοχών στο οποίο επανεξετάζεται και ενημερώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και το οποίο, διαβιβάζεται στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων προκειμένου να καταρτιστεί Εθνικό Μητρώο προστατευόμενων περιοχών.

στ) Μεριμνά για την ουσιαστική συμμετοχή του κοινού, στις διαδικασίες προστασίας και διαχείρισης των υδάτων, και ιδίως στη διαδικασία εκπόνησης, ενημέρωσης και αναθεώρησης των Σχεδίων Διαχείρισης, όπως περιγράφεται στο άρθρο 7.

Ειδικότερα, η Διεύθυνση Υδάτων θέτει στη διάθεση του κοινού, συμπεριλαμβανομένων των χρηστών, για τη διατύπωση παρατηρήσεων:

- το χρονοδιάγραμμα και το πρόγραμμα εργασιών για την εκπόνηση του Σχεδίου, τουλάχιστον τρία έτη πριν από την έναρξη της περιόδου την οποία αφορά το σχέδιο, - τα Προγράμματα Μέτρων του άρθρου 8,

-ενδιάμεση επισκόπηση των σημαντικών ζητημάτων διαχείρισης των υδάτων που εντοπίστηκαν στη λεκάνη απορροής ποταμού, τουλάχιστον δύο έτη πριν από την έναρξη της περιόδου την οποία αφορά το Σχέδιο Διαχείρισης.

ζ) Συγκεντρώνει και επεξεργάζεται τα στοιχεία της ποσότητας και της ποιότητας των υδάτων και τα αποστέλλει στη βάση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων. Παρακολουθεί και ελέγχει τις ποιοτικές παραμέτρους και την ποσοτική κατάσταση των υδάτων, την οικολογική κατάσταση των επιφανειακών υδάτων, καθώς και την κατάσταση των υποπροστατευόμενων περιοχών, όπως ειδικότερα καθορίζεται με το προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

η) Συντονίζει όλους τους φορείς για θέματα που σχετίζονται με τη χρήση και την προστασία των υδάτων.

θ) Λαμβάνει όλα τα αναγκαία μέτρα για να πραγματοποιείται:

-ανάλυση των χαρακτηριστικών της κάθε περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού,

-επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και

-οικονομική ανάλυση της χρήσης των υδάτων.

ι) Μεριμνά για τον έλεγχο των σημειακών και διάχυτων εκπομπών ρύπων στα επιφανειακά, υπόγεια και παράκτια ύδατα.

ια) Εφαρμόζει μέτρα για τον έλεγχο της ρύπανσης στην πηγή μέσω του ορισμού οριακών τιμών εκπομπής και προτύπων περιβαλλοντικής ποιότητας.

ιβ) Εφαρμόζει Πρόγραμμα Μέτρων Προστασίας από τη ρύπανση, καθώς και απορρύπανσης των υδάτων.

ιγ) Σχεδιάζει και επιβάλλει όλα τα αναγκαία προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών.

ιδ) Επιβάλλει μέτρα για την προστασία των υπόγειων υδάτων και την αντιμετώπιση αυξητικών τάσεων που προκύπτουν από ανθρώπινες δραστηριότητες στις συγκεκριμένες ουσίες στα υπόγεια ύδατα.

ιε) Εκδίδει τις άδειες που προβλέπονται στο άρθρο 11 και ελέγχει την εφαρμογή τους.

ιστ) Επιβάλλει σε υφιστάμενα ή σε νέα έργα και δραστηριότητες, που είναι πιθανό να υποβαθμίσουν τα ύδατα, τους περιορισμούς και τα μέτρα που είναι πρόσφορα για την προστασία τους, όπως ορίζεται στο άρθρο 8.

6. Με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας επιβάλλονται περιορισμοί ή άλλα μέτρα στη χρήση των υδάτων και την εκτέλεση έργων αξιοποίησης τους προκειμένου να επιτυγχάνονται οι στόχοι του Σχεδίου Διαχείρισης που προβλέπεται στο άρθρο 7 και των Προγραμμάτων Μέτρων και Παρακολούθησης που προβλέπονται στο άρθρο 8.

Άρθρο 6 Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων

1. Συνιστάται σε κάθε Περιφέρεια Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων το οποίο αποτελεί όργανο κοινωνικού διαλόγου και διαβούλευσης για θέματα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων. Στο Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων συμμετέχουν: α) ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας, ως Πρόεδρος, β) ο Προϊστάμενος της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας,

γ) ένας εκπρόσωπος κάθε Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης που υπάγεται στα διοικητικά όρια της Περιφέρειας,

δ) ένας εκπρόσωπος κάθε Τοπικής Ένωσης Δήμων και Κοινοτήτων (Τ.Ε.Δ.Κ.) των Νομών της Περιφέρειας,

ε) ένας εκπρόσωπος όλων των Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης Αποχέτευσης της Περιφέρειας,

στ) ανά ένας εκπρόσωπος του Τεχνικού, Γεωτεχνικού, Εμπορικού, Βιομηχανικού Επιμελητηρίου,

ζ) ένας εκπρόσωπος κάθε Ένωσης Γεωργικών Συνεταιρισμών της Περιφέρειας,

η) ένας εκπρόσωπος των περιβαλλοντικών μη κυβερνητικών οργανώσεων,

θ) ένας εκπρόσωπος από κάθε Γενικό Οργανισμό Εγγείων Βελτιώσεων (Γ.Ο.Ε.Β.),

ι) ένας εκπρόσωπος από κάθε φορέα διαχείρισης προστατευόμενης περιοχής κατά τις διατάξεις του άρθρου 21 του ν. 1650/1986 και του άρθρου 13 του ν. 3044/2002.

2. Το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων γνωμοδοτεί πριν την έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης και εκφράζει τη γνώμη του προς το Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας για κάθε θέμα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων που αυτός του υποβάλλει.

3. Το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων, πριν γνωμοδοτήσει για το Σχέδιο Διαχείρισης, το δημοσιοποιεί προκειμένου το κοινό να πληροφορηθεί το περιεχόμενο του και να συμμετάσχει στη δημόσια διαβούλευση γι αυτό, μέσα σε προθεσμία που ορίζει το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων.

4. Η συγκρότηση του Περιφερειακού Συμβουλίου Υδάτων γίνεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας και συγκαλείται από τον Πρόεδρό του, τουλάχιστον μια φορά το χρόνο.

5. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης καθορίζεται ο τρόπος λειτουργίας και η γραμματειακή υποστήριξη των Περιφερειακών Συμβουλίων Υδάτων, ο τρόπος δημοσιοποίησης του Σχεδίου Διαχείρισης και συμμετοχής του κοινού στη δημόσια διαβούλευση, καθώς και κάθε άλλο θέμα για την εφαρμογή του άρθρου αυτού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Άρθρο 7 Σχέδιο Διαχείρισης

1. Κάθε Περιφέρεια εκπονεί Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών αρμοδιότητας της, το οποίο ισχύει για έξι χρόνια. Για τις λεκάνες απορροής ποταμών για τις οποίες είναι συναρμόδιες δύο ή περισσότερες Περιφέρειες, καταρτίζονται από κοινού Ειδικά Σχέδια διαχείρισης τους, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά με την απόφαση που προβλέπεται στην παρ. 3 του άρθρου 5. Το Σχέδιο Διαχείρισης περιέχει όλα τα στοιχεία, πληροφορίες και εκτιμήσεις που είναι απαραίτητα για την προστασία και διαχείριση των υδάτων. Το ειδικότερο περιεχόμενο των Σχεδίων Διαχείρισης καθορίζεται με το προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

2. Το Σχέδιο Διαχείρισης καταρτίζεται από τη Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας και εγκρίνεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας ύστερα από γνώμη του Περιφερειακού Συμβουλίου Υδάτων και σύμφωνη γνώμη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων. Κατά την πρώτη εφαρμογή του παρόντος, ύστερα από αίτημα του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, είναι δυνατόν το Σχέδιο Διαχείρισης να καταρτισθεί από την Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων.

3. Κατά την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης λαμβά-

νονται υπόψη και οι κατευθύνσεις και προτάσεις των Περιφερειακών Πλαισίων Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης που προβλέπονται στο άρθρο 8 του Ν. 2742/1999, το περιεχόμενο των γενικών και ειδικών αναπτυξιακών προγραμμάτων, καθώς και οι ανάγκες που προκύπτουν για την προστασία και διαχείριση προστατευόμενων περιοχών.

4. Το πρώτο Σχέδιο Διαχείρισης καταρτίζεται και εγκρίνεται υποχρεωτικά μέχρι 22.12.2009.

Άρθρο 8 Προγράμματα Μέτρων και Παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων

1. Οι Περιφέρειες καταρτίζουν:

- α) Πρόγραμμα Μέτρων και
- β) Πρόγραμμα Παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων.

Το Σχέδιο Διαχείρισης της Περιφέρειας περιλαμβάνει υποχρεωτικά ως μέρη του τα ανωτέρω προγράμματα.

2. Το Πρόγραμμα Μέτρων καθορίζει σε γενικές γραμμές τα μέτρα που απαιτούνται για:

- α) την προστασία και διαχείριση των υδάτων των λεκανών απορροής ποταμών που εμπίπτουν στην αρμοδιότητα κάθε Περιφέρειας,
- β) τη διατήρηση, προστασία και βελτίωση της ποιότητας του υδατίνου περιβάλλοντος,
- γ) την αντιμετώπιση της ρύπανσης των υδατικών οικοσυστημάτων, ανεξάρτητα από την πηγή προέλευσης της και
- δ) τη διασφάλιση της αειφόρου χρήσης των υδάτων.

3. Το Πρόγραμμα Μέτρων περιέχει, ανάλογα και με τις ανάγκες και ιδιομορφίες των λεκανών απορροής, βασικά και συμπληρωματικά μέτρα, το αναλυτικό περιεχόμενο των οποίων καθορίζεται με το προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15.

4. Το Πρόγραμμα Μέτρων καταρτίζεται και εγκρίνεται όπως και το Σχέδιο Διαχείρισης. Το πρώτο Πρόγραμμα Μέτρων καταρτίζεται και εγκρίνεται υποχρεωτικά μέχρι 22.12.2009 και όλα τα μέτρα είναι έτοιμα προς εφαρμογή μέχρι 1.1.2012.

5. Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης περιέχει ειδικότερα μέτρα που εξασφαλίζουν τη διαρκή παρακολούθηση των ποιοτικών παραμέτρων και της ποσοτικής κατάστασης των υδάτων, καθώς και της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων.

6. Τα Προγράμματα Παρακολούθησης εγκρίνονται όπως τα Σχέδια Διαχείρισης, το αναλυτικό τους περιεχόμενο καθορίζεται με το προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παράγραφο 1 του άρθρου 15 και τίθενται σε εφαρμογή το αργότερο μέχρι 31.12.2006.

Άρθρο 9 Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης

1. Κάθε έργο ή δραστηριότητα, που μπορεί να προκαλέσει ρύπανση με απόρριψη υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον, οφείλει να εναρμονίζεται με τα εγκεκριμένα Σχέδια Διαχείρισης, ώστε να επιτυγχάνεται η προστασία και η επίτευξη του στόχου της καλής οικολογικής κατάστασης των υδάτων.

2. Κάθε Περιφέρεια καταρτίζει Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης των υδάτων από μεμονωμένους ρύπους ή ομάδες ρύπων που αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για το υδατικό περιβάλλον ή μέσω αυτού, συμπεριλαμβανομένων και των υδάτων που προορίζονται για την άντληση πόσιμου ύδατος. Πάτους ρύπους αυτούς, που

καθορίζονται με απόφαση των αρμόδιων οργάνων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα μέτρα αποσκοπούν στην προοδευτική μείωση ή ανακύκλωση και, για τις επικίνδυνες ουσίες προτεραιότητας που καθορίζονται με όμοια απόφαση, στην παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών.

3. Κάθε Περιφέρεια καταρτίζει Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Τα μέτρα αυτά αποσκοπούν στην επίτευξη του στόχου της καλής χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων.

4. Τα Προγράμματα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης καταρτίζονται και εγκρίνονται όπως τα Σχέδια Διαχείρισης. Το ειδικότερο περιεχόμενο των Προγραμμάτων Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης καθορίζεται με το προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παράγραφο 1 του άρθρου 15.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ' ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Άρθρο 10 Γενικοί κανόνες χρήσης των υδάτων

1. Οι χρήσεις υδάτων διακρίνονται σε ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, ενεργειακή χρήση και χρήση για αναψυχή. Η χρήση για ύδρευση έχει προτεραιότητα, ως προς την ποσότητα και την ποιότητα, έναντι κάθε άλλης χρήσης.

2. Για κάθε χρήση εφαρμόζονται οι παρακάτω κανόνες, οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στα Σχέδια Διαχείρισης:

α) Κάθε χρήση πρέπει να αποβλέπει στη βιώσιμη και ισορροπητή ικανοποίηση των αναπτυξιακών αναγκών και να διασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη προστασία των υδάτων, την επάρκεια των αποθεμάτων τους και τη διατήρηση της ποιότητάς τους, ιδιαίτερα δε τη μείωση και την αποτροπή της ρύπανσής τους.

β) Η ικανοποίηση της ζήτησης του νερού γίνεται με βάση τα όρια και τις δυνατότητες των υδατικών αποθεμάτων, λαμβανομένων υπόψη των αναγκών για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων, καθώς και της ισορροπίας που απαιτείται μεταξύ άντλησης κι ανατροφοδότησης των υπόγειων υδάτων. Οι ανάγκες των χρήσεων σε νερό ικανοποιούνται κατά το δυνατόν σε επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού. Κατά τη διαχείριση των υδάτων πρέπει να εξασφαλίζεται η εξοικονόμηση νερού μέσω της χρήσης τεχνικών μεθόδων, οικονομικών κινήτρων και εργαλείων.

Άρθρο 11 Άδειες χρήσεως νερού και εκτέλεσης έργων αξιοποίησης του

1. Κάθε νομικό ή φυσικό πρόσωπο μπορεί να χρησιμοποιεί νερό ή να εκτελεί έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων για την ικανοποίηση των πραγματικών αναγκών του. Μπορεί επίσης να εκτελεί έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων και για ανάγκες πέρα από τις δικές του ή ανεξάρτητα από αυτές, εφόσον εξυπηρετούν την κοινή ωφέλεια.

Για την παροχή νερού, τη χρήση νερού και την εκτέλεση έργου για την αξιοποίηση υδατικών πόρων, καθώς και για κάθε έργο ή δραστηριότητα που αποσκοπεί στην προστασία από τη ρύπανση λόγω απόρριψης υγρών αποβλήτων στο περιβάλλον, από φυσικό ή νομικό πρόσωπο του ιδιωτικού και του δημόσιου τομέα, απαιτείται άδεια. Για την έκδοση άδειας χρήσης νερού ή εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων πρέπει να τεκμηριώνεται η

διαθεσιμότητα των ποσοτήτων νερού που θα αξιοποιηθούν, καθώς και η σκοπιμότητα έκδοσης της σύμφωνα με το οικείο Σχέδιο Διαχείρισης και τα μέτρα που καθορίζονται από το Πρόγραμμα Μέτρων.

2. Οι άδειες της προηγούμενης παραγράφου εκδίδονται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Γεωργίας, Ανάπτυξης, Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης και Οικονομίας και Οικονομικών καθορίζονται οι κατηγορίες των αδειών, η ειδικότερη διαδικασία έκδοσης τους, το περιεχόμενο τους, η διάρκεια ισχύος τους και κάθε σχετικό θέμα.

3. Με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας μπορεί να προβλέπεται η τήρηση πρόσθετων ή ειδικότερων προϋποθέσεων και η διενέργεια πρόσθετων ελέγχων, προκειμένου να εκδοθεί άδεια συγκεκριμένης χρήσης νερού ή και εκτέλεσης συγκεκριμένης κατηγορίας έργου, καθώς και η δυνατότητα επιβολής περιοριστικών μέτρων στις χρήσεις και τη λειτουργία έργων, σε συνδυασμό και με ειδικές περιστάσεις.

Άρθρο 12 Ανάκτηση κόστους για υπηρεσίες ύδατος

Με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, που δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, καθορίζονται οι διαδικασίες, η μέθοδος και τα επίπεδα ανάκτησης του κόστους των υπηρεσιών ύδατος στις διάφορες χρήσεις λαμβάνοντας υπόψη:

α) την ανάλυση των χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής,

β) την επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων,

γ) την οικονομική ανάλυση, που διενεργείται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15,

δ) την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»,

ε) τα κοινωνικά, τα περιβαλλοντικά και τα οικονομικά αποτελέσματα της ανάκτησης, καθώς και τις γεωγραφικές και τις κλιματολογικές συνθήκες της οικείας περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε' ΚΥΡΩΣΕΙΣ

Άρθρο 13 Διοικητικές κυρώσεις

1. Σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα που ρυπαίνουν ή υποβαθμίζουν με άλλον τρόπο τα ύδατα ή παραβαίνουν τις διατάξεις του νόμου αυτού ή των κανονιστικών πράξεων που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότηση του, καθώς και στους παραβάτες των όρων και των περιορισμών που καθορίζονται στις άδειες που προβλέπονται στο άρθρο 11, επιβάλλεται ως διοικητική κύρωση πρόστιμο από 200 ευρώ μέχρι 600.000 ευρώ, ανάλογα με την σοβαρότητα, τη συχνότητα και την υποτροπή της παράβασης, ανεξάρτητα από την ποινική ή την αστική ευθύνη ή τις διοικητικές κυρώσεις που προβλέπονται από άλλες διατάξεις.

2. Το πρόστιμο επιβάλλεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα Περιφέρειας, ύστερα από αυτοψία, έκθεση διαπίστωσης της παράβασης και εισήγηση της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας.

Αρμόδια για τον έλεγχο και τη διαπίστωση της παράβασης είναι και τα κλιμάκια Ελέγχων Ποιότητας Περιβάλλοντος, που προβλέπονται στο άρθρο 26 του Ν. 1650/1986. Στην περίπτωση αυτή το πρόστιμο επιβάλλεται με από-

φαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων.

3. Σε περίπτωση εξαιρετικά σοβαρής ρύπανσης ή υποβάθμισης των υδάτων και ιδίως στην περίπτωση που το είδος ή η ποσότητα των ρύπων ή από την έκταση ή τη σημασία της υποβάθμισης των υδάτων υπάρχει κίνδυνος θανάτου ή βαριάς σωματικής βλάβης ή ευρείας οικολογικής διατάραξης ή καταστροφής, το ύψος του προστίμου μπορεί να ανέλθει μέχρι 1.500.000 ευρώ.

4. Ανμιαεπιχείρηση ή δραστηριότητα προκαλεί ρύπανση ή άλλη υποβάθμιση των υδάτων, μπορεί να απαγορευθεί προσωρινά η λειτουργία της μέχρις ότου ληφθούν κατάλληλα μέτρα ώστε να πάψει οριστικά η ρύπανση ή η υποβάθμιση των υδάτων. Μπορεί επίσης να επιβληθεί η οριστική διακοπή της λειτουργίας της, αν η επιχείρηση ή δραστηριότητα παραλείπει να συμμορφωθεί προς τα υποδεικνυόμενα μέτρα ή αν η λήψη αποτελεσματικών μέτρων είναι ανέφικτη. Η διακοπή επιβάλλεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας ύστερα από εισήγηση, αυτοψία και σχετική έκθεση διαπίστωσης της παράβασης της Διεύθυνσης Υδάτων. Με την πράξη επιβολής της απαγόρευσης λειτουργίας μπορεί να προβλέπεται και πρόστιμο από 500 ευρώ έως 50.000 ευρώ για κάθε ημέρα παράβασης της απαγόρευσης.

5. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων και Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης μπορεί να μεταβιβάζονται στους οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης α' και β' βαθμού αρμοδιότητες που αφορούν τον έλεγχο και την επιβολή κυρώσεων κατά τις διατάξεις του παρόντος άρθρου ή να καθορίζεται η διαδικασία ελέγχου και επιβολής της κύρωσης και κάθε σχετικό θέμα.

Άρθρο 14 Ποινικές κυρώσεις

Σε όποιον προκαλεί ρύπανση ή υποβαθμίζει με άλλον τρόπο τα ύδατα, με πράξη ή παράλειψη που αντιβαίνει στις διατάξεις του νόμου αυτού ή των κατ' εξουσιοδότηση του εκδιδόμενων διαταγμάτων ή αποφάσεων, καθώς και σε όποιον ασκεί δραστηριότητα ή επιχείρηση χωρίς την απαιτούμενη, σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου αυτού ή των κατ' εξουσιοδότηση του εκδιδόμενων διαταγμάτων ή αποφάσεων, άδεια ή έγκριση ή υπερβαίνει τα όρια της άδειας ή έγκρισης που του έχει χορηγηθεί και υποβαθμίζει τα ύδατα, επιβάλλονται οι ποινικές κυρώσεις που προβλέπονται στο άρθρο 28 του Ν. 1650/1986.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ' ΕΞΟΥΣΙΟΔΟΤΙΚΕΣ, ΚΑΤΑΡΓΟΥΜΕΝΕΣ, ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Άρθρο 15 Εξουσιοδοτικές διατάξεις

1. Με το προεδρικό διάταγμα που εκδίδεται ύστερα από πρόταση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Ανάπτυξης, Γεωργίας, Οικονομίας και Οικονομικών, Εμπορικής Ναυτιλίας, Υγείας και Πρόνοιας και Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης, εκτός από τα θέματα που προβλέπεται να ρυθμίζονται στις προηγούμενες διατάξεις του νόμου αυτού, καθορίζονται:

α) Η ειδικότερη διαδικασία και ο τρόπος παρακολούθησης της κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθώς και των προστατευόμενων υδατικών οικοσυστημάτων.

β) Ο τρόπος και η διαδικασία ελέγχου των σημειακών και διάχυτων πηγών ρύπανσης.

γ) Ενσωματώνονται στο εσωτερικό δίκαιο οι ρυθμίσεις των παραρτημάτων της Οδηγίας 2000/60/Ε.Κ. του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και

δ) Ρυθμίζεται κάθε άλλο θέμα σχετικό με την προστασία και διαχείριση των υδάτων και την ενσωμάτωση των διατάξεων της ανωτέρω Οδηγίας στο εσωτερικό δίκαιο.

2. Με απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης και του κατά περίπτωση αρμόδιου Υπουργού μπορεί να καθορίζονται ειδικότερα οι φορείς που υποχρεούνται, κατά το άρθρο 4 παρ. 1 περίπτωση ζ', να παρέχουν στοιχεία στην Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας, καθορίζεται ο τρόπος παροχής των πληροφοριών και κάθε άλλη λεπτομέρεια για τη λειτουργία και τη διαρκή ενημέρωση της βάσης δεδομένων.

Άρθρο 16 Καταργούμενες και μεταβατικές διατάξεις

1. Κάθε διάταξη που αντιβαίνει τις διατάξεις αυτού του νόμου ή ανάγεται σε θέματα που ρυθμίζονται ειδικά από αυτόν καταργείται από την έναρξη ισχύος του. Ωσπου να αρχίσουν να ισχύουν οι κανονιστικές πράξεις που προβλέπεται να εκδοθούν κατ' εξουσιοδότηση του παρόντος, ισχύουν οι μέχρι σήμερα ισχύουσες διατάξεις που ρυθμίζουν το ίδιο αντικείμενο.

2. Η αρμοδιότητα για την έκδοση των αδειών της παραγράφου 2 του άρθρου 11 ασκείται από τις οικείες Περιφέρειες από 1.1.2005. Μέχρι την ανωτέρω ημερομηνία αρμόδιες για την έκδοση των αδειών της παραγράφου 2 του άρθρου 11 είναι οι φορείς που ορίζονται από τις μέχρι σήμερα ισχύουσες διατάξεις.

3. Οι άδειες χρήσης και έργων αξιοποίησης υδάτων, που εκδίδονται μέχρι την 1.1.2005, εκδίδονται σύμφωνα με τις μέχρι σήμερα ισχύουσες διατάξεις και δεν επιτρέπεται να έχουν χρονική διάρκεια μεγαλύτερη των τριών ετών. Οι άδειες αυτές μπορούν να ανανεώνονται μία ή περισσότερες φορές για ίσο χρονικό διάστημα, σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου αυτού και των διατάξεων των αποφάσεων που προβλέπονται στις παραγράφους 2 και 3 του άρθρου 11.

4. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Ανάπτυξης, Γεωργίας και Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης καθορίζονται οι διαδικασίες, οι όροι, οι προϋποθέσεις και η αποκλειστική προθεσμία μέσα στην οποία όσοι έχουν δικαίωμα χρήσης υδάτων σύμφωνα με τις προϊσχύουσες διατάξεις υποχρεούνται, εφόσον δεν έχουν λάβει άδεια σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 1739/1987, να υποβάλουν αίτηση για τη χορήγηση άδειας.

Άρθρο 17 Έναρξη ισχύος

Η ισχύς του παρόντος νόμου αρχίζει από τη δημοσίευσή του στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά στις επί μέρους διατάξεις του.

Παραγγέλλομε τη δημοσίευση του παρόντος στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως και την εκτέλεση του ως Νόμου του Κράτους.

Αθήνα, 5 Δεκεμβρίου 2003

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΟΙ ΥΠΟΥΡΓΟΙ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
Ν. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΑΚΗΣ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ, ΔΗΜΟΣΙΑΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΣΗΣ
Κ. ΣΚΑΝΔΑΛΙΔΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΑΠ. - ΑΘ. ΤΣΟΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
Β. ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ

ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ
Κ. ΣΤΕΦΑΝΗΣ

ΓΕΩΡΓΙΑΣ
Γ. ΔΡΥΣ

ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ
Γ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ

Θεωρήθηκε και τέθηκε η Μεγάλη Σφραγίδα του Κράτους

Αθήνα, 9 Δεκεμβρίου 2003

Ο ΕΠΙ ΤΗΣ ΔΙΚΑΙΟΣΥΝΗΣ ΥΠΟΥΡΓΟΣ
Φ. ΠΕΤΣΑΛΝΙΚΟ

220. ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

220.1 Πεδίο εφαρμογής – Ορισμοί

220.1.1 Πεδίο εφαρμογής

Το πεδίο εφαρμογής του παρόντος περιλαμβάνει τις ακόλουθες εργασίες:

- κατακόρυφες ερευνητικές υδρογεωτρήσεις διαμέτρου 8,5 in (228 mm) σε κάθε είδους πέτρωμα (μαλακό ή σκληρό)
- παραγωγικές υδρογεωτρήσεις διάφορων διαμέτρων σε κάθε είδους πέτρωμα (μαλακό ή σκληρό) με διεύρυνση υπάρχουσας ερευνητικής γεώτρησης διαμέτρου 8,5 in (228 mm).

220.1.2 Ορισμοί

- Ερευνητική υδρογεώτρηση είναι η γεώτρηση που διανοίγεται με σκοπό τη διασταύρωση των δεδομένων της μελέτης για την υδροφορία της περιοχής και τη λήψη στοιχείων της υδραυλικής συμπεριφοράς των σχηματισμών που θα διατηρηθούν.
- Παραγωγική υδρογεώτρηση είναι η μετατροπή της ερευνητικής γεώτρησης σε παραγωγική με της διεύρυνση και σωλήνωση της, με την τοποθέτηση πιεζόμετρου και χαλικοφίλτρου και με τον καθαρισμό και την εκτέλεση δοκιμαστικής άντλησης. Η παραγωγική υδρογεώτρηση έχει σκοπό τον ποσοτικό προσδιορισμό των δυνατοτήτων άντλησης και των προδιαγραφών του απαιτούμενου μόνιμου αντλητικού συγκροτήματος.
- Μαλακό πέτρωμα, όσον αφορά στις υδρογεωτρήσεις, είναι το πέτρωμα με σκληρότητα μικρότερη από 3 MOHS.
- Σκληρό πέτρωμα, όσον αφορά στις υδρογεωτρήσεις, είναι το πέτρωμα με σκληρότητα μεγαλύτερη ή ίση προς 3 MOHS.
- Χαλικοφίλτρο είναι υλικό φυσικής προέλευσης, που αποτελείται από στρογγυλεμένα χαλίκια χαλαζιακής σύστασης και είναι απαλλαγμένο από αργιλικά ή άλλα οργανικά συστατικά.

220.2 Υλικά

- Τα ισχύοντα πρότυπα για τα διάφορα είδη σωλήνων υδρογεώτρησης είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 220.2.1: Κανονισμοί DIN για σωλήνες υδρογεωτρήσεων

#	Είδος σωλήνα	Πρότυπα
1	2	3
1	Σωλήνες με σπείρωμα	DIN 2440
2	Σωλήνες χωρίς ραφές	DIN 2448
3	Συγκολλημένοι χαλύβδινοι σωλήνες	DIN 2458
3	Διάτρητοι σωλήνες	DIN 4922

- Για τα χαλικοφίλτρα ισχύει το DIN 4924

220.3 Εκτέλεση εργασιών

220.3.1 Γενικά

- Οι υδρογεωτρήσεις εκτελούνται με κατάλληλο γεωτρητικό εξοπλισμό. Προτιμάται συνήθως περιστροφικό γεωτρήσιμο με αερόσφυρα. Στην περίπτωση που επιβάλλεται σταθεροποίηση των τοιχωμάτων της διάτρησης λόγω της φύσεως του εδάφους, χρησιμοποιείται κατάλληλος διατρητικός πολτός (π.χ. μπεντονίτης).
- Οι υδρογεωτρήσεις κατασκευάζονται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε το εσωτερικό να προστατεύεται έναντι μόλυνσης από ξένα σώματα.
- Όλα τα υλικά και ο εξοπλισμός, πριν από τη χρήση τους στην κατασκευή, πρέπει να καθαρίζονται επιμελώς.
- Με βάση την υφισταμένη υδρογεωλογική μελέτη διεξάγονται ερευνητικές υδρογεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του έργου σε οποιασδήποτε φύσεως πέτρωμα και με εκτιμώμενο βάθος γεωτρήσεων από 50 m

έως 150 m. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει υδρογεωλογική μελέτη, συντάσσεται σχετική μελέτη από τον Ανάδοχο, για την οποία αμείβεται με σύνταξη Π.Κ.Τ.Μ.Ν.Ε. κατά τα ισχύοντα σε ανάλογες μελέτες του Υπουργείου Γεωργίας. Διευκρινίζεται ότι τα παραπάνω ενδεικτικά βάθη δεν αποτελούν συμβατικό στοιχείο και ότι ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να εκτελέσει τις οποιεσδήποτε σχετικές εργασίες, τόσο για βάθη μεγαλύτερα όσο και για μικρότερα από τα προαναφερθέντα με τους ίδιους συμβατικούς όρους.

- (ε) Στη συνέχεια σε όσες ερευνητικές γεωτρήσεις τα αποτελέσματα είναι θετικά, η γεώτρηση μετατρέπεται σε παραγωγική με τη διεύρυνση, τη σωλήνωση και τις υπόλοιπες σχετικές εργασίες.
- (στ) Κατόπιν, με βάση τα αποτελέσματα των παραγωγικών υδρογεωτρήσεων, συντάσσεται σχετική μελέτη και κατασκευάζεται ο απαραίτητος τροφοδοτικός αγωγός από τις θέσεις των γεωτρήσεων μέχρι τις θέσεις άρδευσης.

220.3.2 Χρονική Ακολουθία των Εργασιών

Η χρονική αλληλουχία των εργασιών είναι η ακόλουθη:

- 3. • διάτρηση αρχικών ερευνητικών γεωτρήσεων με διάμετρο 8,5 in (228 mm)
- 4. • διεύρυνση των επιτυχημένων ερευνητικών γεωτρήσεων σε γεωτρήσεις με διαμέτρους 12,25 in (311 mm) ή 15,5 in (394 mm) ή 17,5 in (445 mm) ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες
- 5. • τοποθέτηση τελικής σωλήνωσης διαμέτρου ανάλογης με την τελική διάμετρο της παραγωγικής γεώτρησης
- 6. • τοποθέτηση πιεζομετρικού σωλήνα διαμέτρου 1 in (25,4 mm)
- 7. • καθαρισμός και πλύσιμο της γεώτρησης
- 8. • χαλίκωση της γεώτρησης
- 9. • κατασκευή στομίου γεώτρησης
- 10. • δοκιμαστική άντληση

220.3.2 Κατασκευαστικές Απαιτήσεις

220.3.2.1 Τελική Σωλήνωση Γεωτρήσεων

- (α) Στις επιτυχημένες ερευνητικές υδρογεωτρήσεις που μετατρέπονται σε παραγωγικές, τοποθετείται σωλήνωση εσωτερικής διαμέτρου ανάλογα με τη διάσταση της τελικής διαμέτρου:
 - 1. - για τελική διάμετρο 12,25 in (311 mm) τοποθετείται σωλήνωση διαμέτρου 8 in (203 mm)
 - 2. - για τελική διάμετρο 15,5 in (394 mm) τοποθετείται σωλήνωση διαμέτρου 10,75 (273 mm)
 - 3. - για τελική διάμετρο 17,5 in (445 mm) τοποθετείται σωλήνωση διαμέτρου 12 in (305 mm)
- (β) Οι χωρίς διατρήσεις (τυφλοί) σωλήνες κατασκευάζονται από γαλβανισμένα χαλύβδινα ελάσματα με κόλληση κατά γενέτειρα. Σε καμία περίπτωση δεν επιτρέπεται ελικοειδής ραφή. Το πάχος του τοιχώματος των σωλήνων θα είναι 5 mm για τους σωλήνες διαμέτρου 8,5 in (228 mm) και 6 mm για τους σωλήνες διαμέτρου 10,75 in (273 mm) και 12 in (305 mm). Οι σύνδεσμοι των τυφλών σωλήνων ή / και φιλτροσωλήνων θα έχουν σπειρώματα (μούφες).
- (γ) Οι φιλτροσωλήνες θα φέρουν επιμήκη γεφυρωτή διάτρηση.
- (δ) Κατά το στάδιο της τελικής τοποθέτησης, ο Ανάδοχος θα διαθέτει στις θέσεις τοποθέτησης τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τα ανάλογα εργαλεία και το αναγκαίο προσωπικό για τη σωστή εκτέλεση των εργασιών αυτών, έτσι ώστε να μην προκαλούνται καθυστερήσεις.
- (ε) Ο Ανάδοχος προμηθεύεται και τοποθετεί κατάλληλους οδηγούς ανά 6 m στους φιλτροσωλήνες και ανά 15 m στους τυφλούς σωλήνες, ώστε η στήλη των φίλτρων μέσα στην γεώτρηση να τοποθετείται ομόκεντρα. Οι οδηγοί αυτοί μορφώνονται με ελάσματα που έχουν καμφθεί κατάλληλα. Στους χαλυβδοσωλήνες προσαρμόζονται τουλάχιστον 3 ελάσματα οδηγών σε γωνία 120° μεταξύ τους για κάθε οδηγό και με διάμετρο μικρότερη από την διάμετρο της γεώτρησης. Οι οδηγοί πρέπει να είναι της ίδιας σύστασης και φύσης με το υλικό των γαλβανισμένων σωλήνων και να μη δημιουργούν κινδύνους διάβρωσης στους σωλήνες.
- (στ) Ο Ανάδοχος είναι υπεύθυνος για την ευθύγραμμη σύνδεση των τμημάτων και την κατακόρυφη τοποθέτηση της τελικής σωλήνωσης.

220.3.2.2 Πιεζομετρικοί Σωλήνες

- (α) Στις γεωτρήσεις τοποθετείται πιεζομετρικός σωλήνας μεταξύ των τοιχωμάτων της διάτρησης και της εξωτερικής επιφάνειας της τελικής σωλήνωσης. Οι σωλήνες αυτοί είναι γαλβανισμένοι χαλυβδοσωλήνες διαμέτρου 1 in (25,4 mm). Η σύνδεση των σωλήνων γίνεται με κοχλιωτούς συνδέσμους (μούφες). Ο πιεζομετρικός σωλήνας πρέπει να επικοινωνεί στο τέρμα του άνετα με την τελική σωλήνωση και να είναι ανά 6 m συγκολλημένος εξωτερικά με τη μόνιμη σωλήνωση. Μπορεί επίσης να είναι κατά ένα μικρό ποσοστό διάτρητος στο κάτω τμήμα.
- (β) Ο Ανάδοχος είναι υπεύθυνος για τη σωστή τοποθέτηση των πιεζομετρικών σωλήνων. Η λειτουργία των πιεζομετρικών πρέπει να ελέγχεται κατά την διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων.
- (γ) Εφόσον διαπιστωθεί οποιοδήποτε ελάττωμα που οφείλεται σε κακοτεχνία, παράλειψη και γενικά υπαιτιότητα του Αναδόχου, αυτός είναι υποχρεωμένος με δικά του μέσα και προσωπικό, χωρίς καμία πρόσθετη αμοιβή, να αποκαταστήσει τη λειτουργία του πιεζόμετρου. Σε περίπτωση που η λειτουργία του πιεζόμετρου δεν αποκατασταθεί, η γεώτρηση απορρίπτεται (δεν παραλαμβάνεται). Σε αυτήν την περίπτωση ο Ανάδοχος υποχρεούται να διανοίξει άλλη γεώτρηση χωρίς την καταβολή επιπλέον αμοιβής.

220.3.2.3 Χαλικόφιλτρο

- (α) Το χαλικόφιλτρο τοποθετείται μεταξύ της διάτρησης και της τελικής σωλήνωσης των γεωτρήσεων. Η μέγιστη διάμετρος των διαβαθμισμένων χαλικιών θα είναι ίση με το τριπλάσιο του ανοίγματος των φίλτρων, η δε ελάχιστη κατά το $\frac{1}{3}$ μεγαλύτερη του ανοίγματος τους. Το χαλικόφιλτρο πρέπει πριν από την χρήση του να πλένεται επιμελώς.
- (β) Το υλικό του χαλικόφιλτρου τοποθετείται προσεκτικά και σε μικρές ποσότητες, με την βοήθεια χωνιού, μέσα στο δακτυλιοειδή χώρο, έτσι ώστε να μη δημιουργούνται κενά γύρω από την τελική σωλήνωση.

220.3.2.4 Πλύσιμο - Καθαρισμός - Ανάπτυξη Γεωτρήσεων

- (α) Μετά την τοποθέτηση της τελικής σωλήνωσης, απομακρύνεται ο πολτός που τυχόν χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάτρηση και ο πλακούντας που πιθανά έχει σχηματιστεί στα τοιχώματα της γεώτρησης.
- (β) Στη συνέχεια γίνεται ανάπτυξη της γεώτρησης με μια από τις ακόλουθες μεθόδους:
 - 4. - ανάπτυξη με εμβολισμό
 - 5. - ανάπτυξη σε τμήματα 2 m με αντλία εμφύσησης αέρα (air lift) και με συνεχή έλεγχο της περιεκτικότητας σε στερεά υλικά
 - 6. - ανάπτυξη σε τμήματα 2 m με αντλία εκτόξευσης νερού (jet).
- (γ) Ο Ανάδοχος είναι υποχρεωμένος να διαθέτει τον απαραίτητο εξοπλισμό και τα υλικά για την εφαρμογή των προαναφερθέντων μεθόδων. Η επιλογή της μεθόδου και ο προσδιορισμός της απαιτούμενης διάρκειας της εργασίας για κάθε γεώτρηση γίνεται με έγκριση της Υπηρεσίας.
- (δ) Ο έλεγχος περιεκτικότητας του νερού σε στερεά υλικά θα γίνεται ανά 10 min με τη μέτρηση της ποσότητας τους ανά lit νερού. Για το σκοπό αυτό ο Ανάδοχος υποχρεούται να διαθέτει τουλάχιστον 2 κώνους IMHOFF του ενός λίτρου με τις εξής τιμές βαθμολόγησης:
 - 7. - 100-40 ανά 2 cm³
 - 8. - 40-10 ανά 1 cm³
 - 9. - 10-2 ανά 0,1cm³
 - 10. - 2-0 ανά 0,1 cm³
- (ε) Ο Ανάδοχος είναι απολύτως υπεύθυνος για τη σωστή εκτέλεση των εργασιών ανάπτυξης, η οποία δεν θα θεωρείται ως ολοκληρωθείσα, παρά μόνο εφόσον από τη δοκιμή παροχής εξακριβωθεί ότι δεν παρουσιάζονται ασυνήθεις απώλειες πίεσης.
- (στ) Άντληση Ανάπτυξης
 - 11. - Η άντληση ανάπτυξης γίνεται μετά την εφαρμογή των προαναφερθέντων μεθόδων ανάπτυξης και πριν από την έναρξη των δοκιμαστικών αντλήσεων.
 - 12. - Για την άντληση ανάπτυξης χρησιμοποιείται αντλία κατακόρυφου άξονα τύπου «πομόνας», εξωτερικής διαμέτρου 0,75 in (19 mm). Για γεωτρήσεις με τελική σωλήνωση διαμέτρου 8 in (203 mm) θα είναι δυνατή η χρήση «πομόνας» εξωτερικής διαμέτρου 5 in (127 mm).

13. - Η άντληση ανάπτυξης γίνεται με συχνές διακοπές και αυξομειώσεις της παροχής μέχρι που το αντλούμενο νερό, με τη μεγαλύτερη δυνατή παροχή να είναι καθαρό χωρίς στερεά αιωρήματα.
14. - Κατά διαστήματα γίνεται δειγματοληψία και έλεγχος της περιεκτικότητας του νερού σε στερεά αιωρήματα κατά τα προαναφερθέντα.

220.3.2.4 Τελική Δοκιμαστική Άντληση

- (α) Αφού αποδειχθεί επιτυχής η ανάπτυξη κάθε γεώτρησης, εκτελείται η τελική δοκιμαστική άντληση με άντληση κατά βαθμίδες και με άντληση σταθερής παροχής, με αντλία κατακόρυφου άξονα (πομόνα), κατάλληλη ώστε να διεξαχθούν όλες οι μετρήσεις παροχής χωρίς προβλήματα και για οποιοδήποτε βάθος.
- (β) Η παροχή θα ρυθμίζεται με δικλείδες ή με αλλαγή στροφών του κινητήρα και θα μετράται με κατάλληλο μετρητή. Το νερό της αντλίας θα εκρέει τουλάχιστον 100 m μακριά από την γεώτρηση, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διείσδυσης και διαταραχής της δοκιμής.
- (γ) Η συνολική διάρκεια της άντλησης κατά βαθμίδες κυμαίνεται από 8 h έως 16 h και μοιράζεται σε 4 ισόχρονες βαθμίδες, στις οποίες οι παροχές είναι περίπου 0,25, 0,50, 0,75 και 1 της μεγαλύτερης δυνατής παροχής που εκτιμήθηκε από την άντληση ανάπτυξης.
- (δ) Η διάρκεια της άντλησης σταθερής παροχής θα είναι τουλάχιστον 48 συνεχείς ώρες. Σε όλη την διάρκεια της άντλησης μετράται αδιαλείπτως η παροχή, χωριστά για κάθε γεώτρηση. Οι μετρήσεις της στάθμης πτώσης και επανόδου του νερού είναι συνεχείς και πυκνές και γίνονται με ηλεκτρικό σταθμόμετρο ακριβείας με ακρίβεια ανάγνωσης 0,5 cm. Στα πρώτα 5 min οι μετρήσεις θα γίνονται ανά min, στα επόμενα 25 min ανά 5 min και στη συνέχεια ανά 0,5 h. Οι μετρήσεις στάθμης νερού γίνονται στο πιεζόμετρο της γεώτρησης.
- (ε) Αν για οποιονδήποτε λόγο (βλάβη αντλίας, κινητήρα, κτλ) διακοπεί η άντληση, τότε θα επαναλαμβάνεται από την αρχή μέχρι να επιτευχθεί συνεχής άντληση 48 ωρών. Πριν από την επανάληψη της άντλησης πρέπει να αφήνεται επαρκής χρόνος για την επαναφορά της στάθμης στα αρχικά επίπεδα.
- (στ) Μετά το τέλος της άντλησης ο Ανάδοχος θα παρακολουθεί και θα μετρά το χρόνο επανόδου της στάθμης στα ίδια σημεία που έγιναν οι μετρήσεις πτώσης στάθμης κατά τη διάρκεια των αντλήσεων, μέχρι τη σταθεροποίηση της στάθμης, αλλά πάντως για χρονικά διαστήματα που δεν υπερβαίνουν το χρόνο διάρκειας της άντλησης.
- (ζ) Τα στοιχεία από τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις των αντλήσεων καταγράφονται σε ειδικά δελτία εγκεκριμένα από την Υπηρεσία.

220.3.2.5 Στόμια Γεωτρήσεων

- (α) Μετά την εκτέλεση όλων των μετρήσεων στις γεωτρήσεις και τον υπολογισμό της ωφέλιμης παροχής τους, ο Ανάδοχος υποχρεούται να ασφαλίσει τόσο αυτές, όσο και τα πιεζόμετρα τους, με κατάλληλα μεταλλικά βιδωτά πώματα εφοδιασμένα με λουκέτο ασφαλείας, ώστε να είναι δυνατόν να ανοιχτούν μόνο από την Υπηρεσία.
- (β) Οι γεωτρήσεις δεν θα παραλαμβάνονται αν το πιεζόμετρο δεν λειτουργεί ή αν η γεώτρηση έχει οποιοδήποτε πρόβλημα μετά την κατασκευή της και κατά την παράδοση της.

220.4 Περιλαμβανόμενες Δαπάνες

Οι εργασίες ερευνητικών υδρογετρήσεων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

11. • την προσκόμιση στη θέση της γεώτρησης του κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού όπως και την αποκόμιση του μετά το πέρας των εργασιών
12. • τη διάτρηση με διάμετρο 8,5 in (228 mm)
13. • τη δειγματοληψία των προϊόντων διάτρησης, την προμήθεια και χρήση των υγρών διάτρησης του νερού των διαφόρων κοπτικών κτλ.
14. • την καταγραφή, παρουσίαση και υποβολή στην Υπηρεσία των στοιχείων της γεώτρησης (στάθμη νερού, στρωματογραφία κτλ.)

Οι εργασίες παραγωγικών υδρογετρήσεων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

15. • την προσκόμιση στη θέση της γεώτρησης του κατάλληλου μηχανικού εξοπλισμού όπως επίσης και την αποκόμιση του μετά το πέρας των εργασιών
16. • τη διεύρυνση της ερευνητικής γεώτρησης σε γεωτρήσεις διαμέτρων 12,25 in (311 mm), 15,5 in (394 mm), 17,5 in (445 mm) ανάλογα με τις υφιστάμενες ανάγκες

17. • την προμήθεια και χρήση των υγρών διάτρησης, του νερού, των διαφόρων κοπτικών κτλ.
18. • την προμήθεια των απαιτούμενων υλικών, την τοποθέτηση τελικής σωλήνωσης διαμέτρου ανάλογης με την τελική διάμετρο της παραγωγικής γεώτρησης και την τοποθέτηση πιεζομετρικού σωλήνα διαμέτρου 1 in (25 mm)
19. • τον καθαρισμό, το πλύσιμο και την ανάπτυξη της γεώτρησης
20. • τη χαλίκωση της γεώτρησης
21. • την κατασκευή στομίου γεώτρησης με το σύστημα ασφαλείας αυτού
22. • την τελική δοκιμαστική άντληση και όλους τους υπόλοιπους ελέγχους και δοκιμές που περιγράφηκαν ανωτέρω

220.5 Επιμέτρηση και Πληρωμή

(α) Ερευνητικές υδρογεωτρήσεις διαμέτρου 8,5 in (228 mm):

Οι εργασίες διάνοιξης ερευνητικών υδρογεωτρήσεων θα επιμετρώνται σε μέτρα μήκους (m) , ανεξαρτήτως βάθους, πλήρως περαιωμένων, ανά κατηγορία πετρώματος που εμφανίζεται στο Τιμολόγιο. Η επιμέτρηση θα γίνεται σύμφωνα με την παράγραφο 100.5 της παρούσας ΓΤΣΥ.

(β) Παραγωγικές υδρογεωτρήσεις διαφόρων διαμέτρων:

Οι εργασίες διάνοιξης παραγωγικών υδρογεωτρήσεων θα επιμετρώνται σε μέτρα μήκους (m), ανεξαρτήτως βάθους, πλήρως περαιωμένων, ανά κατηγορία πετρώματος και διάμετρο διεύρυνσης που εμφανίζεται στο Τιμολόγιο. Η επιμέτρηση θα γίνεται σύμφωνα με την παράγραφο 100.5 της παρούσας ΓΤΣΥ.

Η (οι) ποσότητα (ες) των εργασιών που εκτελέστηκαν ικανοποιητικά, όπως αυτή (ες) επιμετρήθηκε (αν) σύμφωνα με τα ανωτέρω και εγκρίθηκε (αν) από την Υπηρεσία, θα πληρώνεται (ονται) σύμφωνα με την παράγραφο 100.5 της παρούσας ΓΤΣΥ για τις διάφορες κατηγορίες πετρωμάτων και διαμέτρων διευρύνσεων. Η (οι) τιμή (ές) μονάδας θα αποτελεί (ούν) πλήρη αποζημίωση για τα όσα ορίζονται στην ανωτέρω παράγραφο «Περιλαμβανόμενες Δαπάνες» του παρόντος άρθρου, καθώς και για κάθε άλλη δαπάνη που είναι αναγκαία σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 100 «Γενικοί Όροι».

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αυλωνίτης Α. - Αυλωνίτης Σ. (2006). Μηχανική των Ρευστών , Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.

Κελεσιδης Β. (2005). Τεχνική Γεωτρήσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Κωστάκης Γ. (2003). Εισαγωγή στην Αξιολόγηση των Βιομηχανικών Ορυκτών, Πολυτεχνείο Κρήτης , Χανιά.

Μιχαλάκης Ι. (2005). Η γεωλογική υπόθεση της θέσεως της διάτρησης για τον εντοπισμό υπόγειων υδροφορέων, μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Σταματάκη Σ. - Δημητρέλου Ε. (2007). Σημειώσεις Τεχνολογίας Γεωτρήσεων, www.metal.ntua.gr, πρόσβαση 12 Απριλίου 2007.

Χρηστίδης Γ. (2002). Κοιτασματολογία II (Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα), Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Γενική Γραμματεία Επενδύσεων και Ανάπτυξης Γραμματεία Δημοσίων Έργων, (2008). Πρότυπα Τεύχη για Περιφερειακά Έργα Τεύχη Δημοπράτησης Γενική τεχνική συγγραφή υποχρεώσεων – Υδρογεωτρήσεις, www.Crete-region.gr, πρόσβαση 11 Μαρτίου 2008

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ (2008). Περίληψη και κύρια συμπεράσματα της μελέτης “Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων Κρήτης”, τμήμα διαχείρισης υδατικών πόρων της διεύθυνσης σχεδιασμού και ανάπτυξης της περιφέρειας Κρήτης, www.Crete-region.gr πρόσβαση 11 Μαρτίου 2008

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ai C., Niu C., Li J., Li J., Wang C. (2007). Studies and applications of the high density low viscosity cationic polymer drilling fluid technology, article Vol. 24, pp. 8-10, 87-88, retrieved November 6, 2007, from [http:// www.scopus.com](http://www.scopus.com)

Al-Saadi A., Al-Bahlani S., Al-Mahrooqi S., Al-Riyamy M., Carrera M., Bowling J., Al-Balushi A. (2006). Underbalanced drilling experience in PDO, Proceedings of International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, Vol.1, pp, 185 – 190, retrieved April 4, 2008, from [http:// www.scopus .com](http://www.scopus.com)

Amanullah M. and Boyle R. .(2007). Multifunctional gel system to mitigate deepwater drilling challenges, Water Well Journal, Vol. 61, pp, 46, retrieved April 12, 2008, from [http:// www.scopus .com](http://www.scopus.com)

Anderson .E. (2001). Drilling Fluids: An Integral Part of Successful Water Well Drilling, Journal of National driller, retrieved November 6, 2008, from [http:// www.national driller.com](http://www.nationaldriller.com)

Bob O. (2002). Ground Water Monitoring /Environmental Wells, Journal of Ground water, retrieved November 5, 2008, from [http://www.ground water.com](http://www.groundwater.com)

Borthakur A., Dutta Choudhury R., Sengupta P., Rao V., Nihalani C. (1997). Synthesis and evaluation of partially hydrolysed polyacrylamide (PHPA) as viscosifier in water based drilling fluids, Indian Journal of Chemical Technology, Vol. 4, Issue 2, pp 83-88, retrieved September 20, from <http://www.science.direct>

Byrd S. (2006). Stopping leaks with engineered Bentonite Grout, Review for Construction Specifier, Vol. 59, Issue 3, pp. 80 – 86, retrieved April 4, 2008, from [http:/ /www.scopus .com](http://www.scopus.com)

Chang L.-Y., Xiao C., Zhao S.-L. (2007). Laboratory research on a novel mud additive sulfonated alkyl polyglycoside, Journal of Drilling Fluid and Completion Fluid, Vol. 24, pp. 5 – 7, 83, retrieved , April 4, 2008, from [http:// www.scopus .com](http://www.scopus.com)

Fiber M., Croaks M., Hublik G., Thonhauser G. (2006). Time – dependent behavior of drilling fluids under cyclic temperature and pressure loads, Proceedings – SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA, 24-27 September, Vol, 2, pp 1017 – 1027 retrieved May 6, 2008, from [http:// www.scopus .com](http://www.scopus.com)

Fletcher A. (2001), Drilling Fluids Recycling for Smaller HDD Rigs, Journal of National driller, retrieved November 11, 2008, from [http:// www.national driller.com](http://www.nationaldriller.com)

Foster K. and Steiner A. (2007) The use of MPD and an unweighted fluid system for drilling ROP improvement, Conference Paper presented at IADC/SPE Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition 2007 28-29 March 2007, Galveston, Texas, pp. 108-119, retrieved September 10, from <http://www.scopus.com>

Hyeon-Shik B., Dulcy A., Gokhale S. (2000). A decision support system for horizontal directional drilling, paper retrieved 15 October, from www.elsevier.com

Kaback D. (2002). Horizontal Environmental Wells –Part 3, Journal of National driller, retrieved November 4, 2008, from <http://www.nationaldriller.com>

Kelessidis V., Maglione R., Tsamantaki C., Aspirtakis Y. (2006). Optimal determination of rheological parameters for Herschel-Bulkley drilling fluids and impact on pressure drop, velocity profiles and penetration rates during drilling, Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 53, pp 203-224 retrieved October 7, 2008, from <http://www.tuc.gr>

Kelessidis V., Tsamantaki C., Dalamarinis P., Repouskou E. (2007). Influence of electrolyte concentration on properties of Zenith and Wyoming bentonite – water suspensions, Journal of Mineral Wealth, Vol. 144, pp. 31 - 45, retrieved May 16, 2008, from <http://www.tuc.gr>

Kelessidis V., Tsamantaki C., Dalamarinis P., (2007). Effect of pH and electrolyte on the rheology of aqueous Wyoming bentonite-dispersions, Journal of Applied Clay Science, Vol.38, pp 86-96, retrieved June 10, from <http://www.mred.tuc.gr>

Kroeker B. and Nuzman C. (2004). Well Treatment Techniques, Journal of National driller, retrieved November 11, 2008, from <http://www.nationaldriller.com>

Kwader T. (2001). Developing Horizontal Wells: A Difficult Task, Journal of National driller, retrieved November 11, 2008, from <http://www.nationaldriller.com>

Likos W. Loehr E., Akunuri K. (2005). Polymer – based Drilling Fluids, Journal of National driller, retrieved November 4, 2008, from <http://www.nationaldriller.com>

Liu D.-M., Huang J., Wang L. (2007). Changes of pH value and methylene blue capacity of salt water drilling fluid in high temperature ageing, Journal of Oilfield Chemistry, Vol. 24, pp, 301-304,343, retrieved March 20, 2008, from <http://www.scopus.com>

Morita N., Black A., Fuh G. (1996). Borehole breakdown pressure with drilling fluids - I. Empirical results, International Journal of Rock Mechanics and Sciences and Geomechanics, Vol. 33, n^o1, pp. 39-51 (6 ref.), retrieved March 20, 2008, from <http://www.scopus.com>

Murray H., (2002). Industrial Clays Case Study for Indiana University, 2002, retrieved April 5, 2006, from www.google.com

Papp J. (2001). Water – based Drilling Fluids, Journal of National driller, retrieved November 5, 2008, from <http://www.nationaldriller.com>

Piaseck J. (2001). Bore Planning, Journal of National driller, retrieved November 5, 2008, from <http://www.nationaldriller.com>

Tsamantaki C., Kelessidis V., Dalamarinis P., Bandelis G. (2006) Static and dynamic yield of water – bentonite suspensions, paper presented at the 2nd International Conference AMIREG, Chania, Greece retrieved March 6, 2008, from <http://www.mred.tuc.gr>

Watkins-Miller, . (2007). Selecting the Right Fluid Mix, Journal of National driller, retrieved November 5, 2008, from <http://www.nationaldriller.com>

Wein O. and Tovchigrechko V., (1992). Rotational viscometry under presence of apparent wall slip, Journal of Rheology, Vol.36, pp 821-844. retrieved 1992, from [http://Society of Rheology, Inc.](http://SocietyofRheology.com)

Unknown a (2006). Auger Drilling of Monitoring Wells, Journal of National Driller retrieved May 24, 2008 from <http://www.nationaldriller.com>

Unknown b (2007) Laser-drilling Research , article, Journal of National Driller
retrieved May 24, 2008 from [http:// www.national driller.com](http://www.nationaldriller.com)

Unknown c, (2007). Baroid industrial drilling products, Journal Water Well, Vol. 61,
Issue 3, pp 50 retrieved October 18, 2008, from [http://www.water well.com](http://www.waterwell.com)

U.S. Army Corps of Engineers (2007). Earth Embankments – Part 2: Sonic Drilling,
Journal of National driller, retrieved November 5, 2008, from [http:// www.national
driller.com](http://www.nationaldriller.com)

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

CETCO drilling products Ltd [http://www. CETCO.com](http://www.CETCO.com)

CH Machinery Manufactory Co, Ltd [http://www. CH Machinery Manufactory.com](http://www.CHMachineryManufactory.com)

Consallen Group Sales Ltd, 2006“Foam flush drilling”; <http://www.consallen.com>

Errickson Equipment Co, Ltd [http://www. Errickson Equipment.com](http://www.ErricksonEquipment.com)

ETYΜΠ, <http://www.chi.civil.ntua.gr/el/index.html>

Department of Minerals and Energy of South Africa, [http://: www.dme.gov.za](http://www.dme.gov.za)

Drilshop. Co, <http://www.drilshop.com>

Science Direct, <http://www.sciencedirect.com>

Shandong Fortune Group Corporation, Ltd [http://www. Shandong Fortune Group
Corporation .com](http://www.ShandongFortuneGroupCorporation.com)

Shanghai Vostosun Industrial Co, Ltd <http://www.vostosun.com>

S&B Βιομηχανικά Οπυκτά Α.Ε. <http://www.s.andb.gr>

Εργαστηριακά Manual

BrookfieldYR-1 Rheometer Operating Instructions pg3-5 Manual No.MO2-215-A1202

API Recommended Practice Standar Procedure for Laboratory Testing Drilling Fluids (13 I), May 2000.

API Recommended Practice Standar Procedure for Laboratory Testing Drilling Fluids (13 D), May 2000.