



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ PHRA (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide) ΣΤΙΣ ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
ΠΟΛΦΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΡΙΑ Γ. ΖΩΓΡΑΦΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ - Γ. ΧΡΗΣΤΙΔΗΣ

ΜΕΛΟΣ - Β. ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ

ΜΕΛΟΣ - Δ. ΜΑΡΙΝΑΚΗΣ

ΧΑΝΙΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ, 2015

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον κ. Κελεσίδη για την υποστήριξη, τις συμβουλές, τις γνώσεις που μου μετέδωσε καθώς και για την κατανόηση και την υπομονή του καθ' όλη την διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Χατζηστάμου Βασιλική για την πολύτιμη βοήθειά της κατά την διαδικασία των πειραμάτων και για την στήριξη της κατά την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Χρηστίδη ως επιβλέποντα και τον Δρ. Μαρινάκη για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

Ακόμα αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω την πολύ καλή μου φίλη Δασκαλάκη Κατερίνα για την βοήθεια που μου έχει προσφέρει αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους αγαπημένους μου γονείς Γρηγόρη και Τριανταφυλλιά καθώς και την αδερφή μου Μαρίνα για την αμέριστη ηθική και υλική τους υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια ήταν καθοριστική για την πορεία στη ζωή μου, στις σπουδές μου αλλά και σαν άνθρωπος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
Κατάλογος Εικόνων.....	vi
Κατάλογος Διαγραμμάτων	vii
Κατάλογος Πινάκων	x
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ	xi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΡΕΥΣΤΑ.....	1
1.2 ΡΕΥΣΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....	2
1.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΡΕΥΣΤΩΝ	5
1.3.1 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	5
1.3.2 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	6
1.3.3 ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ	8
1.4 ΡΕΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	8
1.5 ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗΣ.....	11
1.5.1 ΔΟΜΗ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ.....	12
1.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ.....	12
1.6.1 ΠΟΛΦΟΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....	13
1.6.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΧΑΡΤΙΟΥ.....	14
1.6.3 ΑΜΜΟΙ ΥΓΙΕΙΝΗΣ.....	14
1.6.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΔΗΡΟΥ	14
1.6.5 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΧΡΩΜΑΤΩΝ	15
1.6.6 ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΑ ΕΙΔΗ, ΚΑΛΛΥΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 15	
1.6.7 ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ	15
1.6.8 ΧΥΤΗΡΙΑ	16
1.7 ΠΟΛΦΟΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΡΗΡΑ (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide)	16
1.7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	17
1.7.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΗΡΑ.....	18

1.7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΟΛΦΩΝ ΜΕ ΡΗΡΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΟΥΣ ΠΟΛΦΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	19
1.7.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΡΗΡΑ.....	20
1.7.5. ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΗΡΑ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	26
2.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	26
2.2 ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟ	28
2.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ.....	30
2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	30
2.3.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ‘Fitting Model’	30
2.3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	31
2.3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΡΟΗΣ	33
2.3.5 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	34
2.4 ΔΙΗΘΗΣΗ - ΦΙΛΤΡΟΠΡΕΣΣΑ.....	35
2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ	36
2.4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΡΕΟΛΟΓΙΑΣ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108
ΞΕΝΗ.....	108
ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....	110
ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ	110

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήσαμε την επίδραση του PHPA (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide) σε σχέση με τον μπεντονίτη. Το PHPA είναι ένα πολυμερές το οποίο χρησιμοποιείται ως πρόσθετο στον μπεντονίτη και παρέχει καλύτερη σταθεροποίηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Στη προσπάθεια αυτή πραγματοποιήθηκαν πειράματα με τα οποία είχαμε ως σκοπό να βρούμε κατάλληλες συγκεντρώσεις του πολυμερούς PHPA, του μπεντονίτη καθώς και του KCl (χλωριούχο κάλιο), ώστε να χρησιμοποιούνται σε πολφούς με γεωτρήσεις υδρογονανθράκων.

Ο τρόπος εκτίμησης των κατάλληλων συγκεντρώσεων είναι μέσω της μελέτης της ρεολογίας των ρευστών διάτρησης. Έτσι λοιπόν θα παρουσιαστούν πίνακες και διαγράμματα των ρεολογικών παραμέτρων: K (οδηγός συνάφειας σε $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), n (οδηγός συμπεριφοράς ροής) καθώς και τ_y (τάση διολίσθησης σε Pa). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ρεολογικών παραμέτρων τα καταγράφουμε από το ιξωδόμετρο σε excel και τα επεξεργαζόμαστε με την βοήθεια λογισμικού (matlab) ώστε να φτάσουν στην τελική μορφή. Τα ρεολογικά δεδομένα μπορούν να προσομοιωθούν με τα ρεολογικά μοντέλα: Herschel Bulkley, Bingham Plastic και Power Law.

Η διπλωματική αποτελείται από θεωρητικό και πειραματικό μέρος.

Στο θεωρητικό μέρος παρουσιάζονται:

- Τα είδη των ρευστών (Ιδανικά ρευστά, Νευτώνεια, Μη Νευτώνεια).
- Τα ρευστά γεωτρήσεων.
- Οι ιδιότητες των ρευστών.
- Τα ρεολογικά μοντέλα.
- Χρήσεις και δομή του μπεντονίτη.
- Τι είναι και σε τι χρησιμεύει το PHPA καθώς και που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία γεωτρήσεων υδρογονανθράκων.
- Ο τρόπος διεξαγωγής των πειραμάτων καθώς και αναφορά στα εργαστηριακά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο πειραματικό μέρος παρουσιάζονται:

- Πειράματα με συγκεντρώσεις μπεντονίτη (0%, 2%, 3%, 4% και 5% w/v). Προσθήκη PHPA, με συγκεντρώσεις (0%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.5%, 0.7%).

Επίσης προσθήκη 3% w/v KCl + 5% w/v μπεντονίτη και RHPA σε συγκεντρώσεις (0.2%, 0.5% και 0.7%).

- Τα πειράματα εκτελέστηκαν στο εργαστήριο της Τεχνικής Γεωτρήσεων και Ρευστομηχανικής του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αφορούσαν στην παρασκευή πολφών μπεντονίτη, πολφών μπεντονίτη και RHPA και πολφών μπεντονίτη με RHPA και KCl. Παρουσιάστηκαν οι μετρήσεις δειγμάτων στο ιξωδόμετρο του εργαστηρίου και η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυπταν από το ιξωδόμετρο με λογισμικό πρόγραμμα. Προσδιορίστηκε το ρεολογικό μοντέλο που περιγράφει τον πολφό και κατασκευάστηκαν συγκριτικά διαγράμματα και πίνακες. Τέλος παρουσιάστηκαν αποτελέσματα μετρήσεων με δείγματα που υποβλήθηκαν σε μετρήσεις διηθητικών παραμέτρων σε φιλτρόπρεσσα χαμηλής πίεσης που διαθέτει το εργαστήριο.
- Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε μπεντονίτης Wyoming (Halliburton- Cebo Holland) καθώς και RHPA από την Baker Hughes (Newdrill Plus).

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω πειραμάτων προκύπτει ότι η προσθήκη πολυμερούς στα δείγματα του μπεντονίτη προκαλεί αύξηση του ιξώδους. Αυτό σημαίνει πως δεν έχουμε γρήγορη ροή επομένως προκύπτει ένας καλά ενυδατωμένος πολφός ο οποίος θα προλαμβάνει την συσσώρευση των τριμμάτων στον πυθμένα του πηγαδιού γεώτρησης. Επίσης έστω και μικρή ποσότητα πολυμερούς στα δείγματα προκάλεσε μείωση του διηθήματος. Άρα ως αποτέλεσμα ελαχιστοποιείται η απώλεια ρευστών στη γεώτρηση.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Κυκλοφορία πολφού στη περιστροφική διάνοιξη.....	3
Εικόνα 2: Δομή Σμεκτίτη.....	12
Εικόνα 3: Τιμή PHPA μάρκας Hongtai, China.....	22
Εικόνα 4: Τιμή PHPA μάρκας Veken , China.....	22
Εικόνα 5: Τιμή PHPA της μάρκας Oceanview.....	23
Εικόνα 6 : Τιμή PHPA της μάρκας TIANSHI.....	23
Εικόνα 7: Λεπτομέρειες και τιμή για το PHPA που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο.....	24
Εικόνα 8: Το σκεύος του PHPA όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο.....	25
Εικόνα 9 : Δείγματα PHPA- μπεντονίτη	26
Εικόνα 10: Μίξερ υψηλών ταχυτήτων Hamilton Beach.....	27
Εικόνα 11 : Ομοαξονικό κυλινδρικό ιξωδόμετρο τύπου Couette	28
Εικόνα 12 : Μέρη που αποτελούν το ομοαξονικό κυλινδρικό ιξωδόμετρο	29
Εικόνα 13 : Fitting Model.....	31
Εικόνα 14: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων.....	32
Εικόνα 15 : Επιλογή δεδομένων απο το Excel	33
Εικόνα 16: Επιλογή του μοντέλου ροής και ορισμός της αρχικής τιμής και των ορίων παραμέτρων	34
Εικόνα 17: Γραφική απεικόνιση προσέγγισης.....	35
Εικόνα 18 : Φιλτρόπρεσσα διήθησης LPLT.....	37
Εικόνα 19: Όργανο Διήθησης.....	38
Εικόνα 20: Κυλινδρικό δοχείο Διήθησης	39
Εικόνα 21: Μπουκάλα	39
Εικόνα 22: Filter cake.....	40
Εικόνα 23 : Filter cake.....	40
Εικόνα 24: Παχύμετρο του Βερνιέρου	41
Εικόνα 25: Κυλινδρικό δοχείο διήθησης.....	42
Εικόνα 26: Κυλινδρικό δοχείο	43
Εικόνα 27: Ογκομετρικός σωλήνας.....	43
Εικόνα 28: Συσκευή διήθησης με όργανα και σκεύη διήθησης καθώς και τις μπουκάλες...44	44

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 0% μπεντονίτη και συγκεντρώσεις PHPA	46
Διάγραμμα 2: Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 2% μπεντονίτη και για διάφορες συγκεντρώσεις PHPA	47
Διάγραμμα 3 : Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 3% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA	48
Διάγραμμα 4 : Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 4% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA	49
Διάγραμμα 5: Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 5% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA	50
Διάγραμμα 6 : Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 5% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA και 3% KCl	51
Διάγραμμα 7 : $\tau_y - \text{PHPA} (\%)$	52
Διάγραμμα 8: $K (\text{Pa}\cdot\text{s}^n) - \text{PHPA} (\%)$	53
Διάγραμμα 9: $n - \text{PHPA} (\%)$	54
Διάγραμμα 10 : Σύγκριση διηθήματος σε σχέση με την συγκέντρωση του πολυμερούς για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις του μπεντονίτη	56
Διάγραμμα 11: Σύγκριση διηθήματος σε σχέση με την συγκέντρωση του πολυμερούς για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις του μπεντονίτη	57
Διάγραμμα 12 : Διήθημα συναρτήσει του χρόνου για όλες τις μετρήσεις 3% bentonite+PHPA	59
Διάγραμμα 13: Διήθημα συναρτήσει του χρόνου για όλες τις μετρήσεις 4% bentonite+PHPA	60
Διάγραμμα 14: Διήθημα συναρτήσει του χρόνου για όλες τις μετρήσεις 5% bentonite+PHPA	61
Διάγραμμα 15 : Μοντέλο Bingham Plastic για 0% BENTONITE + 0.05%	68
Διάγραμμα 16: : Μοντέλο Herschel-Bulkley για 0% BENTONITE + 0.05%	69
Διάγραμμα 17: Μοντέλο Power Low για 0% BENTONITE + 0.05%	69
Διάγραμμα 18: Μοντέλο Bingham Plastic για 0% BENTONITE + 0.1%	70
Διάγραμμα 19: Μοντέλο Herschel-Bulkley για 0% BENTONITE + 0.1%	70

Διάγραμμα 20: Μοντέλο Power Low για 0% BENTONITE + 0.1%	71
Διάγραμμα 21: Μοντέλο Bingham Plastic για 0% BENTONITE + 0.7%	71
Διάγραμμα 22: Μοντέλο Herschel-Bulkley για 0% BENTONITE + 0.7%	72
Διάγραμμα 23: Μοντέλο Power Low για 0% BENTONITE + 0.7%	72
Διάγραμμα 24 : Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	76
Διάγραμμα 25: Μοντέλο Bingham Plastic	76
Διάγραμμα 26: Μοντέλο Power Low	77
Διάγραμμα 27: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	77
Διάγραμμα 28: Μοντέλο Bingham Plastic	78
Διάγραμμα 29: Μοντέλο Power Low	78
Διάγραμμα 30: Μοντέλο Bingham Plastic	82
Διάγραμμα 31: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	82
Διάγραμμα 32: Μοντέλο Power Low	83
Διάγραμμα 33: Μοντέλο Bingham Plastic	83
Διάγραμμα 34: Μοντέλο Herschel- Bulkley.....	84
Διάγραμμα 35: Μοντέλο Power Low	84
Διάγραμμα 36: Μοντέλο Bingham Plastic	85
Διάγραμμα 37: Μοντέλο Herschel- Bulkley.....	85
Διάγραμμα 38: Μοντέλο Power Low	86
Διάγραμμα 39: Μοντέλο Bingham Plastic	86
Διάγραμμα 40: Μοντέλο Herschel- Bulkley.....	87
Διάγραμμα 41: Μοντέλο Power Low	87
Διάγραμμα 42: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	91
Διάγραμμα 43: Μοντέλο Bingham Plastic	91
Διάγραμμα 44: Μοντέλο Power Low	92
Διάγραμμα 45: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	92
Διάγραμμα 46: Μοντέλο Bingham Plastic	93
Διάγραμμα 47: Μοντέλο Power Low	93
Διάγραμμα 48: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	94
Διάγραμμα 49: Μοντέλο Bingham Plastic	94
Διάγραμμα 50: Μοντέλο Power Low	95

Διάγραμμα 51: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	95
Διάγραμμα 52: Μοντέλο Bingham Plastic	96
Διάγραμμα 53: Μοντέλο Power Low	96
Διάγραμμα 54: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	97
Διάγραμμα 55: Μοντέλο Bingham Plastic	97
Διάγραμμα 56: Μοντέλο Power Low	98
Διάγραμμα 57: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	98
Διάγραμμα 58: Μοντέλο Bingham Plastic	99
Διάγραμμα 59: Μοντέλο Power Low	99
Διάγραμμα 60: Μοντέλο Bingham Plastic	102
Διάγραμμα 61: Μοντέλο Power Low	102
Διάγραμμα 62: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	103
Διάγραμμα 63: Μοντέλο Bingham Plastic	103
Διάγραμμα 64: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	104
Διάγραμμα 65: Μοντέλο Power Low	104
Διάγραμμα 66: Μοντέλο Bingham Plastic	105
Διάγραμμα 67: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	105
Διάγραμμα 68: Μοντέλο Power Low	106
Διάγραμμα 69: Μοντέλο Bingham Plastic	106
Διάγραμμα 70: Μοντέλο Herschel-Bulkley.....	107
Διάγραμμα 71: Μοντέλο Power Low	107

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Αναλογίες Μπεντονίτη σε πολφό.....	7
Πίνακας 2: Συγκεντρώσεις RHPA-ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ	27
Πίνακας 3: Εύρος μετρήσεων οργάνου	29
Πίνακας 4: Συγκεντρώσεις RHPA+ 0% μπεντονίτης	47
Πίνακας 5: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 2% με προσθήκη RHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις	48
Πίνακας 6: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 3% με προσθήκη RHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις	49
Πίνακας 7: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 4% με προσθήκη RHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις	50
Πίνακας 8 : Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 5% με προσθήκη RHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις.	51
Πίνακας 9: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 5% με προσθήκη RHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις και 3% KCl.	52
Πίνακας 10: Όγκος διηθήματος σε σχέση με την συγκέντρωση του μπεντονίτη και του πολυμερούς που χρησιμοποιήθηκε	55
Πίνακας 11: Παράμετροι που υπολογίστηκαν για τις συγκεντρώσεις μπεντονίτη	58
Πίνακας 12: Μπεντονίτης 3%.....	59
Πίνακας 13: Μπεντονίτης 4%.....	60
Πίνακας 14: Εντονότητας 5%.....	61
Πίνακας 15: Shear Rate - Shear Stress (ρυθμό διάτμησης– διατμητική τάση) για δείγματα μόνο με RHPA.	67
Πίνακας 16: Shear Rate-Shear Stress για 2% μπεντονίτη και RHPA.....	75
Πίνακας 17: Shear Rate-Shear Stress για 3% μπεντονίτη και RHPA.....	81
Πίνακας 18: Shear Rate-Shear Stress για 4% μπεντονίτη και RHPA.....	90
Πίνακας 19: Shear Rate-Shear Stress για 5% μπεντονίτη και RHPA.....	101

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Η παρούσα διπλωματική έδωσε δύο δημοσιεύσεις:

1^H ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ**Optimization Of Drilling Fluid Rheological And Fluid Loss Properties Utilizing PHPA Polymer**

Vassilios C. Kelessidis, Technical University of Crete & Texas A&M University at Qatar,
Maria Zografou, Technical University of Crete, Vassiliki Chatzistamou, Technical
University of Crete

Copyright 2013, Society of Petroleum Engineers

This paper was presented at the SPE Middle East Oil and Gas Show and Exhibition held in Manama, Bahrain, 10–13 March 2013.

Abstract

Drilling fluids with bentonite can often cause major problems such as flocculation, loss of rheology control and excessive friction due to high clay concentration. Polymers can mitigate such problems, but all these come with much higher costs. Partially hydrolyzed polyacrylamide (PHPA) polymers are used as additives to bentonite water based fluids to stabilize shales and in HTHP applications because of better thermal stability (PHPA). It also acts as coating on cuttings preventing agglomeration minimizing fluid loss and aiding cuttings transport. There is not much published information about PHPA optimum concentration and its mode of action and we aim to identifying these and we attempt to explain the effectiveness for achieving better design of drilling fluids.

Four bentonite (2%, 3%, 4%, 5%) and five polymer (PHPA) concentrations (0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%) were used. The rheological behavior was described very well by the Herschel-Bulkley model. PHPA addition resulted in increase of apparent viscosity, large decrease of the yield stress and in great reduction of the fluid loss and models are presented for such behavior. The morphology of the filter cakes was investigated using Scanning

Electron Microscopy in order to understand the adsorption of the polymer onto the clay particles. *We try to explain the effectiveness of polymer addition and its mode of action, which further enhances our understanding of the polymer-clay interaction.*

This work aims at formulating better water-based fluids for such applications using optimal polymer concentrations. Better understanding of the mode of interaction of the PHPA additive with clay particles in drilling fluids has been achieved by in-depth analysis of the effect of various concentrations on rheological and filtration properties of drilling fluids. This allows industry to work with optimal PHPA concentrations for more efficient drilling.

1.0 Introduction

Drilling fluids are the blood of the well and perform a multitude of functions like, carrying the solids to the surface, providing lubrication to the drill pipe and the bit, supporting the cuttings when circulation is stopped and aiding the cutting process by imparting high impact energy to the bit in order to cut more easily the formation. Drilling fluids may be water or oil based (diesel or synthetic oils) although the latter are more expensive and there is more and more search for environmentally friendly water-based fluids which should contain several additives which could give the required properties and the properties of oil-based fluids while protecting more the environment.

Polymers have become very popular for their use in drilling muds due to their ability to modify rheological properties of bentonite suspensions and their low impact on environment [Dolz et al., 2007]. Several types of polymers have been used like Carboxyl-methyl-cellulose (CMC), polyanionic cellulose (PAC), Xanthan gum (Benchabane and Bekkour, 2006; Iscan and Kok, 2007) while quantification of the effects of CMC on rheological properties has been given recently by Kelessidis et al. (2011).

A series of such polymers are the PHPA polymers, or else, partially hydrolyzed polyacrylamide polymers. PHPA polymers are drilling fluid additives that help stabilize shales in the wellbore, they are used as clay extenders, flocculants and for encapsulating colloids

(Caenn and Chillingar, 1996). The polymer molecules act as shale stabilizers, cuttings stabilizers, and wellbore stabilizers. By bonding on site these polymers "inhibit" dispersion of formation solids into the drilling fluid system and also bond on the wellbore formation thus providing gauge hole and achieving borehole stability (Liao et al., 1990). Field applications of PHPA drilling fluids have been described in few publications in the past, like for e.g. Kadaster et al. (1992) who provided a set of guidelines for incorporating PHPA into field muds.

Partially Hydrolyzed Poly Acrylamide is a polymer made from acrylonitrile after polymerization to form polyacrylonitrile which afterwards is partially hydrolyzed to form acrylamide and acrylic acid groups along the polymer chain (Figure 1, from source reported in Kelessidis et al., 2012). It is normally used in field applications with concentrations ranging between 0.2 to 1.5% and it is thought to act to stabilize colloidal systems via steric and electrostatic stabilization (Kadaster et al., 1992).

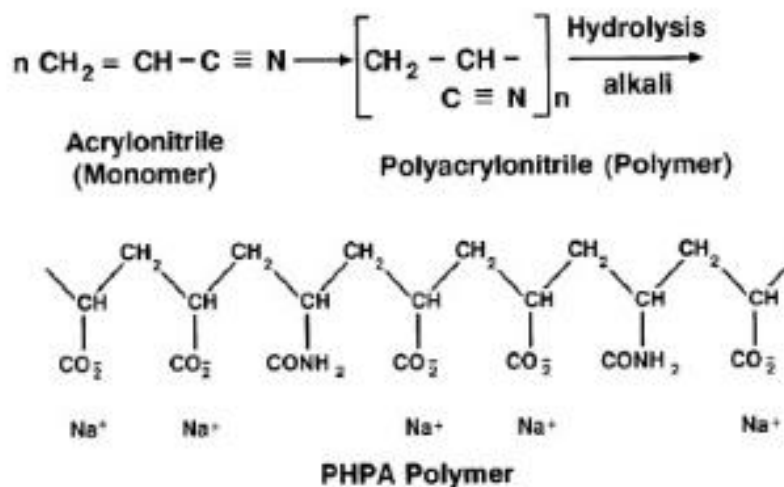


Figure 1. PHPA structure (from source reported in Kelessidis et al., 2012)

Our work has extended into the assessment of the improvement or loss one may get when using different amounts of PHPA and because of the costs involved, one may be interested if there is an optimum of polymer concentration that may be used to minimize costs. This is the objective of this study. We did this by utilizing three bentonite concentrations in water,

mimicking water based fluids, and studying the changes in rheological and fluid loss behavior of these samples after adding different quantities of PHPA.

2.0 MATERIALS AND METHODS

The bentonite used for the present work was Wyoming bentonite (Halliburton- Cebo Holland) while PHPA was from Baker Hughes (Newdrill Plus). The preparation of the samples followed the API 13A standard procedures. Firstly bentonite was added to deionized water and was mixed for 5 minutes using Hamilton Beach high speed mixer. The PHPA was added slowly and mixing continued for 20 more minutes. The suspensions were then sealed and left for 16 hours at room temperature to hydrate. Prior to the rheological measurements the samples were sheared intensively for 5 minutes again with a high speed mixer. (API 13D). After the measurement of the rheological properties, filtration properties were carried out.

The viscometric data was acquired using a Fann type Couette viscometer (Grace Instruments, USA). They were obtained at fixed speeds of 600, 300, 200, 100, 6, 3 rpm. The rheological model used for data fitting was the Herschel-Bulkley model (Kelessidis et al., 2006, Kelessidis and Maglione, 2008)

$$\tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

where $\tau, \tau_y, K, \dot{\gamma}, n$ are the shear stress, yield stress, flow consistency, shear rate and flow behavior index respectively.

A low pressure–low temperature (LPLT) API filter press was used in order to measure the filtration properties of the samples which showed yield stress. Some samples were chosen to be further analysed using Scanning Electron Microscope (SEM). These photos gave a better picture of the connection between the polymer and the bentonite. Concentrations of

PHPA tested were 0.05%, 0.3%, 0.5% and 0.7% w/V in water-bentonite concentrations of 2, 3, 4, and 5% w/V.

3.0 RHEOLOGICAL RESULTS

The HB rheological parameters for all the samples tested are shown in tables 1, 2 and 3. Together with the correlation coefficient and the sum of square errors while the variation of the parameters are depicted in Figures 2, 3 and 4.

3% Bentonite	τ_y (Pa)	K (Pa*secⁿ)	n	R^2	Sum(Q)
0% PHPA	3,9424	0,1794	0,5762		
0,05% PHPA	1,0031	0,2046	0,5646	0,9990	0,0693
0,1% PHPA	0,0951	0,3665	0,5400	0,9992	0,1234
0,3% PHPA	0,0000	0,6188	0,5091	0,9994	0,1897
0,5% PHPA	0,0000	1,3460	0,4675	0,9997	0,1923
0,7% PHPA	0,0000	2,2896	0,4297		

Table 1: Rheological parameters of 3 % bentonite

4% Bentonite	τ_y (Pa)	K (Pa*secⁿ)	n	R^2	Sum(Q)
0% PHPA	13,0110	0,8520	0,4050	0,9996	0,0373
0,05% PHPA	6,6804	0,3805	0,5614	0,9979	0,4910
0,1% PHPA	3,9314	0,4929	0,5390	0,9987	0,3576
0,2% PHPA	0,55064	0,6504	0,52727	0,9997	0,1284
0,3% PHPA	0,0053	0,9533	0,5058	0,9999	0,0629
0,5% PHPA	0,4325	0,9608	0,5289	0,9999	0,0449
0,7% PHPA	0,0000	2,8778	0,4184	0,9999	0,2615

Table 2: Rheological parameters of 4 % bentonite

5% Bentonite	τ_y (Pa)	K (Pa*secⁿ)	n	R²	Sum(Q)
0% PHPA	20,6321	0,5842	0,49432	0,9993	0,2145
0,05% PHPA	13,0348	0,8023	0,50713	0,9976	1,1504
0,1% PHPA	8,9761	0,90978	0,50675	0,9981	1,1591
0,2% PHPA	3,1621	1,1582	0,49348	0,9993	0,5852
0,3% PHPA	2,5998	1,5083	0,48328	0,9994	0,7033
0,5% PHPA	1,2411	1,4632	0,50897	0,9999	0,1978
0,7% PHPA	0,45756	2,5937	0,45387	0,9999	0,2017

Table 3: Rheological parameters of 5 % bentonite

The results in Figure 2 show that the addition of PHPA has as a result a decrease in the yield stress of the suspensions for all the bentonite concentrations. The values follow a power trend. At high concentrations of PHPA yield stress decreases dramatically while at low concentrations of bentonite it even becomes zero and the samples are described by Power Law model. PHPA acts as a coating and this is shown later. The grains of bentonite are prevented from forming gel structures which are responsible for the yield stress and this explains the decrease described before.

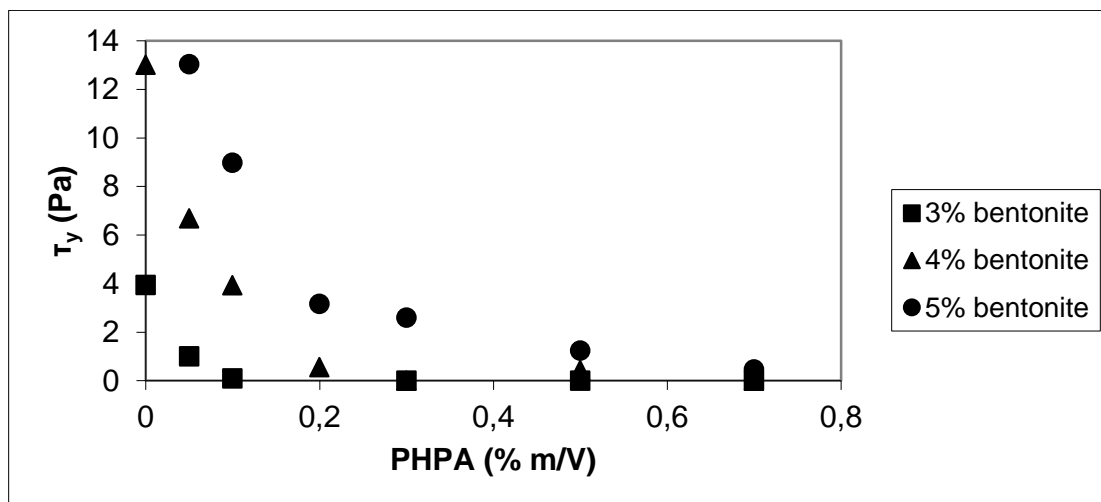


Figure 2: Comparison of the yield stress values

The flow consistency index (Figure 3) shows an increase as the concentration of both bentonite and PHPA increases. On the contrary there is no strong dependence of flow behavior index. The values of flow behavior index (Figure 4) range between 0.4 and 0.5.

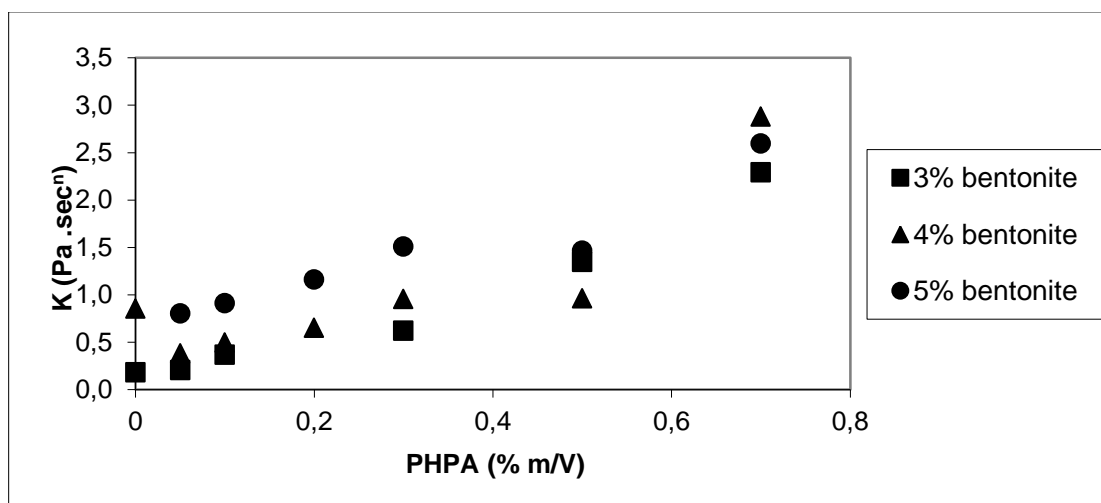


Figure 3. Comparison of flow consistency values

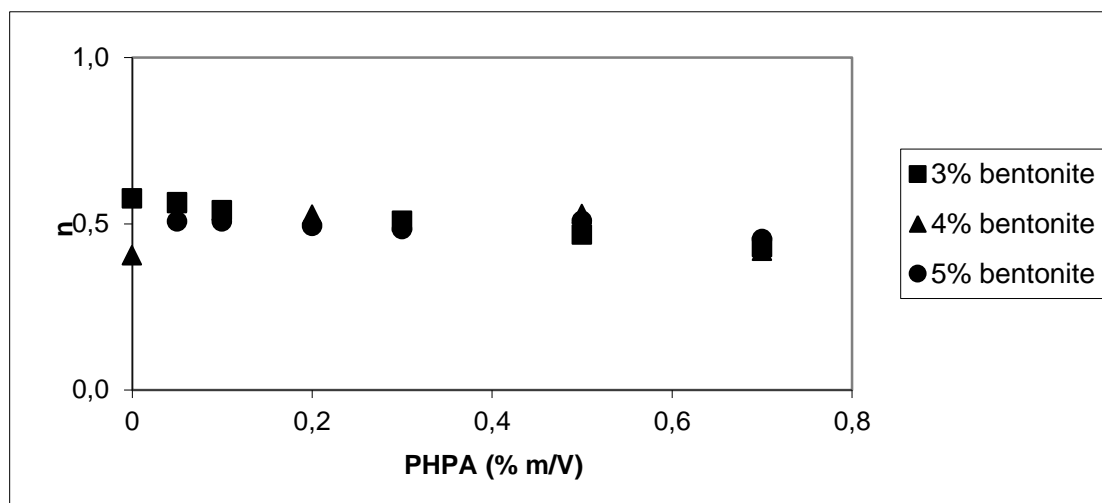


Figure 4. Comparison of flow behavior index values

4.0 FILTRATION RESULTS

The filtration results for all the different samples tested are shown in Tables 4, 5 and 6 and in Figure 5. The values of the fluid loss for the free PHPA samples are higher than the 15 ml which are suggested by API. It is observed that the 30 min fluid loss values of the suspensions which contain PHPA are lower than the suspensions which are free of PHPA. Even a small quantity of PHPA can cause big differences of the values. These differences tend to be smaller at higher concentrations of the polymer. This may mean that the bentonite becomes saturated and further addition of PHPA doesn't cause significant changes. The sample which is composed of 5% bentonite and 0.7 % PHPA developed the lowest fluid loss. It is worth mentioning that the trend of the fluid loss values is identical to the trend of yield stress values.

PHPA %	Fluid Loss (ml)	% Decrease
0	22	
0,05	11,8	-46,4
0,1	10	-54,5
0,3	6	-72,7

Table 4. Fluid loss for 3 % bentonite

PHPA %	Fluid Loss (ml)	% Decrease
0	18,4	
0,05	10,1	-45,1
0,1	9	-51,1
0,2	7,5	-59,2

Table 5. Fluid loss for 4% bentonite

PHPA %	Fluid Loss (ml)	% Decrease
0	16	-
0,1	7,4	-53,7
0,2	6,8	-57,5
0,3	6	-62,5
0,5	4,6	-71,2
0,7	4,4	-72,5

Table 6. Fluid loss for 5% bentonite

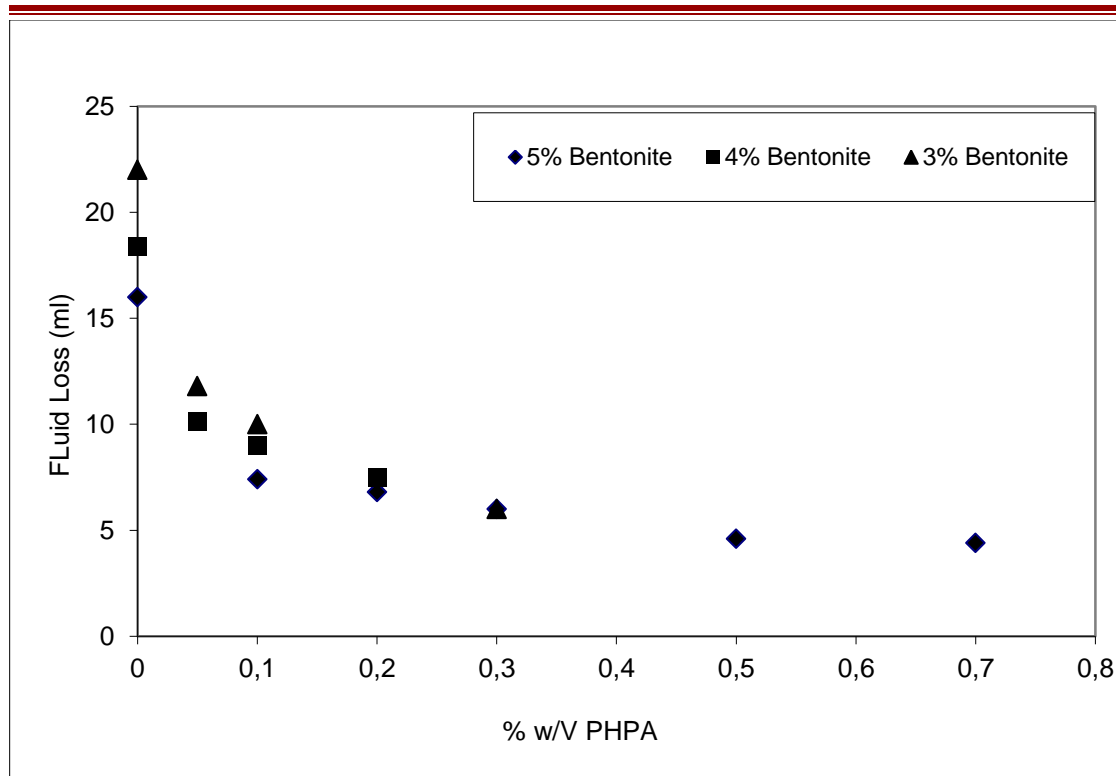


Figure 5. Decrease in fluid loss values with PHPA addition

It is very interesting to note that above 0,2% PHPA, no significant difference is seen on fluid loss values. Thus, for the bentonite concentrations studied, it appears that 0,2% is the optimal PHPA value.

5.0 SEM PICTURES

The Pictures that follow present the Scanning Electron Microscope (SEM) pictures of mud cakes of two samples with 3% bentonite and 3% bentonite with 0.5% PHPA. It should be noted that in the second SEM picture the net structure is easily identifiable on the surface of the grains, which probably indicates the excess of polymer addition.

The morphology of the filter cake with bentonite only is shown in Picture while Picture shows the morphology of the sample of bentonite with the addition of PHPA. PHPA has a typical arachnoid (spider-net like) structure, indicated in Picture 2 with the circle, and this structure probably contributes to the compaction of the filter cake and the closing of any

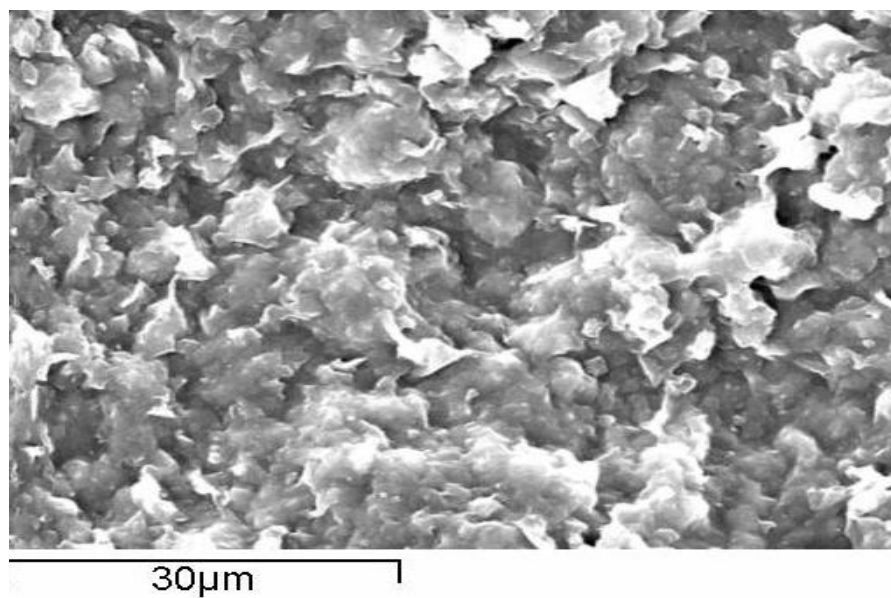
fluid channels resulting in the reduction of the fluid loss compared to bentonite only samples.

6.0 CONCLUSIONS

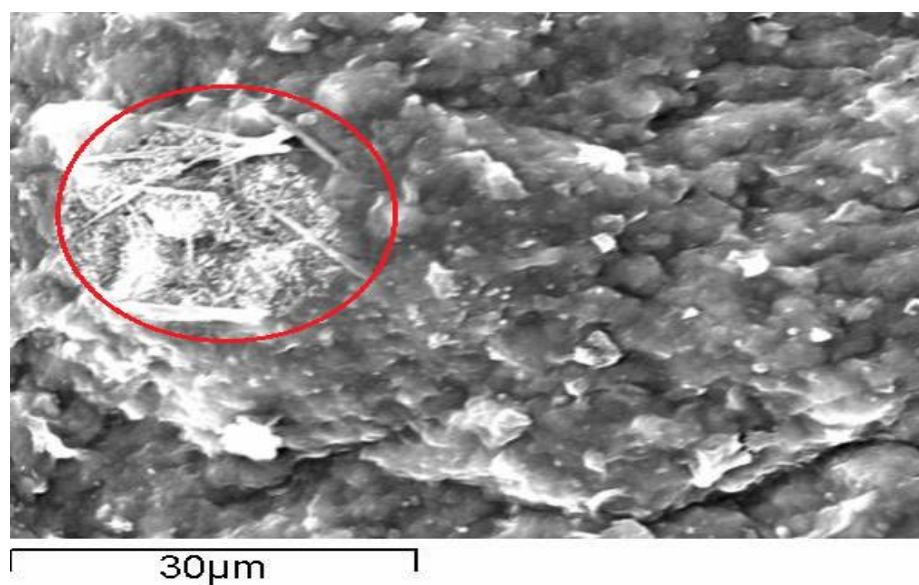
A thorough study was made on the effect of a series of concentrations of PHPA, with concentrations ranging between 0,05% and 0,7%, on rheological and fluid loss properties of bentonite suspensions. Three different bentonite concentrations were used (3%, 4% and 5%).

All fluid samples exhibited Herschel-Bulkley rheological behavior. Significant reduction has been observed in the yield stress which follows an exponential behavior. At 3% bentonite concentration, addition of as little as 0,1% PHPA results in a diminishing yield stress and giving power law type rheological behavior. A similar exponential type increase in the flow consistency index has been observed with increasing PHPA concentration for all bentonite suspensions. The flow behavior index does not really change much, hovering around 0,5 for all bentonite concentrations and all PHPA concentrations.

PHPA addition improved considerably fluid loss values of all three bentonite suspensions and fluid loss values measured were very low. An optimum of 0,2% PHPA is obtained for all bentonite concentrations, after which no further reduction is seen in the low anyway (~ 5ml) fluid loss values, after which no significant reductions are attained. SEM pictures of filter cakes taken with and without PHPA addition revealed an arachnoid like structure of PHPA covering bentonite particles which plausibly contributes to the drastic reduction of the fluid loss values.



Picture 1: Scanning Electron Microscope picture of filter cake with 3% bentonite only



Picture 2: Scanning Electron Microscope picture of filter cake with 3% bentonite and 0.5% PHPA

REFERENCES

1. Benchabane, A. and Bekkour, K. (2006), “Effects of anionic additives on the rheological behavior of aqueous calcium montmorillonite suspensions” J. Rheological Acta 45 pp. 425-434.
2. Caenn R., GV. Chillingar, 1996. Drilling fluids: State of the art, Journal of Petroleum Science and Engineering I4, 22 1-230
3. Dolz, M., Jiménez, J., Hernández, M. J., Delegido J., Casanovas A. (2007), “Flow and thixotropy of non-contaminating oil drilling fluids formulated with bentonite and sodium carboxymethyl cellulose”, Journal of Petroleum Science and Engineering 57, pp. 294-302
4. Iscan, A.G. and Kok, M.V. (2007), “Effects of Polymers and CMC Concentration on Rheological and Fluid Loss Parameters of Water-Based Drilling Fluids”, J. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 29, pp. 939 — 949
5. Kelessidis V.C., M. Poulakakis, V. Chatzistamou, 2011. Use of Carbopol 980 and Carboxymethyl-Cellulose polymers as rheology modifiers of sodium-bentonite water dispersions, Applied Clay Science, 54, 63-69
6. Liao WA, DR Siems, 1990. Adsorption characteristics of PHPA on formation solids, paper IADC/SPE 19945 presented at the Drilling Conference, Houston, TX, Feb.27-March 2.
7. Kelessidis, V.C., R. Maglione, C. Tsamantaki and Y. Aspirtakis, 2006. Optimal determination of rheological parameters for Herschel-Bulkley drilling fluids and impact on pressure drop, velocity profiles and penetration rates during drilling, J. Petrol. Sci. Eng., 53, 203-224.
8. Kelessidis, V.C., R. Maglione, 2008. Yield stress of water–bentonite dispersions, Colloids and Surfaces A, 318, 217–226.
9. Kelessidis, V.C., Chatzistamou, V., Zografou, M., 2012. Use of PHPA polymer for modification of rheological and filtration properties of water based drilling fluids used for conventional and casing drilling, paper presented at the Oil & Gas AGH Conference, Krakow, Poland, May 29-31.

2^H ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ**Use of PHPA polymer for modification of rheological and filtration properties of water based drilling fluids used for conventional and casing drilling**

V.C. Kelessidis*, V. Chatzistamou, E. Repouskou, M. Zografou, Technical University of Crete, GREECE, M. Karimi, TESCO USA.

*kelesidi@mred.tuc.gr

Paper presented at the 23rd Oil-Gas AGH 2012 Conference, Krakow Poland, May 29-31, 2012.

ABSTRACT

Water based drilling fluids depend primarily on bentonite to provide appropriate rheological and filtration properties. In many instances, however, other additives such as natural or synthetic polymers have been utilized to impart for e.g. shale stabilization, wellbore stabilization, control of flocculation or deflocculation of bentonite dispersions while at the same time they reduce excessive friction and increased torque and also have low environmental impact. Such polymers include Carboxymethylcellulose (CMC), starch, guar gum, polyanionic cellulose (PAC), partially hydrolyzed polyacrylamide (PHPA) which can be used alone or in combination between them or as additives to bentonite dispersions.

There have been several studies publishing results on the effect of CMC, of PAC and the other polymers on the extension of rheological properties of water bentonite dispersions, but there are not much published data on the effect of PHPA polymer. PHPA polymer is believed to interact with bentonite particles, when added in water-bentonite dispersions and to facilitate linking of the bentonite particles thus improving rheological properties of the suspension. Furthermore, due to the unique morphology of the PHPA polymer and the coating it offers to bentonite particles, it can reduce substantially fluid loss. In this work we present results from a study on the improvement in rheological and filtration properties of dilute water-bentonite dispersions after the addition of different concentrations of PHPA, critically evaluate the results, compare them with similar results gathered using one of the most common used polymers, CMC, and propose optimal concentrations of PHPA for better efficiency of the drilling fluid.

Keywords: drilling fluid, PHPA, fluid loss, rheology, SEM

1.0 INTRODUCTION

Drilling fluids are the blood of the well and perform a multitude of functions like, carrying the solids to the surface, providing lubrication to the drill pipe and the bit, supporting the cuttings when circulation is stopped and aiding the cutting process by imparting high impact energy to the bit in order to cut more easily the formation. Drilling fluids may be water or oil based (diesel or synthetic oils) although the latter are more expensive and there is more and more search for environmentally friendly water-based fluids which should contain several additives which could give the required properties and the properties of oil-based fluids while protecting more the environment.

Polymers have become very popular for their use in drilling muds due to their ability to modify rheological properties of bentonite suspensions and their low impact on environment [Dolz et al., 2007]. Several types of polymers have been used like Carboxyl-methyl-cellulose (CMC), polyanionic cellulose (PAC), Xanthan gum (Benchabane and Bekkour, 2006; Iscan and Kok, 2007) while quantification of the effects of CMC on rheological properties has been given recently by Kelessidis et al. (2011).

A series of such polymers are the PHPA polymers, or else, partially hydrolyzed polyacrylamide polymers. PHPA polymers are drilling fluid additives that help stabilize shales in the wellbore, they are used as clay extenders, flocculants and for encapsulating colloids (Caenn and Chillingar, 1996). The polymer molecules act as shale stabilizers, cuttings stabilizers, and wellbore stabilizers. By bonding on site these polymers "inhibit" dispersion of formation solids into the drilling fluid system and also bond on the wellbore formation thus providing gauge hole and achieving borehole stability (Liao et al., 1990).

Partially Hydrolyzed Poly Acrylamide is a polymer made from acrylonitrile after polymerization to form polyacrylonitrile which afterwards is partially hydrolyzed to form acrylamide and acrylic acid groups along the polymer chain (Figure 1). It is normally used in field applications with concentrations ranging between 0.2 to 1.5%.

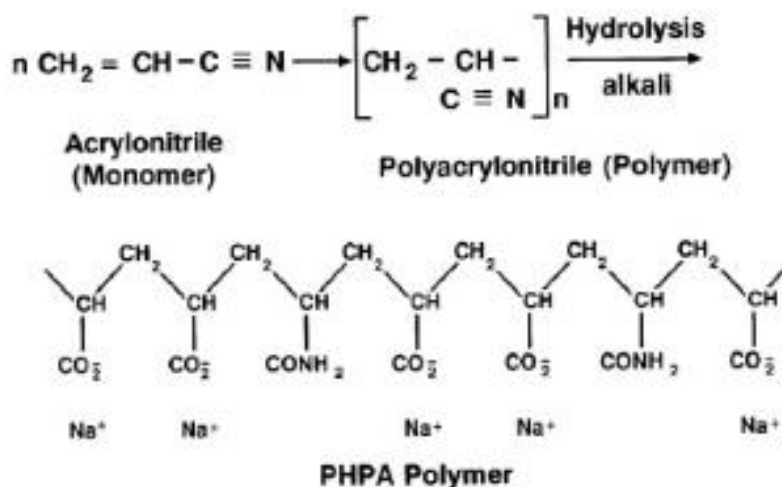


Figure 1. PHPA structure

Despite their extended use by drilling fluid industry, quantitative assessment of the alteration of rheological and filtration properties of water-based bentonite dispersions is not readily available, while also information regarding their optimum concentration is not available to be used in field applications. This is the objective of this study.

2.0 MATERIALS AND METHODS

Dilute water-bentonite suspensions were used in which various quantities of PHPA were added. The bentonite used for the present work was Wyoming bentonite (Halliburton- Cebo Holland) while PHPA was from Baker Hughes (Newdrill Plus). The preparation of the suspensions was carried out following American Petroleum Institute standard (API 13D). Firstly bentonite was added to deionized water and was mixed for 5 minutes using Hamilton Beach high speed mixer. The PHPA was added slowly and mixing continued for 20 more minutes. The suspensions were then sealed and left for 16 hours at room temperature to hydrate. After hydration, the suspensions were mixed for 5 minutes and the rheological measurements were performed followed by the fluid loss measurements, all done at room temperature. The viscometric data was acquired using a Fann type Couette viscometer (Grace Instruments, USA) at fixed speeds of 600, 300, 200, 100, 6, 3 rpm. The rheological model used for data fitting was the Herschel-Bulkley model (Kelessidis et al. 2006)

$$\tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

where $\tau, \tau_y, K, \dot{\gamma}, n$ are the shear stress, yield stress, flow consistency, shear rate and flow behavior index respectively.

The filtration properties of the suspensions were measured using a low pressure–low temperature (LPLT) API filter press. For some of the tests cuttings (shales) were added to study the effect of cuttings on the rheological and filtration properties (which is part of another publication) and in some of these tests pictures of filter cakes were taken and analyzed visually as well as in a Scanning Electron Microscope (SEM) in order to get better insight into the ways the polymer attaches to the shale cuttings.

Concentrations of PHPA tested were 0.3%, 0.5% and 0.7% w/w in water-bentonite concentrations of 2 and 3% w/w.

3.0 Results and Discussion

3.1 Rheological measurements

The rheograms for these bentonite suspensions with and without PHPA are shown in Figures 2 and 3.

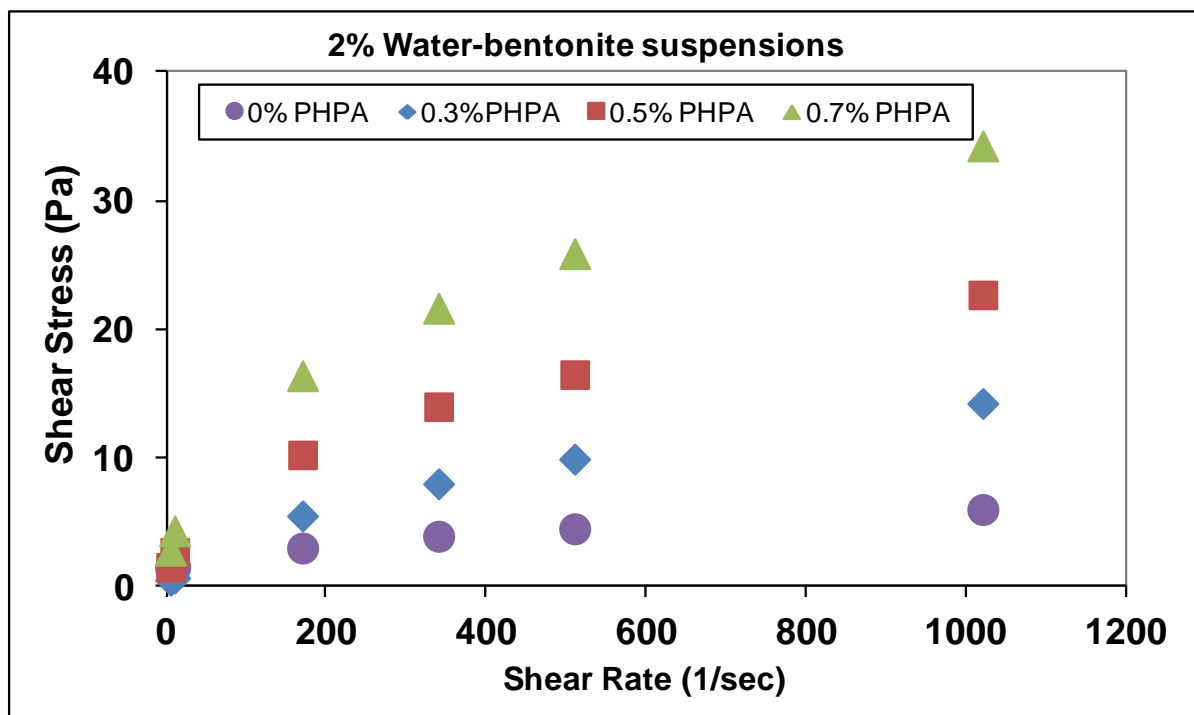


Figure 2. Rheograms of various concentrations (0.3%, 0.5% and 0.7%) PHPA in the 2% water-bentonite suspension.

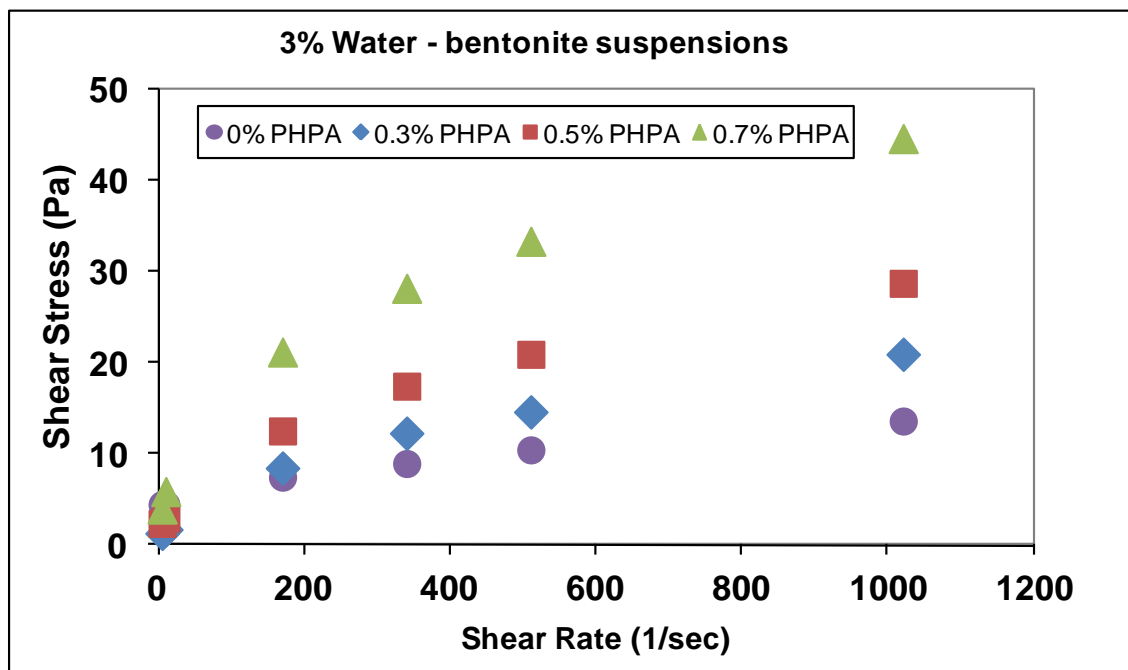


Figure 3. Rheograms of various concentrations (0.3%, 0.5% and 0.7%) PHPA in the 3% water-bentonite suspension.

The Herschel-Bulkley rheological parameters are shown in Table 1 for all samples that were analyzed, together with the correlation coefficient and the sum of square errors (SUMQ). The variation of the HB parameters with the PHPA concentrations for the two bentonite concentrations is depicted in Figures 4 and 5 for the 2% and 3% water-bentonite suspensions. The PHPA free suspensions exhibit very good Herschel-Bulkley rheological behaviour with good correlation coefficients and small sum of square errors, having yield stresses of 0.34 Pa and 2.94 PA for the 2% and 3% bentonite respectively.

Sample		$\tau_y [=] Pa s^n$	$K [=] Pa s^n$	$n [=] -$	R_c^2	SUMQ (Pa^2)
2% <i>bentonite</i>	0,0% PHPA	0.3398	0.4806	0.3501	0.985	0.231
	0,3% PHPA	0	0.3115	0.5533	0.997	0.1595
	0,5% PHPA	0	0.9473	0.4592	0.9988	0.3856
	0,7% PHPA	0	1.7255	0.43296	0.9987	1.0057
3% <i>bentonite</i>	0,0% PHPA	3.9424	0.1794	0.5762	0.9993	0.0471
	0,3% PHPA	0	0.6188	0.5091	0.9993	0.1896
	0,5% PHPA	0	1.3460	0.4675	0.9996	0.1923
	0,7% PHPA	0	2.2896	0.4297	0.9994	0.7649

Table 1. Rheological parameters for the base fluids

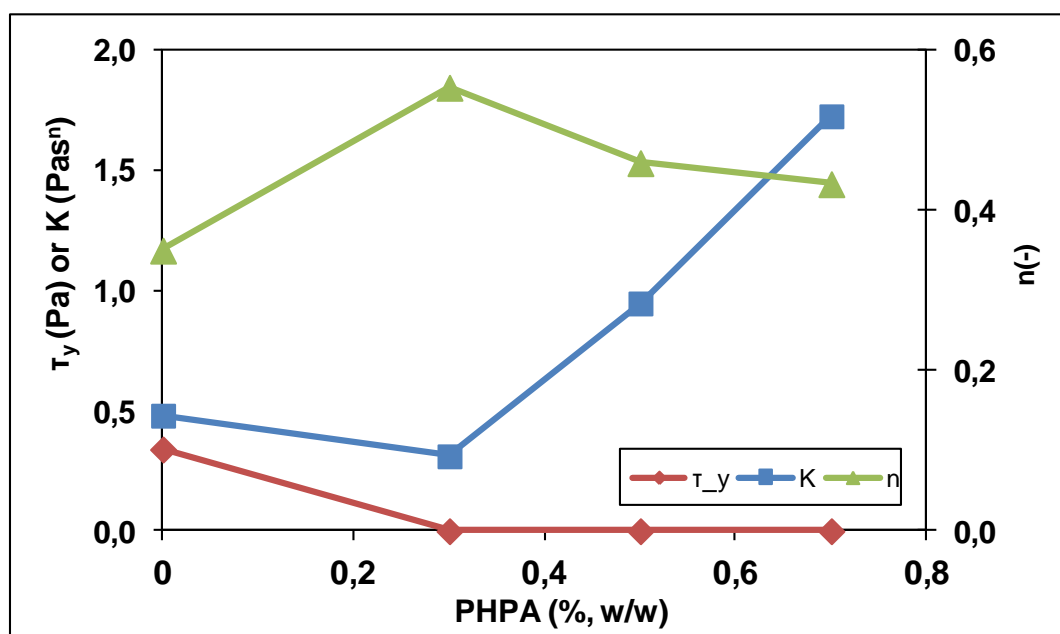


Figure 4. Variation of HB rheological parameters with PHPA concentration for 2% (m/V) water –bentonite suspensions

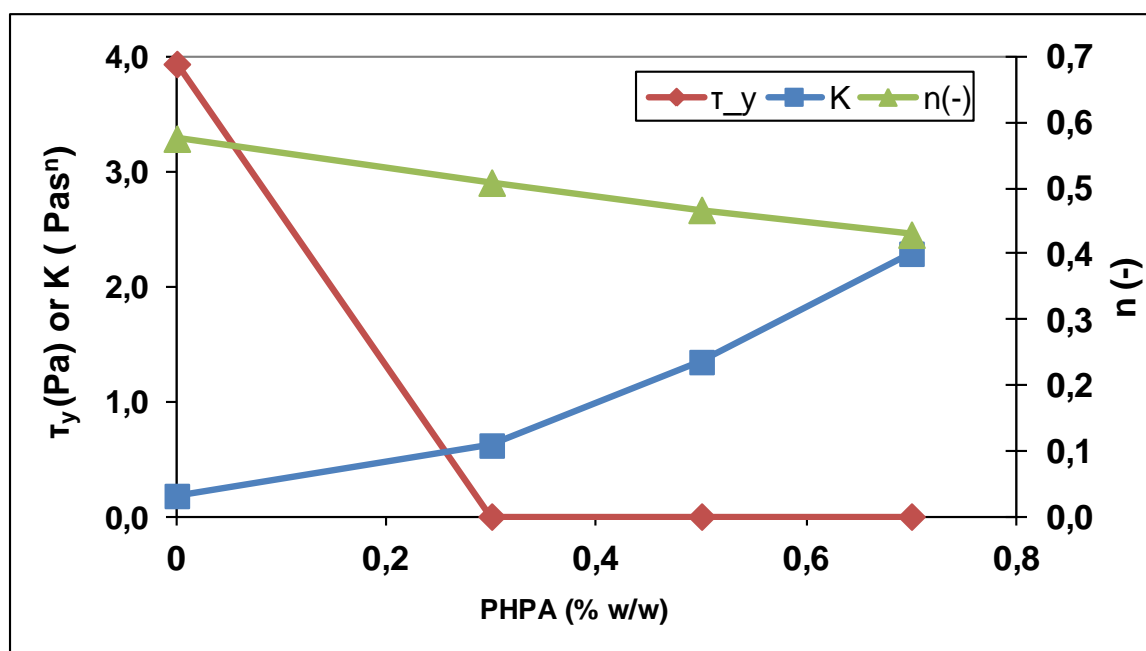


Figure 5. Variation of HB rheological parameters with PHPA concentration for 3% (m/V) water –bentonite suspensions

Addition of PHPA at all concentrations changes the rheological behavior of the fluids from Herschel-Bulkley to power law, possibly because of the coating that PHPA molecules offer to bentonite particles, as it will be demonstrated below, which prevents bentonite particles to form gel structures which are responsible for the yield stress. It would be interesting to investigate up to what concentration of bentonite we see the diminution of the yield stress with the addition of even the smallest amounts of PHPA, and this is part of another study. The flow consistency index K presents also a minimum, as did with the CMC addition for the 2% bentonite, while there is a smooth increase in K with PHPA concentration for the 2% bentonite suspension. The values of the flow behavior index n change a little for the 3% bentonite suspension while there is gradual decrease for n for the 3% bentonite concentration.

It is interesting to compare the performance of PHPA with respect to the addition of CMC, which is one of the most common additives used for modifying rheological and filtration properties of water-bentonite dispersions. The variation of the HB parameters for water-bentonite-CMC solutions is shown in Figure 6. Comparing the results of Figures 5 and 6, which have the samples with the same bentonite concentration of 3%, one can see that addition of CMC reduces the yield stress of the bentonite suspension but does not diminish it, as did the PHPA additive, at almost similar concentrations. It only presents a minimum in yield stress with respect to the CMC concentration. The trends in the K and n values is very similar for CMC and PHPA suspensions, with the difference that K values in the PHPA fluids increased by a factor of 4 for both 2% and 3% bentonite concentrations, while CMC addition just doubled the K values for the maximum concentration studied.

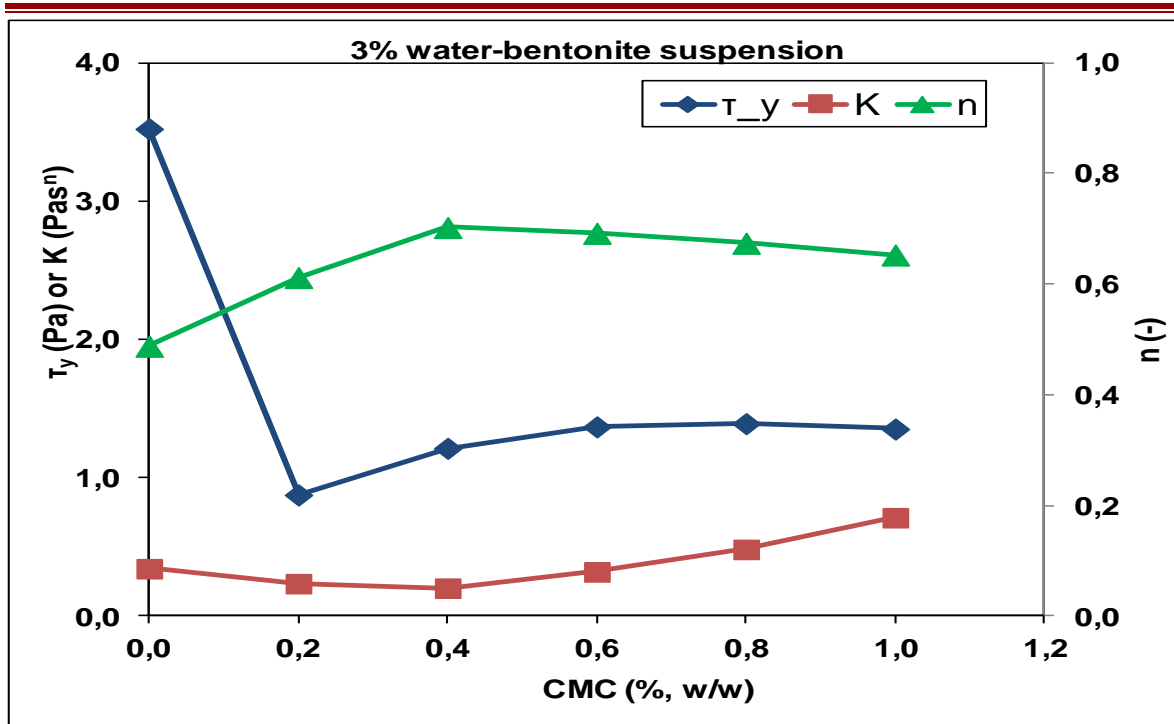


Figure 6. Variation of Herschel-Bulkley rheological parameters with the CMC concentration (data from Kelessidis et al., 2011).

3.2 Fluid loss measurements

The API 30 min fluid loss values for all samples tested are given in Table 2. The 30 min fluid loss values for the PHPA free suspensions were much higher than the API suggested maximum of 15ml, with the 2% bentonite showing 33.6 ml and the 3% bentonite showing 22.6 ml fluid loss in 30 min. The fluid loss for the suspensions with the PHPA at all concentrations studied were very good, with a very small decrease in the values both with the increase in PHPA concentration and with the increase in bentonite concentration. Analyzing the values of the fluid loss for the 2% bentonite concentration and observing that it is approximately constant for all PHPA concentrations one can say that apparently there is saturation of the bentonite particles with PHPA at about 0.5% PHPA and no further decrease in the fluid loss is observed with the 0.7% PHPA. For the 3% bentonite suspension, even at 0.7% there is not full saturation of bentonite particles and there is room for further reduction in the fluid loss values, even though the values are very small. The time evolution of the 30 min fluid loss values for all samples is depicted in Figure 7 where it is evident that for all samples, the curve obeys the square root law.

Sample	+PHPA	Fluid Loss (ml)
2% bentonite	0.0%	33.6
	0.3%	8.8
	0.5%	8.2
	0.7%	8.1
3% bentonite	0.0%	22.6
	0.3%	7.4
	0.5%	7.2
	0.7%	5.6

Table 2. Fluid loss for base muds

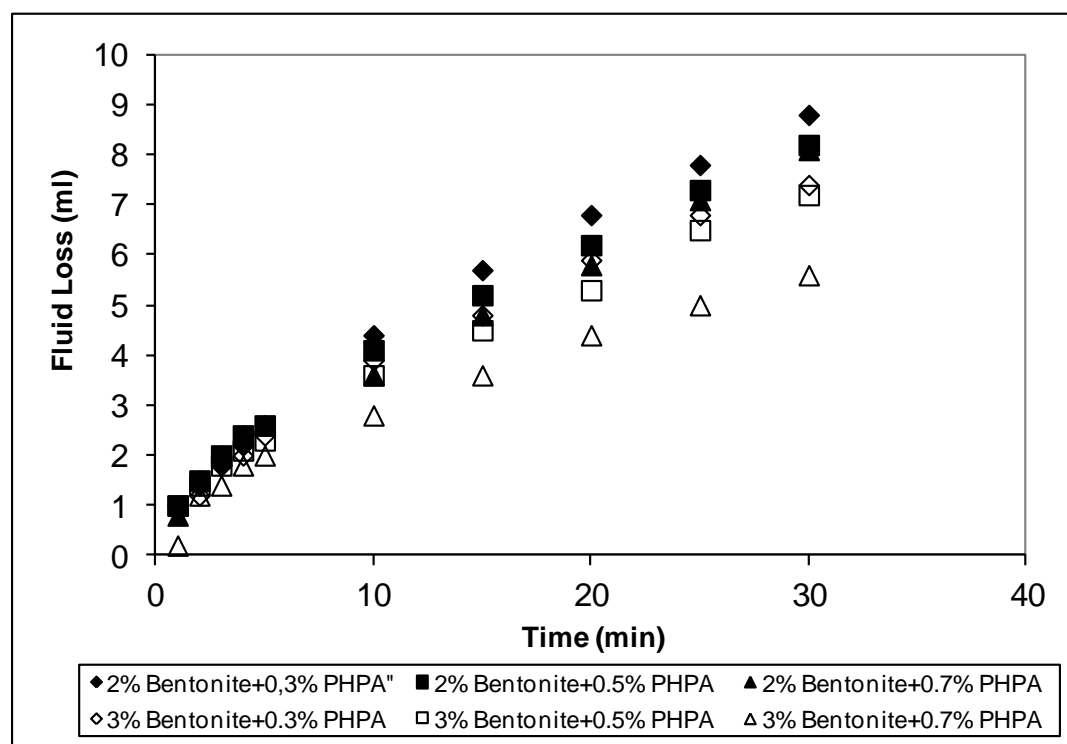


Figure 7. Development of fluid loss versus time

In addition to the fluid loss values, we have studied the surface morphology of the filter cake of the water bentonite suspension with PHPA but also with the shale cuttings added to the base fluid. The morphology of the filter cake with bentonite only is shown in Figure 8 while Figure 9 shows the morphology of the sample of bentonite with the addition of

PHPA. PHPA has a typical arachnoid (spider-net like) structure, indicated in Figure 9 with the circle, and this structure probably contributes to the compaction of the filter cake and the closing of any fluid channels resulting in the strong reduction of the fluid loss compared to bentonite only samples (compare value of 22.6 ml for 3% bentonite with 7.2 ml for 3% bentonite with 0.5% PHPA).

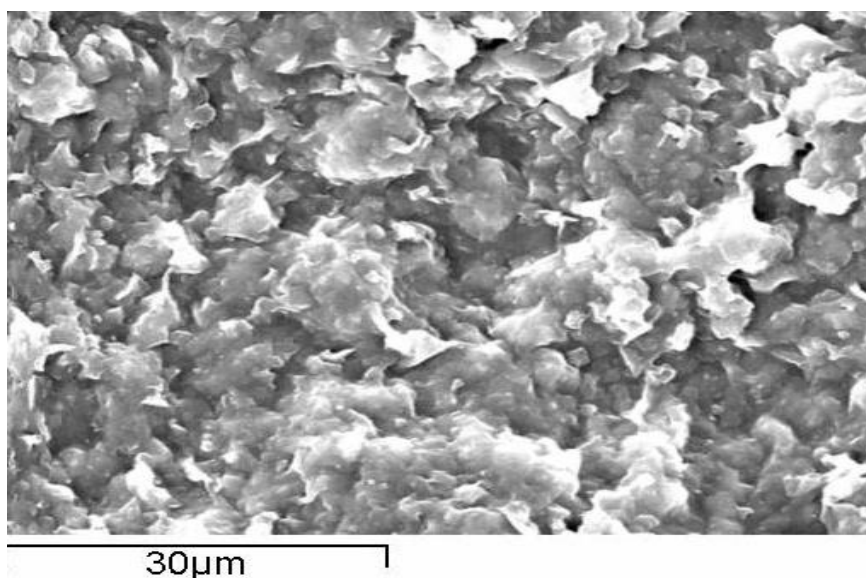


Figure 8: Scanning Electron Microscope picture of filter cake with 3% bentonite only

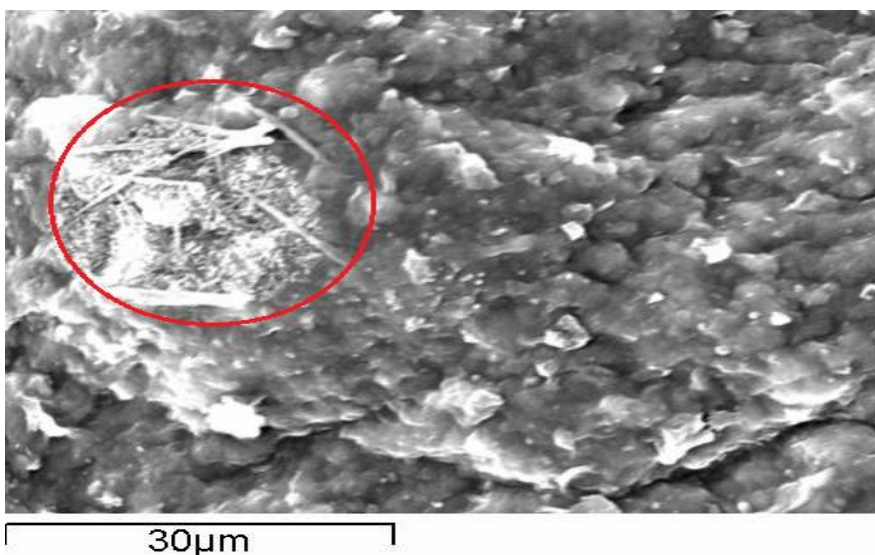


Figure 9: Scanning Electron Microscope picture of filter cake with 3% bentonite and 0.5% PHPA

We have performed some experiments on fluid loss of bentonite with PHPA additive with the addition of shale cuttings and took SEM pictures of the filter cake, which is shown in Figure 10. It is very interesting to see the attachment of PHPA on the shale cuttings which would then result in the inhibition of shale swelling and thus shows the reasons why PHPA is considered a very good inhibitor.

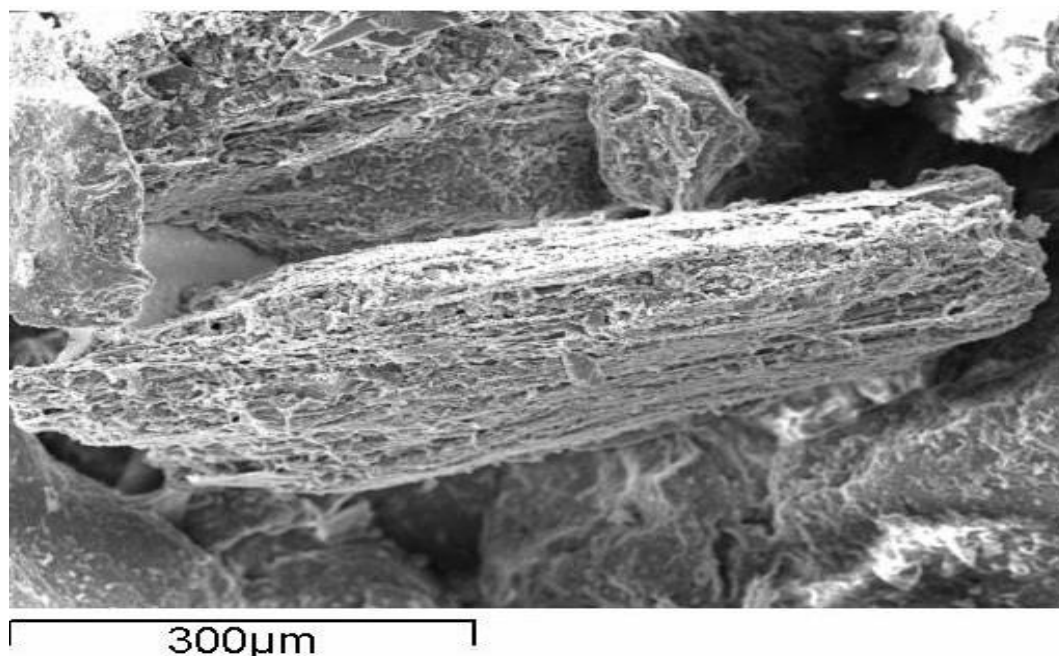


Figure 10: Scanning Electron Microscope picture of filter cake with 3% bentonite and 0.5% PHPA and shale cuttings of size 200-500 μm

Liao et al. (1990) concluded after an extensive study that PHPA molecules inhibit shale degradation by coating the cuttings and wellbore formation through ionic attraction and hydrogen bonding. The SEM pictures derived in this work show clearly the bonding of the polymer on the shale surface which has immediate result in the very good performance of the additive in terms of fluid loss control.

4.0 CONCLUSIONS

Addition of different amounts of PHPA to of 2% and 3% bentonite suspensions has proven very effective in reducing fluid loss. For the 2% bentonite the reduction was from 33.6 ml to 8.8 ml for 0.3%, 8.2 ml for 0.5% and 8.1 ml for the 0.7% PHPA. For the fluid loss of 3%

bentonite the reduction was from 22.6 ml at 0% PHPA to 7.4 ml at 0.3%, 7.2 ml at 0.5% PHPA and 5.6ml for 0.7% PHPA.

PHPA modified the rheological properties by increasing considerably the flow consistency index while keeping the flow behaviour index essentially the same. The yield stress of the bentonite only suspensions was modified and the bentonite suspensions from a yield-pseudoplastic fluids became power law fluids for all PHPA concentrations.

SEM pictures revealed very clearly that PHPA spreads onto bentonite particles but also the added shale cuttings as an arachnoid-structure which then prevents any further swelling of the particles thus providing the inhibitive behaviour.

PHPA is very easy to mix with the bentonite suspension, especially compared to many other polymers like CMC.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has been partially supported by an e-internship program of TESCO Corporation.

REFERENCES

- Benchabane, A. and Bekkour, K. (2006), “Effects of anionic additives on the rheological behavior of aqueous calcium montmorillonite suspensions” J. Rheological Acta 45 pp. 425-434.
- Caenn R., GV. Chillingar, 1996. Drilling fluids: State of the art, Journal of Petroleum Science and Engineering I4, 22 1-230
- Dolz, M., Jiménez, J., Hernández, M. J., Delegido J., Casanovas A. (2007), “Flow and thixotropy of non-contaminating oil drilling fluids formulated with bentonite and sodium carboxymethyl cellulose”, Journal of Petroleum Science and Engineering 57, pp. 294-302
- Iscan, A.G. and Kok, M.V. (2007), “Effects of Polymers and CMC Concentration on Rheological and Fluid Loss Parameters of Water-Based Drilling Fluids”, J. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 29, pp. 939 — 949
- Kelessidis V.C., M. Poulakakis, V. Chatzistamou, 2011. Use of Carbopol 980 and Carboxymethyl-Cellulose polymers as rheology modifiers of sodium-bentonite water dispersions, Applied Clay Science, 54, 63-69.
- Liao WA, DR Siems, 1990. Adsorption characteristics of PHPA on formation solids, paper IADC/SPE 19945 presented at the Drilling Conference, Houston, TX, Feb.27-March 2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΡΕΥΣΤΑ

Με τον όρο ρευστά χαρακτηρίζονται οι ουσίες που παρουσιάζουν ροή. Τέτοιες ουσίες είναι τα υγρά και τα αέρια. Συνεπώς ο όρος ρευστά χαρακτηρίζει συνοπτικά τα υγρά και τα αέρια των οποίων οι δυνάμεις συνοχής είναι χαλαρές με συνέπεια η μάζα τους να ολισθαίνει ελεύθερα (περίπτωση υγρών) ή να μετατοπίζεται ανεξάρτητα (περίπτωση αερίων) έτσι ώστε να λαμβάνει κάθε φορά το σχήμα του χώρου που καταλαμβάνουν ή του μέσου δια του οποίου κινούνται.

Διακρίνονται στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες:

Ιδανικά ρευστά ή τέλεια ρευστά: Χαρακτηρίζονται υποθετικά ρευστά τα οποία είναι τελείως ασυμπίεστα. Κατά την κίνηση των ρευστών αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής μεταξύ των μορίων τους (εσωτερική τριβή) αλλά και μεταξύ των μορίων τους και των τοιχωμάτων του σωλήνα μέσα στον οποίο πραγματοποιείται η κίνηση (δυνάμεις συναφείας). Αν οι δυνάμεις που προαναφέραμε υπερβούν κάποιο όριο το ρευστό δημιουργεί κατά τη ροή του δίνες και η ροή λέγεται τυρβώδης ή στροβιλώδης. Η μελέτη μιας τέτοιας κίνησης είναι πολύπλοκη. Εμείς θα περιοριστούμε στη μελέτη της ροής ενός ρευστού που δεν παρουσιάζει εσωτερικές τριβές και τριβές με τα τοιχώματά του σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει και επιπλέον είναι ασυμπίεστο. Ένα τέτοιο ρευστό χαρακτηρίζεται ως **ιδανικό**. Αυτά τα ρευστά αποτελούν υποθετική θεωρητική κατάσταση και μόνο, που λαμβάνεται υπόψη στις έρευνες και μελέτες των Νόμων των ρευστών διευκολύνοντας έτσι κατά πολύ την εξαγωγή συμπερασμάτων με αντίστοιχους υπολογισμούς. Παρά ταύτα ορισμένα φυσικά ρευστά με πολύ χαμηλό ιξώδες και μικρή θερμική αγωγιμότητα είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν, βέβαια κατά προσέγγιση, ως ιδανικά ρευστά (π.χ αέρια σε συνθήκες περιβάλλοντος).

Νευτώνεια ρευστά: Χαρακτηρίζονται όσα υπακούουν ουσιαστικά τους νόμους του Νεύτωνα. Δηλαδή αυτά των οποίων η διατμητική τάση είναι ανάλογη του ρυθμού μεταβολής της ταχύτητας όπως π.χ. το νερό, υδατικά διαλύματα, ορισμένοι υδατικοί διαλύτες, τα αραιά αιωρήματα και γαλακτώματα, καθώς και όλα τα αέρια.

Μη Νευτώνεια ρευστά: Χαρακτηρίζονται συνήθως υγρά που το ιξώδες τους είναι συνάρτηση της διατμητικής τάσης που εφαρμόζεται. Ακόμα είναι αυτά τα ρευστά που

παρουσιάζουν αρχικά υψηλό ιξώδες και όταν υποβάλλονται σε ανάδευση γίνονται περισσότερο λεπτόρρευστα, όπως, για παράδειγμα, το τυπογραφικό μελάνι, οι διάφορες βαφές (ελαιοχρώματα κ.λπ.). Επίσης σε αυτή τη κατηγορία υπάγονται τα πυκνά αιωρήματα καθώς και τα διάφορα πυκνά γαλακτώματα. Μη Νευτώνεια ρευστά χαρακτηρίζονται και τα ρευστά γεωτρήσεων τα οποία είναι και αντικείμενο της παρούσης εργασίας.

1.2 ΡΕΥΣΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

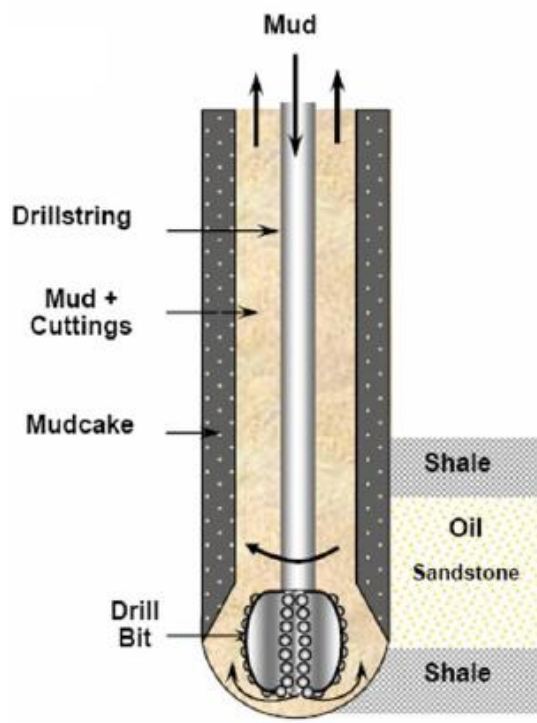
Πολφός γεώτρησης (drilling mud) είναι συνήθως ένα υδατικό αιώρημα πηλού και άλλων υλικών, ονομαζόμενο και πολφός γεώτρησης ή λάσπη. Συγκεκριμένα αναφέρεται πώς ήταν πιθανώς μια Αμερικανική ανακάλυψη. Η περιστροφική διάνοιξη σε μια γεώτρηση είχε εφαρμοστεί από τις αρχές του 1821 από τον P.Phanor Prudhomme για τη διάνοιξη μιας γεώτρησης στις Βερμούδες. Για πολλά χρόνια το σύστημα χρησιμοποιούνταν για τη διάνοιξη πηγαδιών νερού στα μέσα της δεκαετίας στην Αμερικανική Ήπειρο και στην ακτή του Κόλπου του Μεξικού (Gulf Coast) και το ρευστό που κυκλοφορούσε ήταν πάντα το νερό. Από το 1887 (R.J.Forbes και τον D.R.O’Bernie ,1890-1940,The technical development of the royal dutch/shell) ήταν πολύ χρήσιμη η προσθήκη στερεών στους πολφούς.

Η πρώτη χρήση της λάσπης από πηλό σε γεωτρήσεις νερού στις ΗΠΑ χρονολογείται από το 1888 ή 1889. Η πρώτη επιτυχής χρήση πολφού στη βιομηχανία πετρελαίου πραγματοποιήθηκε το 1901, παρόλο που τα διατρητικά ρευστά είχαν χρησιμοποιηθεί νωρίτερα. Η διάνοιξη μιας γεώτρησης ήταν δύσκολο στην αρχή. Ο Lucas ,ένας μεταλλειολόγος μηχανικός από την Αυστρία και οι συνεργάτες του αντιμετώπισαν τα ίδια προβλήματα που είχαν αντιμετωπίσει πολλοί άλλοι γεωτρυπανιστές κατά μήκος της παράκτιας πεδιάδας του Τέξας στη περιοχή Spindletop των Ηνωμένων Πολιτειών στις 10 Ιανουαρίου του 1901. Ο ειδικός διάνοιξης ερευνητικής γεώτρησης πετρελαίου έπρεπε να διατρήσει μέσω αρκετών εκατοντάδων μέτρων άμμου, το οποίο και έκανε την τρύπα επιρρεπή σε διάβρωση. Για να βοηθήσει στην επίλυση αυτού του προβλήματος, ένας από τους γεωτρυπανιστές του Lucas, ο Curt Hamill, κατέληξε σε μια λύση που ήταν επαναστατική για εκείνη την εποχή. Αντί για εισπίεση νερού κάτω από την γεώτρηση για να καθαριστούν τα θραύσματα που παράγονται από τη δράση του τρυπανιού, χρησιμοποίησε λάσπη. Αυτό αποδείχθηκε ότι βοήθησε όχι μόνο στην ανάκτηση των

θραυσμάτων, αλλά εξίσου διαπιστώθηκε ότι η λάσπη κολλούσε στην εσωτερική πλευρά των τοιχωμάτων της γεώτρησης με αποτέλεσμα να αποτρέψει την ενδεχόμενη καθίζηση τους. Συμπερασματικά διαπιστώθηκαν περισσότερα οφέλη από ό,τι αναμενόταν, έτσι από τότε η λάσπη χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε γεώτρηση σε όλο τον κόσμο.

Μέχρι το 1960 οι υδατικοί πολφοί μπεντονίτη (Water Based Muds, WBM) ήταν κυρίαρχοι στις γεωτρήσεις. Με την αύξηση όμως του βάθους διάτρησης παρουσιάστηκαν τα πρώτα προβλήματα, που οφείλονταν στην αστάθεια των πολφών στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς και στην μικρή λιπαντική ικανότητα που προσέφεραν, ειδικά σε κεκλιμένες γεωτρήσεις. Με την επέκταση σε όλο και βαθύτερα φρεάτα με υψηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις, η βιομηχανία ανέπτυξε εξειδικευμένα πρόσθετα χημικά για συγκεκριμένες χρήσεις.

Όσο μεγαλύτερη γινόταν η βεβαιότητα της συμβολής του πολφού στην ασφαλέστερη, γρηγορότερη και πιο οικονομική διάτρηση, τόσο πιο μεθοδική ήταν η έρευνα στη



σύνθεση των διατρητικών ρευστών. Αποτέλεσμα των ερευνών αυτών ήταν η σημαντική ανακάλυψη, πως η κολλοειδής συμπεριφορά των πολφών ήταν πρωταρχικής σημασίας για τον καθορισμό της ποιότητας του. Μέσα στην επόμενη δεκαετία μετά την εισαγωγή των υλικών αύξησης της πυκνότητας του πολφού, αναπτύχθηκε η χρήση εμπλουτισμένων κολλοειδών πρόσθετων μέσα στον πολφό, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας και της απόδοσης του.

Στην περιστροφική διάνοιξη, η κυκλοφορία του διατρητικού ρευστού έχει ως εξής (Εικόνα 1). Το κοπτικό άκρο έρχεται σε επαφή με το σχηματισμό που περιστρέφεται μέσω της διατρητικής στήλης (drillpipe). Το διατρητικό ρευστό φτάνει μέσω της

Εικόνα 1: Κυκλοφορία πολφού στη περιστροφική διάνοιξη

διατρητικής στήλης στο κοπτικό άκρο και ξαναγυρίζει στην επιφάνεια μέσω του δακτυλίου που δημιουργείται μεταξύ των τοιχωμάτων της γεώτρησης και της διατρητικής στήλης.

Τα τρίμματα των πετρωμάτων μεταφέρονται στην επιφάνεια από όπου διαχωρίζονται από το διατρητικό ρευστό. Το διατρητικό ρευστό περνά από ένα κόσκινο από όπου γίνεται ο διαχωρισμός από τα θραύσματα και στη συνέχεια οδηγείται σε μια δεξαμενή. Τέλος με τη βοήθεια μιας αντλίας το ρευστό επανακυκλοφορεί στη διατρητική στήλη και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία.

Σήμερα ανάμεσα στους κύριους στόχους που θέτουν οι μηχανικοί των διατρητικών ρευστών, είναι ο έλεγχος του περιεχομένου των κολλοειδών και του βαθμού διασποράς τους στον πολφό. Η επιτυχία σ' αυτόν τον τομέα φαίνεται ξεκάθαρα με σύγκριση των γεωτρήσεων που γίνονταν πριν από δέκα, δεκαπέντε και είκοσι χρόνια με αυτές που γίνονται σήμερα, όσον αφορά κύρια στο βάθος του πηγαδιού και στη διάμετρο της οπής του.

Οι κυριότερες χρήσεις των πολφών γεωτρήσεων είναι οι παρακάτω (Κελεσιδης 2012):

1. Να καθαρίζουν τα θραύσματα των πετρωμάτων κάτω από το κοπτικό άκρο και να τα μεταφέρουν στην επιφάνεια
2. Να ασκούν υδροστατική πίεση στα τοιχώματα του φρέατος ώστε να αποτρέπουν την εισροή ρευστών πετρωμάτων στο φρέαρ.
3. Να διατηρούν το φρέαρ καθαρό έως ότου γίνει η επένδυση με σωλήνα.
4. Να ψύχουν και να λιπαίνουν την διατρητική στήλη και το κοπτικό άκρο.
5. Να μην έχουν ιδιότητες που να αποτρέπουν ή να δυσκολεύουν την εφαρμογή τεχνικών για την αποτίμηση των πετρωμάτων.
6. Να μην προκαλούν προβλήματα μη αναστρέψιμα στα πετρώματα που έρχονται σε επαφή.
7. Να μην προκαλούν διάβρωση της διατρητικής στήλης.

Ο μηχανικός λάσπης είναι υπεύθυνος για την επιλογή και την συντήρηση του καλύτερου δυνατού ρευστού γεώτρησης. Τα περισσότερα προβλήματα στις γεωτρήσεις είναι συνδεδεμένα με το ρευστό γεώτρησης. Το ρευστό γεώτρησης πρέπει να διατηρείται στην καλύτερη δυνατή κατάσταση και στο χαμηλότερο δυνατό κόστος. Τα ρευστά γεώτρησης μπορεί να είναι είτε αέρας, είτε νερό, είτε νερό με πρόσθετα, είτε αφρός.

Οι κυριότεροι παράγοντες που προσδιορίζουν την επιλογή του ρευστού γεώτρησης είναι:

1. Τα είδη των πετρωμάτων που θα απαντηθούν στο φρέαρ
2. Το εύρος των θερμοκρασιών, διαπερατότητας, πιέσεων ρευστών πετρωμάτων, σκληρότητα πετρωμάτων.
3. Η μεθοδολογία αποτίμησης των πετρωμάτων (διαγραφίες).
4. Η ποιότητα του διαθέσιμου νερού.
5. Οικολογικοί και περιβαλλοντικοί λόγοι.

1.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

Οι βασικές ιδιότητες των ρευστών κατηγοριοποιούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- 1) την πυκνότητα
- 2) τις ρεολογικές ιδιότητες
- 3) και το φιλτράρισμα (διήθηση)

1.3.1 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Πυκνότητα είναι η μάζα του ρευστού ανά μονάδα όγκου. Συνήθως εκφράζεται σε g/cm^3 ενώ η αγγλοσαξονική μονάδα της βιομηχανίας γεωτρήσεων ορίζεται ως lbm / gal (ppg). Η πυκνότητα του νερού σε 4°C είναι $1 \text{ g/cm}^3 = 8.33 \text{ ppg}$.

Η πυκνότητα του ρευστού γεώτρησης ρυθμίζεται ώστε να παρέχεται ικανή υδροστατική πίεση για εξισορρόπηση της πίεσης των ρευστών των πετρωμάτων αλλά και να μην είναι πολύ υψηλή ώστε να προκαλεί θραύση των πετρωμάτων. Οποιοδήποτε υλικό έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος από το νερό και δεν επιδρά αρνητικά στις άλλες ιδιότητες του ρευστού γεώτρησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο για αύξηση της πυκνότητας. Τα υλικά αυτά είτε διαλύονται είτε αιωρούνται στο ρευστό γεώτρησης. Φυσικά το κόστος είναι σημαντικός παράγοντας για την τελική επιλογή του υλικού, αλλά υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη πέραν από το κόστος.

Ο βαρίτης (ορυκτό απαντώμενο ως BaSO_4) είναι το τυπικό πρόσθετο για αύξηση της πυκνότητας λόγω χαμηλού κόστους, υψηλού ειδικού βάρους, καθαρότητας και ουδετερότητας στα υγρά που χρησιμοποιούνται. Έχει συνήθη σχετική πυκνότητα (λόγος πυκνότητας προς την πυκνότητα του νερού στους 4°C) ίση με 4,30. Ο μπεντονίτης επίσης

χρησιμοποιείται και για αύξηση της πυκνότητας του πολφού, με σχετική πυκνότητα περίπου 2.50.

1.3.2 ΡΕΟΛΟΓΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Ρεολογία είναι μια ευρεία έννοια που ουσιαστικά μέσω αυτής υπολογίζουμε τις πιέσεις στη γεώτρηση. Το ιξώδες του ρευστού είναι η ιδιότητα αντίστασης σε ροή ή σε κίνηση. Ρευστά υψηλού ιξώδους εκφράζονται ως παχύρρευστα και χαμηλού ιξώδους ως λεπτόρρευστα. Το επιθυμητό ιξώδες για ρευστά γεώτρησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η πυκνότητα ρευστού, διάμετρος φρέατος, παροχή ρευστού, ρυθμός διάτρησης, απαιτήσεις πιέσεων, κατάσταση τοιχωμάτων φρέατος.

Το ιξώδες του ρευστού γεώτρησης ως μέτρηση ιξώδους ενός σημείου (ένας ρυθμός διάτρησης, όπως για παράδειγμα το χωνί Marsh) είναι συνάρτηση τριών παραγόντων, του ιξώδους της συνεχούς φάσης, του μεγέθους, της μορφής και ποσότητας στερεών σωματιδίων και των αναπτυσσόμενων δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων. Το ιξώδες της συνεχούς φάσης επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Ρευστό γεώτρησης με συγκεκριμένο ποσοστό κατά βάρος μεγάλου μεγέθους στερεών παρουσιάζει μικρότερο ιξώδες από ρευστό με ίδιο ποσοστό στερεών αλλά μικρότερου μεγέθους. Αυτό οφείλεται στο μεγαλύτερο αριθμό στερεών σωματιδίων και στην μεγαλύτερη επιφάνεια που πρέπει να διαβραχεί.

Τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αύξηση του ιξώδους είναι άργιλοι με περισσότερο χρησιμοποιούμενο τον μπεντονίτη, που είναι αλουμινιοπυριτιούχο νάτριο ή ασβέστιο. Επίσης χρησιμοποιούνται σεπιολίτης (ένυδρο πυριτιούχο μαγνήσιο) και αταπουλγίτης (ένυδρο πυριτιούχο αλουμινο-μαγνήσιο). Η ελάττωση του ιξώδους επιτυγχάνεται είτε με την ελάττωση του ποσοστού των στερεών (π.χ. με αραίωση ή με μηχανικά μέσα) είτε με την αδρανοποίηση των ελκτικών δυνάμεων με την προσθήκη χημικών.

Ο μπεντονίτης (ονομάσθηκε από την περιοχή που πρώτα εντοπίστηκε εμπορικά εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα – Fort Benton, Wyoming, ΗΠΑ) αποτελεί το πλέον διαδεδομένο ορυκτό για ρύθμιση του ιξώδους των πολφών γεωτρήσεων. Αποτελείται από σωματίδια μικρού μεγέθους που περιέχουν περισσότερο από 85 % μοντοριλλονίτη (montmorillonite). Χαρακτηρίζεται δε ως μπεντονίτης νατρίου ή ασβεστίου ανάλογα από το κατιόν ανταλλαγής που υπερισχύει, με τον νατριούχο μπεντονίτη να παρουσιάζει τα

καλύτερα χαρακτηριστικά ως πρόσθετου για την βιομηχανία γεωτρήσεων. Ο μπεντονίτης Wyoming, που παράγεται στην πολιτεία Wyoming (ΗΠΑ), είναι φυσικός νατριούχος μπεντονίτης και αποτελεί ίσως έναν από τους καλύτερους μπεντονίτες στην αγορά. Στην Ελλάδα (Μήλο) παράγεται ως φυσικός ο ασβεστούχος μπεντονίτης και μετά την επεξεργασία του με σόδα αντικαθίσταται το ασβέστιο με νάτριο και έχει έτσι καλύτερα χαρακτηριστικά από ότι ο φυσικός ασβεστούχος μπεντονίτης. Οι πολφοί μπεντονίτη έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την χρήση νερού ή αέρα ως ρευστού γεώτρησης.

Ο μπεντονίτης προστίθεται σε πολφό νερού για αύξηση ικανότητας καθαρισμού φρέατος, ελάττωση ρυθμού διήθησης σε διαπερατά στρώματα, δημιουργία λεπτού υποστρώματος στα τοιχώματα του φρέατος, βελτίωση της σταθερότητας των πετρωμάτων και αποφυγή ή επανάκαμψη από διαφυγή μεγάλου όγκου ρευστού στα πετρώματα (lost circulation).

Το βασικότερο μειονέκτημα των πολφών μπεντονίτη είναι στις γεωτρήσεις υδρογονανθράκων υψηλής θερμοκρασίας. Λόγω του ότι δεν παρουσιάζουν θερμική σταθερότητα με αποτέλεσμα σε υψηλές θερμοκρασίες να δημιουργούν συσσωματώματα και έτσι να χάνουν τις καλές ρεολογικές ιδιότητες. Βέβαια υπάρχουν και δευτερεύοντα μειονεκτήματα όπως η δυσκολία στην απόρριψη τους μετά το πέρας της γεώτρησης.

Το ποσοστό μπεντονίτη που προστίθεται ποικίλει ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες. Προτεινόμενες περιεκτικότητες πολφών μπεντονίτη παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 1 (Δαλαμαρίνης, 2009).

ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗΣ ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΟΣ ΣΕ:	ΦΡΕΣΚΟ ΝΕΡΟ (kg/m ³)	ΠΟΛΦΟΣ ΦΡΕΣΚΟΥ ΝΕΡΟΥ (kg/m ³)
Κανονικές γεωτρητικές συνθήκες	35-60	11-28
Σταθεροποίηση τοιχωμάτων	70-100	25-50
Απώλεια κυκλοφορίας	85-110	28-56

Πίνακας 1: Αναλογίες μπεντονίτη σε πολφό

1.3.3 ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ

Όταν γίνεται διάτρηση σε πορώδους σχηματισμούς πολλές φορές, λόγω θετικής διαφορικής πίεσης από την γεώτρηση (P_1) στον σχηματισμό (P_2), δηλαδή ($P_1 - P_2 > 0$), υπάρχει απώλεια ρευστού προς τα πετρώματα. Είναι επιθυμητό να ελαχιστοποιηθεί αυτή η απώλεια για να μην ‘μολυνθεί’ ο σχηματισμός και κλείσουν οι πόροι με αποτέλεσμα να μην είναι ικανοποιητική η παραγωγή. Αυτή η απώλεια υγρού από το ρευστό γεώτρησης ρυθμίζεται με το υμένιο λάσπης (filter cake) που δημιουργείται από τα στερεά του ρευστού γεώτρησης στα τοιχώματα της γεώτρησης. Κατά την γεώτρηση τα στερεά εναποτίθενται στα τοιχώματα του φρέατος και το υγρό διαπερνά το δημιουργηθέν υμένιο και εισέρχεται στους πόρους των πετρωμάτων. Αυτό το φαινόμενο πρέπει να περιορισθεί στο ελάχιστο. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού διαμορφώνεται τέτοιο ρευστό γεώτρησης που θα δημιουργήσει ένα λεπτό υπόστρωμα στα τοιχώματα του φρέατος με πολύ μικρή διαπερατότητα που δεν θα επιτρέπει την διήθηση και διαφυγή υγρού στους πόρους των πετρωμάτων.

Τα υλικά που προστίθενται στους πολφούς είναι ενώσεις που δημιουργούν ένα υμένιο με πολύ μικρή διαπερατότητα όπως ο μπεντονίτης, συνθετικά πολυμερή, αμυλούχες ενώσεις, διαλυτικά (thinners), αντι-κροκιδωτικά (deflocculants). Η ρύθμιση επιτυγχάνεται με τρεις τρόπους: α) Εναποτίθεται στα τοιχώματα του φρέατος ένα υπόστρωμα από αντι-κροκιδωτικά υλικά και δημιουργεί ένα λεπτό, λιγότερο διαπερατό στρώμα υλικού που δρα ως αντι-κροκιδωτικό. β) Ο ρυθμός διήθησης ελαττώνεται εάν το ιξώδες του διηθήματος είναι υψηλό, συνεπώς υλικά που αυξάνουν το ιξώδες του ρευστού (της συνεχούς φάσης) υποβοηθούν. Τέτοια υλικά είναι τα πολυμερή σχετικά υψηλού Μοριακού Βάρους. γ) Με την δημιουργία συμπιεστού υποστρώματος που συμπιέζεται και έτσι κλείνει τους πόρους των πετρωμάτων. Κολλοειδή όπως ο μπεντονίτης και μερικά ασφαλικά παράγωγα υποβοηθούν προς αυτή την κατεύθυνση.

1.4 ΡΕΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Τα ρεολογικά μοντέλα που περιγράφουν την συμπεριφορά των ρευστών χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα Νευτώνεια και τα μη Νευτώνεια. Η συντριπτική πλειοψηφία

των ρευστών γεωτρήσεων ακολουθούν τους νόμους των μη Νευτώνειων ρευστών. Τα πιο βασικά ρεολογικά μοντέλα είναι: Bingham Plastic, Power Law και Herschel –Bulkley.

Μοντέλο Bingham Plastic

Πρόκειται για ρευστά τα οποία απαιτούν μια αρχική τάση ώστε να αρχίσουν να κινούνται. Ακολουθως υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της βαθμίδας ταχύτητας και της διατμητικής τάσης. Η τάση η οποία θα πρέπει να εφαρμοστεί αρχικά στο ρευστό ώστε να ξεκινήσει η ροή ονομάζεται τάση διολίσθησης. Η εξίσωση 1 που περιγράφει το μοντέλο αυτό είναι η εξής :

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma}$$

Εξίσωση 1

Όπου:

- τ = διατμητική τάση (Pa)
- τ_0 =τάση διολίσθησης (Pa)
- μ_p = πλαστικό ιξώδες (Pa*s)
- $\dot{\gamma}$ =βαθμίδα ταχύτητας ή ρυθμός διάτμησης (s^{-1})

Μοντέλο Power Law

Στα ρευστά που ακολουθούν το μοντέλο αυτό, η διατμητική τάση δεν συνδέεται γραμμικά με την βαθμίδα ταχύτητας και δεν χρειάζεται αρχική τάση ώστε να αρχίσει η ροή. Η εξίσωση 2 που περιγράφει το μοντέλο αυτό είναι η εξής:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n$$

Εξίσωση 2

Όπου:

- τ = διατμητική τάση (Pa)
- K =οδηγός συνάφειας (Pa*s)

- n = οδηγός συμπεριφοράς ροής
- $\dot{\gamma}$ =βαθμίδα ταχύτητας ή ρυθμός διάτμησης (s^{-1})

Όταν $n=1$ το μοντέλο είναι Νευτώνειο, ενώ όταν $n<1$ το μοντέλο είναι ψευδοπλαστικό. Όσο μικρότερο είναι το (n) τόσο πιο λεπτόρρευστο είναι το ρευστό. Η εξίσωση αυτή περιγράφει το πιο απλό ψευδοπλαστικό, αλλά περιορίζεται σε μία μικρή περιοχή ρυθμών διάτμησης. Οι σταθερές (K) και (n) εξαρτώνται από τους ρυθμούς διάτμησης αυξάνοντας την θερμοκρασία, μειώνεται το K . (Chhabra, 2007).

Μοντέλο Herchel Bulkley

Αποτελεί γενίκευση του μοντέλου πλαστικό Bingham. Στο μοντέλο αυτό, η γραμμική εξάρτηση του ρυθμού διάτμησης αντικαθίσταται από συμπεριφορά Power Law. Έτσι προκύπτει ένα μοντέλο τριών παραμέτρων για απλή διατμητική ροή που περιγράφεται από την Εξίσωση 3:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n$$

Εξίσωση 3

Όπου:

- τ_0 : η τάση διολίσθησης (Pa) για ρευστό Herchel Bulkley
- K =οδηγός συνάφειας ($Pa \cdot s^n$)
- n = οδηγός συμπεριφοράς ροής
- $\dot{\gamma}$ =βαθμίδα ταχύτητας ή ρυθμός διάτμησης (s^{-1})

Όταν το τ_0 είναι ίσο με το μηδέν περιγράφεται η συμπεριφορά Power Law. Όταν ο εκθέτης n είναι ίσος με την μονάδα το μοντέλο που περιγράφει η εξίσωση είναι το Bingham Plastic, ενώ όταν το τ_0 είναι ίσο με το μηδέν και ταυτόχρονα ο εκθέτης n ίσος με τη μονάδα το μοντέλο είναι Νευτώνειο.

Το μοντέλο Herchel Bulkley είναι πιο γενικευμένο σε σχέση με τα υπόλοιπα και για τον λόγο αυτό περιγράφει πειραματικά δεδομένα διαφόρων συνθηκών (Chhabra, 2007). Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν πολφοί γεωτρήσεων και πιο συγκεκριμένα,

αιωρήματα μπεντονιτών και αιωρήματα μπεντονιτών με την προσθήκη λιγνιτών (Kelessidis et al., 2007A, Kelessidis et al. 2007C).

1.5 ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗΣ

Ο μπεντονίτης ήταν αρχικά γνωστός ως «μεταλλικά σαπούνι » ή « σαπούνι πηλό » .Ο Wilbur C. Knight, ένας πρωτοπόρος γεωλόγος ο οποίος ήρθε στην περιοχή Wyoming το 1897 και ο οποίος υπηρέτησε ως κρατικός γεωλόγος, χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το όνομα τελορίτης για αυτό το υλικό σε ένα άρθρο στην εφημερίδα 'Engineering and Mining' (1897). Το όνομα προήλθε από τον William Taylor του Rock Creek, ο ιδιοκτήτης ενός κοντινού λατομείου στο Albany County. Ο Taylor έκανε τις πρώτες εμπορικές αποστολές του αργίλου το 1888. Η καλύτερη ποιότητα μπεντονίτη Wyoming βρέθηκε σε ηφαιστειακές τέφρες ηλικίας Ανώτερου Κρητιδικού (Wayne M. Sutherland, 2014).

Ο μπεντονίτης προέρχεται από την εξαλλοίωση της ηφαιστειακής τέφρας αλλά ο όρος γενικά χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια άργιλο η οποία περιέχει κατά κύριο λόγο μοντμοριλλονίτη. (Χρηστίδης, 2005). Συνήθως τα κοιτάσματα μπεντονίτη εμφανίζονται με την μορφή φακών και έχουν πάχος λίγων μέτρων (Clem and Doehler, 1961). Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων του γίνεται με εξόρυξη ανοικτής εκσκαφής. Πριν από την εξόρυξη, η σκιαγράφιση του κοιτάσματος πραγματοποιείται με διάτρηση και δειγματοληψία. Το κάλυμμα του μπεντονίτη πρέπει να αφαιρεθεί προσεκτικά, ώστε να μην μολυνθεί το κοιτάσμα από τα υπερκείμενα στρώματα. Επίσης μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στο αποχωρισμό του από τα στείρα για να ληφθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα.

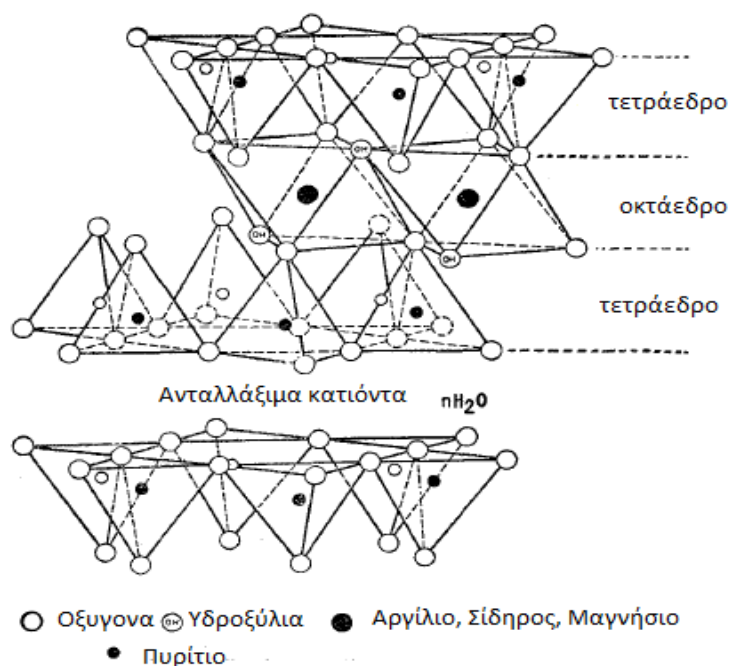
Ο εξορυγμένος μπεντονίτης έχει υγρασία που φτάνει περίπου το 30%. Μετά από την εξόρυξη το υλικό λειοτριβείται και ενεργοποιείται με την προσθήκη Na_2CO_3 . Στη συνέχεια ξηραίνεται, για να φτάσει η περιεκτικότητα σε υγρασία περίπου 15%. Ανάλογα με την τελική του εφαρμογή, ο μπεντονίτης είτε κοσκινίζεται είτε αλέθεται.

Για ειδικές εφαρμογές ο μπεντονίτης καθαρίζεται με την αφαίρεση των σύνδρομων ορυκτών ή προσβάλλεται με οξέα για να παραχθεί όξινος ενεργοποιημένος μπεντονίτης ή επεξεργάζεται με οργανικές ουσίες (αμίνες) για να παραχθούν οργανόφιλες άργιλοι.

1.5.1 ΔΟΜΗ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ

Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά των μπεντονιτών είναι οι σμεκτίτες. Πρόκειται για αργίλικα ορυκτά τα οποία αποτελούνται από κρυσταλλίτες το μέγεθος των οποίων είναι μικρότερο από 2μm στη μεγαλύτερη διάσταση. Ανήκουν στην κατηγορία των φυλλοπυριτικών ορυκτών και αποτελούνται από μία οκταεδρική και δύο τετραεδρικές στοιβάδες, οι οποίες συγκρατούνται μεταξύ τους με ενδιάμεσα κατιόντα και μόρια νερού. Οι τετραεδρικές στοιβάδες αποτελούνται από ιόντα πυριτίου που καταλαμβάνουν το κέντρο των τετραέδρων, ενώ τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα οξυγόνου, καταλαμβάνουν τις κορυφές τους. Οι οκταεδρικές στοιβάδες αποτελούνται από θετικά φορτισμένα ιόντα αργιλίου, αρνητικά ιόντα οξυγόνου και υδροξύλια.

Στην Εικόνα 2 παρακάτω φαίνεται η δομή των σμεκτιτών:



Εικόνα 2: Δομή Σμεκτίτη

1.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΠΕΝΤΟΝΙΤΗ

Οι μπεντονίτες χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η εμπορική αξία του μπεντονίτη, προκύπτει από τις ορυκτολογικές του ιδιότητες, από την ιοντοεναλλακτική

του ικανότητα αλλά και από τις προσροφητικές του ιδιότητες. Κατά την αξιολόγηση του αρχικού υλικού, γίνονται έλεγχοι σύμφωνα με την προσδοκώμενη τελική χρήση.

Γενικά οι κυριότερες χρήσεις του είναι:

1. Πολφοί γεωτρήσεων
2. Πληρωτικά υλικά στη βιομηχανία χαρτιού
3. Άμμοι υγιεινής
4. Παραγωγή σιδήρου
5. Βιομηχανία χρωμάτων
6. Φαρμακευτικά είδη, καλλυντικά, ιατρικές εφαρμογές
7. Έργα πολιτικού μηχανικού
8. Χυτήρια

1.6.1 ΠΟΛΦΟΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Από το 1929 η κύρια χρήση του μπεντονίτη είναι οι πολφοί γεωτρήσεων. Χρησιμοποιείται στις γεωτρήσεις πετρελαίου, φυσικού αερίου, αλλά και στις γεωθερμικές γεωτρήσεις. (Gray et Darley, 1980). Κατά κύριο λόγο ο μπεντονίτης δρα ως λιπαντικό στα γεωτρύπανα και στεγανοποιεί τα τοιχώματα της γεώτρησης δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα λάσπης και ρυθμίζει το ιξώδες των πολφών. Μεταφέρει τα θραύσματα στην επιφάνεια. Επίσης, λόγω της θιξοτροπίας του, χρησιμοποιείται στον καθαρισμό των τοιχωμάτων αυτών. (Kelessidis et al., 2007 C)

Όσον αφορά την ποιότητα του μπεντονίτη, καλής ποιότητας γι' αυτήν την χρήση, θεωρείται εκείνος που περιέχει υψηλά ποσοστά μοντμοριλλονίτη. Σε πλήρη διασπορά σχηματίζει λεπτά στρώματα πάχους 10–100 Å και επιφάνειας περίπου 100–1000 Å² όταν αναμειχθεί με νερό. Στην πραγματικότητα όμως ο μπεντονίτης συχνά περιέχει και άλλα ορυκτά όπως χλωρίτης, καολινίτης αλλά και χαλαζία, συστατικά που δεν βοηθάν με την παρουσία τους την αύξηση του ιξώδους. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται διάφορα πρόσθετα όπως πολυμερή, που βοηθούν στην καλύτερευση των ιδιοτήτων του.

1.6.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΧΑΡΤΙΟΥ

Άργιλοι που αποτελούνται από καολινίτη και λιγότερο μπεντονίτη, χρησιμοποιούνται ως πληρωτικά αλλά και επικαλυπτικά υλικά. Υποστηρίζεται ότι προσθήκη 1% μπεντονίτη στον χαρτοπολτό τείνει να αποτρέψει την συσσώρευση λεπτών μορίων της πίσσας και του ρητινούχου υλικού που προκαλούν ατέλειες στο φύλλο του χαρτιού. Επίσης υποστηρίζεται ότι το ποσοστό αυτό του μπεντονίτη, ενισχύει την ομοιομορφία της διανομής της χρωστικής ουσίας σε όλη την έκταση του χαρτιού. Σε συνδυασμό με τα πολυμερή μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση της συνοχής των συστατικών του πολφού και στον καθαρισμό του κυκλώματος του νερού. Ο μπεντονίτης θα μπορούσε με την κατάλληλη επεξεργασία να βελτιώσει την ποιότητα του χαρτιού και να μειώσει το κόστος στην παραγωγή του χαρτιού.

1.6.3 ΑΜΜΟΙ ΥΓΙΕΙΝΗΣ

Κόκκοι αργίλων μεγέθους 10-30 mesh χρησιμοποιούνται ως άμμοι υγιεινής, για οικόσιτα ζώα. Η άργιλος χρησιμοποιείται ως προσροφητής και ως αφαιρετικό της οσμής. Οι άργιλοι θερμαίνονται σε θερμοκρασίες πάνω από 100°C και κάτω από 1000°C για να αναπτύξουν προσροφητικές ικανότητες και για να παραχθεί ένα υλικό, το οποίο δε διασπάται σε μικρότερα κομμάτια είτε χρησιμοποιείται ξηρό είτε ενυδατωμένο. Πολλοί μπεντονίτες έχουν βρεθεί ικανοποιητικοί γι' αυτήν την χρήση. Μάλιστα τα τελευταία χρόνια ο μπεντονίτης χάρη στις εξαιρετικές του ιδιότητες καταλαμβάνει όλο και μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς, αντικαθιστώντας προσροφητικά υλικά όπως ο σεπιόλιθος. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι άμμοι είναι οι scoopable και clumping από τους οποίους οι δεύτεροι χρησιμοποιούνται περισσότερο λόγω της ιδιότητας των να διαμορφώνουν συμπαγείς άμμους. Τέλος διάφορα χημικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους ξηρούς κόκκους της αργίλου ώστε να ρυθμιστεί ο έλεγχος της οσμής και να εξασφαλιστούν οι απολυμαντικές και εντομοαπωθητικές ιδιότητες.

1.6.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΙΔΗΡΟΥ

Ο μπεντονίτης αποτελεί κύριο συνδετικό υλικό για την κατασκευή σφαιριδίων σιδηρομεταλλευμάτων (pellets). Οι φυσικοί νατριούχοι μπεντονίτες, αλλά και εκείνοι με ανταλλάξιμο ιόν το νάτριο, είναι αποτελεσματικοί στην παραγωγή σφαιριδίων, με υψηλή μηχανική αντοχή αλλά και καλή συμπεριφορά σε θερμική καταπόνηση.

Επειδή το λεπτό διαμερισμένο μέταλλευμα του σιδήρου μετά από τον εμπλουτισμό έχει υγρασία, ο μπεντονίτης δεσμεύει το πλεονάζον νερό. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται μπεντονίτες με υψηλές τιμές Eslin (μέτρο για την απορρόφηση του νερού από τον μπεντονίτη) (Κωστάκης, 2003).

Το σιδηρομέταλλευμα κατά την σφαιροποίηση θα πρέπει να είναι σε μορφή κόνεως ώστε να μπορούν να διαχωριστούν οι προσμίξεις από τον σίδηρο. Το τελικό προϊόν είναι κατάλληλο υλικό τροφοδοσίας υψικαμίνων για την παραγωγή ράβδων σιδήρου.

1.6.5 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΧΡΩΜΑΤΩΝ

Μπεντονίτες που έχουν ενεργοποιηθεί με οργανικές ενώσεις, χρησιμοποιούνται ως προσθετικά σε μπογιές. Λόγω των θιξοτροπικών τους ιδιοτήτων οι μπεντονίτες και γενικότερα οι άργιλοι χρησιμοποιούνται για την πύκνωση του υλικού στο οποίο προστίθενται και εμποδίζουν το κατακάθισμα. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν οι οργανόφιλοι μπεντονίτες έρχονται σε επαφή με οργανικά διαλύματα διογκώνονται με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ιξώδες και η θιξοτροπία τους. Η προσθήκη 0,5-2% οργανόφιλου μπεντονίτη βελτιώνει την ευστάθεια της σύστασης και την ικανότητα υλικών όπως το μίνιο ή η σκόνη ψευδαργύρου που είναι βαριές χρωστικές ουσίες, να δημιουργούν επαλείψεις.

1.6.6 ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΑ ΕΙΔΗ, ΚΑΛΛΥΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως υλικό πλήρωσης στα φαρμακευτικά είδη και λόγω των ιδιοτήτων προσρόφησης-απορρόφησης, επιτρέπει τον σχηματισμό πολφών. Βρίσκοντας έτσι εφαρμογή σε προστατευτικές κρέμες, λοσιόν και αντιδιεγερτικά για εκζέματα. Επίσης, προϊόντα προσωπικής φροντίδας όπως κρέμες και μάσκες προσώπου μπορεί να περιέχουν μπεντονίτη.

Σύμφωνα με τους Grim και Guven (1978), ο Noveli επισήμανε ότι ο μπεντονίτης στην ιατρική, μπορεί να δράσει σαν αντίδοτο δηλητηρίασης από βαριά μέταλλα και ουσίες όπως η μορφίνη και κοκαΐνη. Τέλος συμβάλει στην βελτίωση των ιδιοτήτων των αιωρημάτων θεικού άλατος βαρίου που χρησιμοποιείται σε ραδιολογικές εξετάσεις.

1.6.7 ΕΡΓΑ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται σε έργα πολιτικού μηχανικού, ως θιξοτροπικό πρόσθετο, υποστηρικτικό και λιπαντικό μέσο σε διαφραγματικά τοιχώματα και

θεμελιώσεις, σε σήραγγες, σε γεωτρήσεις οριζόντιας κατεύθυνσης και σε διάνοιξη μικροσηράγγων με τη μέθοδο προώθησης σωλήνων.

Επίσης, συνιστάται ως υλικό στεγανοποίησης στην κατασκευή και αποκατάσταση των χώρων ταφής απορριμμάτων, διασφαλίζοντας μακροχρόνια προστασία των υπόγειων υδάτων από ρυπαίνουσες ουσίες. Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως υλικό χαμηλής διαπερατότητας για τη στεγανοποίηση της βάσης και της επικάλυψης των χωματερών, καθώς επίσης και για την κατασκευή περιφερειακών, καθέτων τοιχωμάτων που λειτουργούν ως διαφράγματα (www.ima-na.org). Επιπλέον λόγω της απορροφητικής - προσροφητικής του ικανότητας χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του νερού από απόβλητα. Τέλος ο μπεντονίτης λόγω της πλαστικότητάς του, χρησιμοποιείται σαν πρόσθετο σε ποσοστό περίπου 3% σαν πρόσθετο στο σκυρόδεμα.

1.6.8 ΧΥΤΗΡΙΑ

Στα χυτήρια χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι χύτευσης των μετάλλων βάσει του τύπου του κράματος και του μεγέθους των χυτών. Ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται σε μείγματα προϊόντων που περιέχουν ανθρακικά υλικά και άλλα πρόσθετα στη μέθοδο της άμμου καλουπιών χυτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό της άμμου για την κατασκευή των καλουπιών.

Τα περισσότερα προϊόντα των χυτηρίων προορίζονται για τον κλάδο της αυτοκινητοβιομηχανίας, καθώς επίσης και για την παραγωγή βιομηχανικών και γεωργικών μηχανημάτων.

1.7 ΠΟΛΦΟΙ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΡΗΡΑ (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide)

Τα συστήματα λάσπης που περιέχουν μερικώς υδρολυμένο πολυακρυλαμίδιο πολυμερούς (ΡΗΡΑ) χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο και έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά και ευέλικτα ώστε να συμβάλουν στην αναστολή της δημιουργίας προβληματικού σχηματισμού σχιστόλιθου κατά τις γεωτρήσεις υδρογονανθράκων. Έχουν γίνει σημαντικές αλλαγές γενικά στις συνθέσεις που συνιστώνται για τα συστήματα αυτά και έχει αναπτυχθεί μια συστηματική προσέγγιση για την εφαρμογή τους. Οι πιο σημαντικές αλλαγές είναι η συνεχής διατήρηση της 1,0 lbm /bbl [2,9 kg/m³] ΡΗΡΑ

(ενεργό) στη βάση των υλικών ισορροπίας και τη συμπληρωματική προσθήκη ΡΗΡΑ ώστε να αντιπροσωπεύει την απώλεια και την υποβάθμιση του, την απόλυτα ελεγχόμενη απώλεια υγρών και την επιλεκτική χρήση του θαλασσινού νερού και NaCl για αναστολή (Kadaster et al,1992).

1.7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα γνωστά πλεονεκτήματα των πολφών με πολυμερή σε χαμηλή περιεκτικότητα περιλαμβάνουν ταχύτερους ρυθμούς διεύθυνσης (του ROP), μικρότερη καταστροφή κοπτικών άκρων, και παρεμπόδιση διόγκωσης του σχιστολίθου. Τα πλεονεκτήματα αυτά προκύπτουν από το χαμηλό pH και την προσρόφηση του πολυμερούς στα θραύσματα και στα τοιχώματα της γεώτρησης. Η μεγαλύτερη ιστορική εφαρμογή της λάσπης πολυμερούς έχει τεθεί σε περιοχές όπου η διάτρηση είναι δύσκολη όπως τα Βραχώδη Όρη του Καναδά και στις εσωτερικές πολιτείες των ΗΠΑ.

Οι βασικές ιδιότητες πολφών με ΡΗΡΑ είναι οι εξής:

- Προλαμβάνουν την συσσώρευση τριμμάτων στο πάτο της γεώτρησης.
- Ελαχιστοποιούν την απώλεια ρευστών από τα τοιχώματα της γεώτρησης.
- Υποβοηθούν στην μεταφορά των τριμμάτων από τον πάτο της γεώτρησης, στην έξοδό της.
- Επικαλύπτουν τις εγκοπές και τα σπασίματα που μπορεί να δημιουργηθούν κατά τη διαδικασία της διάτρησης.

Το ΡΗΡΑ είναι ένα πολυμερές κατασκευασμένο από ακρυλονιτρίνιο. Μετά τον πολυμερισμό του σε πολυακρυλονιτρίνιο, υδρολύεται μερικώς σε ακρυλαμίδιο και ομάδες ακρυλικού οξέος κατά μήκος της πολυμερούς αλυσίδας. Συνήθως χρησιμοποιείται στον τομέα της βιομηχανίας πετρελαίου σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0.2 – 1.5 % w/v και δρα έτσι ώστε να σταθεροποιήσει κολλοειδή συστήματα μέσω στερικής και ηλεκτροστατικής σταθεροποίησης.

Η φύλαξη του πολυμερούς είναι πολύ σημαντική. Η ποιότητα της σκόνης πολυμερούς διατηρείται με το να μην έρχεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, διότι η σκόνη είναι υγροσκοπική και πρέπει να αποθηκεύεται με προσοχή σε κλειστό μέρος. Σε περίπτωση έκθεσης του πολυμερούς σε υγρασία το αποτέλεσμα θα είναι αρκετή υγρασία να απορροφηθεί με αποτέλεσμα να υπάρχουν σφάλματα στη συγκέντρωση.

1.7.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΡΗΡΑ

Το 1973 εκδόθηκε το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στον R. Scheuerman σχετικά με το σύστημα λάσπης άλατος/ΡΗΡΑ (Mody, 1993). Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας περιέγραφε ένα σύστημα άλατος/ΡΗΡΑ που είχε χρησιμοποιηθεί εκτενώς στο Κόλπο του Μεξικού, σε λόφους του Καναδά, στα νερά της Αλάσκας, στη Βόρεια Θάλασσα και αλλού. Αυτό το σύστημα λάσπης είχε θεωρηθεί για αρκετό καιρό στη βιομηχανία ως το πιο αποτελεσματικό ρευστό γεώτρησης στο εμπόριο για σχηματισμούς σχιστολίθων. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε από παρατηρήσεις στο εργαστήριο καθώς επίσης και από παρατηρήσεις στον χώρο της βιομηχανίας. Εντούτοις, μέσα στη βιομηχανία διάφορες απόψεις επικρατούν ως προς κατά πόσον το σύστημα σταθεροποιεί άμεσα το φρέαρ γεώτρησης.

Σημαντική ικανότητα του ΡΗΡΑ είναι η σταθεροποίηση των σχιστόλιθων στις γεωτρήσεις. Εντούτοις, ο μηχανισμός σταθεροποίησης συχνά δε γίνεται κατανοητός. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι προκύπτει από τα ενυδατωμένα πολυμερή μόρια που αλληλεπιδρούν με τις επιφάνειες νερού και σχιστόλιθου (μέσα στη γεώτρηση) με μια διαδικασία προσρόφησης. Η προσρόφηση είναι ένα σύνθετο επιφανειακό φαινόμενο.

Επιπλέον, πολλές δημοσιεύσεις υπογραμμίζουν την αξιόλογη απόδοση που έχουν τα ρευστά γεώτρησης με την προσθήκη του ΡΗΡΑ. Θεωρείται ότι το αρχικό όφελος για την σωστή χρήση της λάσπης με ΡΗΡΑ είναι να πραγματοποιηθεί μια βοηθητική γεώτρηση για τις πρώτες μετρήσεις ή κάποια γεώτρηση κοντά στην κύρια για τις αντίστοιχες μετρήσεις. Αυτό θα βοηθήσει στο να επιτευχθεί σταθερότητα στη γεώτρηση χωρίς λάθη (Liao, 1990).

Χαρακτηριστικά το άλας (NaCl) και το ΡΗΡΑ χρησιμοποιούνται σε αυτό το σύστημα για τη σταθεροποίηση των σχιστόλιθων. Στον Κόλπο του Μεξικού, χρησιμοποιείται είτε το νερό της θάλασσας, είτε νερό που συμπληρώνεται με άλας (NaCl) για να βελτιωθεί η σταθερότητα των τοιχωμάτων των γεωτρήσεων (Mody, 1993).

Τα πολυμερή παρασκευάζονται με συγκεντρώσεις από 0.25-0.5% και αραιώνονται μέσα στον πολφό πριν από την χρήση τους στην γεώτρηση (Jennings, 1977).

1.7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΟΛΦΩΝ ΜΕ ΡΗΡΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΟΥΣ ΠΟΛΦΟΥΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου οδηγούν πάντα στην ενσωμάτωση της αργίλου της γεώτρησης με το σύστημα λάσπης. Περίπου 60% των ιζημάτων σε παγκόσμια κλίμακα αποτελείται από σχιστοπηλούς (σχηματισμοί με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο που παράγονται από συμπίκνωση και αφυδάτωση των λεπτόκοκκων ιζημάτων). Κατά την διάνοιξη γεώτρησης σε σχιστόλιθους η λάσπη φέρει τα χαμηλής βαρύτητας στερεά τεμάχια των σχιστοπηλών που βγαίνουν από τη γεώτρηση, τα οποία έχουν πολύ μικρό μέγεθος για να αφαιρεθούν από τον εξοπλισμό ελέγχου και συσσωρεύονται στη λάσπη, αυξάνοντας την περιεκτικότητα της σε άργιλο.

Το ιξώδες και τα χαρακτηριστικά της κολλοειδούς δύναμης των λασπών με μπεντονίτη (κολλοειδή είναι εκείνα τα συστήματα διασποράς στα οποία τα σωματίδια έχουν διασπαρεί σε ένα ομογενές μέσο με μέγεθος μικρότερο από τα ιζήματα που μπορούν να απομακρυνθούν από τα κοινά φίλτρα και μεγαλύτερο από τα μικρά μόρια) επιτυγχάνεται με αλληλεπιδράσεις της αργίλου και των μορίων. Οι κρύσταλλοι της αργίλου στην υδατική φάση προσελκύουν το ένα το άλλο και δημιουργούν μια δομή που παράγει το ιξώδες. Τα διαλυτικά λάσπης που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι μικρά, αρνητικά φορτισμένα μόρια (μικρά σε σχέση με τα υψηλού μοριακού βάρους πολυμερή) που προσροφούνται σε σωματίδια αργίλου ώστε να αυξήσουν την επιφάνεια φόρτισης, η οποία μειώνει τις έλξεις μεταξύ των μορίων. Αυτό ονομάζεται ηλεκτροστατική σταθεροποίηση. Το υψηλό pH είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των διασπαρμένων συστημάτων. Η υψηλή συγκέντρωση υδροξειδίων ενεργοποιεί τα κοινά διαλυτικά (τα καθιστά περισσότερο αρνητικά), αλλά και σε μεγαλύτερη διασπορά (διάσπαση συσσωματωμάτων αργίλου) τόσο των τριμμάτων όσο και του σχηματισμού της γεώτρησης αυξάνοντας το αρνητικό φορτίο στην επιφάνεια της αργίλου. Ως συνέπεια της άπωσης λόγω αρνητικών φορτίων, οι συμβατικές λάσπες με υψηλή συγκέντρωση στερεών χαμηλού βάρους και λάσπες υψηλής πυκνότητας εξακολουθούν να έχουν αποδεκτά χαμηλό ιξώδες.

Το μειονέκτημα των διεσπαρμένων αργίλων λάσπης είναι ότι ο χημισμός που προκαλεί μεγάλη αντοχή, τους καθιστά επίσης εύθραυστους κατά τη διάτρηση. Τα τρίμματα σπάζουν σε λεπτά κομμάτια καθώς ανεβαίνουν στη γεωτρητική στήλη. Ταυτόχρονα άργιλοι από τα τοιχώματα της γεώτρησης διασπώνται, διευρύνοντας έτσι τη διάμετρο της

γεώτρησης. Επιπλέον, η λάσπη έχει υψηλής περιεκτικότητας σε κολλοειδή στερεά προκαλώντας εξάρτηση του ιξώδους σε μεγάλο βαθμό από κοινούς παράγοντες μόλυνσης.

Η ρεολογική συμπεριφορά των λασπών με RHPA ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από την επίδραση του ιξώδους του διαλυμένου πολυακρυλαμινικού πολυμερούς μεγάλου μοριακού βάρους. Το κλειδί για τη συντήρηση των λασπών RHPA είναι να εξασφαλιστεί ότι η άργιλος και ο βαρύτης προστίθενται σταδιακά στη λάσπη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διατήρηση της περιεκτικότητας σε άργιλο σε συγκεκριμένο εύρος έτσι ώστε να υπάρχει περίσσεια του πολυμερούς προς αποφυγήν της κροκίδωσης.

1.7.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ RHPA

Το RHPA έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για πάνω από είκοσι έτη για να σταθεροποιήσει τους σχιστόλιθους που ήταν προβληματικοί για γεώτρηση με πολφό με προσθήκη KCl και NaCl. Το RHPA προσφέρει ένα υψηλό προϊόν δραστηριότητας σε ένα χαμηλό ιξώδες, εύκολο στη χρήση. Χρησιμοποιείται συχνά με προσθήκη KCl το οποίο είναι η πηγή ιόντων καλίου ώστε να υπάρχει ανταλλαγή κατιόντων με τους αργίλους και έτσι να μειώνεται η ενυδάτωση και η διόγκωση του πολφού.

Πλεονεκτήματα:

- Λόγω των κολλοειδών μορίων του, η προσθήκη του RHPA σε ρευστό γεώτρησης έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη επίστρωση της λάσπης στις ρωγμές του σχιστολίθου κατά την διαδικασία της διάτρησης.
- Επίσης προλαμβάνει την συσσώρευση των τριμμάτων στον πυθμένα της γεώτρησης το οποίο και είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την διάτρηση.
- Βοηθά στη μεταφορά των τριμμάτων από τον πυθμένα της γεώτρησης μέχρι την επιφάνεια.
- Ελαχιστοποιεί την πιθανότητα απώλειας ρευστών από την γεώτρηση προς το υπέδαφος ή την εισροή άλλων ρευστών προς τα τοιχώματα της γεώτρησης.
- Βοηθά στην καλύτερη ψύξη του κοπτικού. Έτσι διατηρείται και περισσότερο χρονικό διάστημα.

Τα ρευστά διατρήσεων με βάση το νερό που περιέχουν RHPA χρησιμοποιούνται παγκοσμίως κυρίως σε γεωτρήσεις σε βαθιά νερά. Δεν παύουν να υπάρχουν και κάποιες

επιπλοκές που μπορεί να παρουσιάζονται κατά τη χρήση του ΡΗΡΑ. Μερικά από τα προβλήματα των πολφών με ΡΗΡΑ από την εμπειρία του βιομηχανικού τομέα είναι τα ακόλουθα:

- Χωρισμός του νερού από τη λάσπη μετά από την προσθήκη των πολυμερών σωμάτων ΡΗΡΑ.
- Απώλεια λάσπης από το στερεό εξοπλισμό ελέγχου, ιδιαίτερα κατά την διάτρηση του σχιστόλιθου.
- Γρήγορη συγκέντρωση των τριμμάτων, τα οποία και προκαλούν δυσκολία στην κυκλοφορία λάσπης και μείωση της άντλησης της.
- Αργή διασπορά των πολυμερών σωμάτων που δημιουργεί το παροδικό, υψηλό φαινόμενο ιξώδες του ρευστού διάτρησης.
- Ανιχνεύσιμη μυρωδιά αμμωνίας όπου με μια υπέρβαση της καυστικής ουσίας ή ρύπανση του τσιμέντου μπορεί να προκαλέσει εκτενή υδρόλυση των πολυμερών του ΡΗΡΑ.
- Έλλειψη εξοπλισμού δοκιμών και μεθοδολογίας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελέγξει τη συγκέντρωση του ΡΗΡΑ στον πολφό.

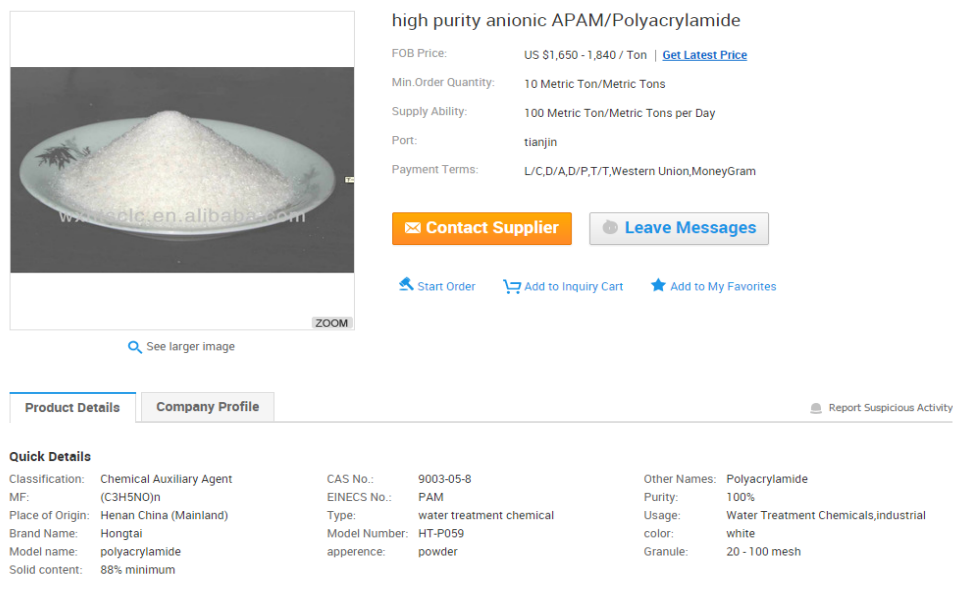
Πολλές δημοσιεύσεις προτείνουν ότι η αιτία αυτών των προβλημάτων θα μπορούσε να οφείλεται σε κάποιον από τους παρακάτω λόγους:

- Κροκίδωση που εμφανίζεται στη γεώτρηση κατά την προσθήκη των πολυμερών ΡΗΡΑ.
- Υψηλή συγκέντρωση του ΡΗΡΑ στη λάσπη επιστροφής, μειώνοντας κατά συνέπεια την αποδοτικότητα του γεωτρυπάνου να χειριστεί τα χαμηλά στερεά βαρύτητας.
- Ανεπαρκής ανάδευση που εμποδίζει τη διασπορά των πολυμερών σωμάτων.

1.7.5. ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΗΡΑ

Για την βέλτιστη λειτουργία των ρευστών γεώτρησης χρησιμοποιούνται πρόσθετα που έχουν σημαντικό κόστος ανεβάζοντας το κόστος του ρευστού γεώτρησης σε δεκάδες εκ. US \$ (Kelessidis , 2007). Ένα από αυτά τα πρόσθετα λοιπόν είναι και το ΡΗΡΑ, με περίπου σταθερή τιμή πώλησης. Για την αναζήτηση των τιμών βρήκαμε πληροφορίες για

προμηθευτές από όλο τον κόσμο (Νότια Αφρική, Τουρκία, Κίνα, Αμερική, Αυστραλία κλπ.). Η Εικόνα 3 παρουσιάζει ένα υψηλής ποιότητας ανιονικό APAM/PHPA με



high purity anionic APAM/Polyacrylamide

FOB Price: US \$1,650 - 1,840 / Ton | [Get Latest Price](#)

Min. Order Quantity: 10 Metric Ton/Metric Tons

Supply Ability: 100 Metric Ton/Metric Tons per Day

Port: tianjin

Payment Terms: L/C,D/A,D/P,T/T,Western Union,MoneyGram

[Contact Supplier](#) [Leave Messages](#)

[Start Order](#) [Add to Inquiry Cart](#) [Add to My Favorites](#)

Product Details **Company Profile** [Report Suspicious Activity](#)

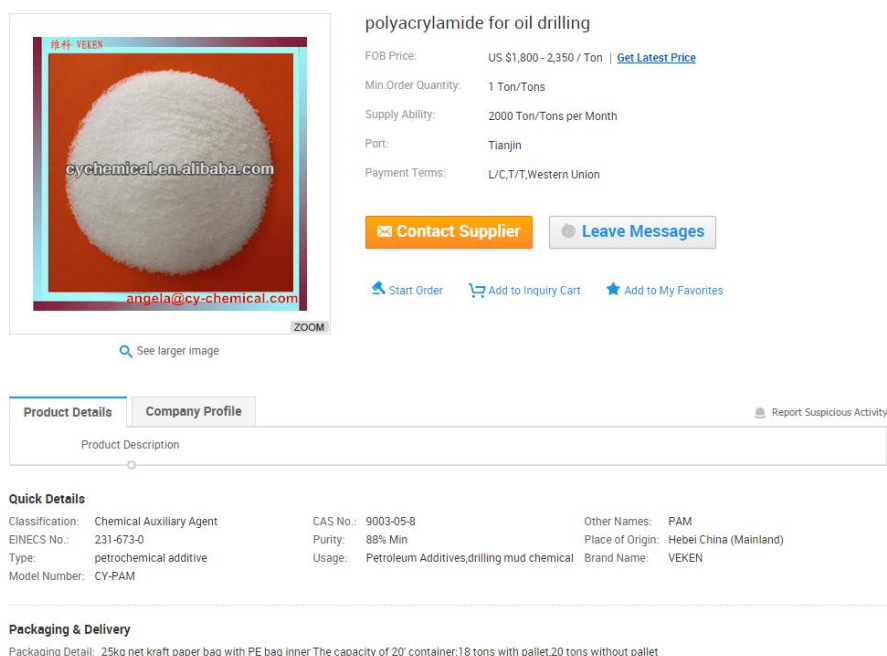
Quick Details

Classification:	Chemical Auxiliary Agent	CAS No.:	9003-05-8	Other Names:	Polyacrylamide
MF:	(C3H5NO) _n	EINECS No.:	PAM	Purity:	100%
Place of Origin:	Henan China (Mainland)	Type:	water treatment chemical	Usage:	Water Treatment Chemicals, industrial
Brand Name:	Hongtai	Model Number:	HT-P059	color:	white
Model name:	polyacrylamide	appearance:	powder	Granule:	20 - 100 mesh
Solid content:	88% minimum				

Εικόνα 3: Τιμή PHPA τύπου Hongtai, Κίνας

Packaging Detail: 25kg per double woven bag with PE film inside

προέλευση το Henan της Κίνας. Η τιμή του κυμαίνεται από 1650\$ -1840\$/ ton. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται ένα πολυακρυλαμίδιο για την βιομηχανία πετρελαίου, με προέλευση το Henan της Κίνας με τιμή του κυμαίνεται από 1800\$- 2350\$/ ton.



polyacrylamide for oil drilling

FOB Price: US \$1,800 - 2,350 / Ton | [Get Latest Price](#)

Min. Order Quantity: 1 Ton/Tons

Supply Ability: 2000 Ton/Tons per Month

Port: Tianjin

Payment Terms: L/C,T/T,Western Union

[Contact Supplier](#) [Leave Messages](#)

[Start Order](#) [Add to Inquiry Cart](#) [Add to My Favorites](#)

Product Details **Company Profile** [Report Suspicious Activity](#)


Quick Details

Classification:	Chemical Auxiliary Agent	CAS No.:	9003-05-8	Other Names:	PAM
EINECS No.:	231-673-0	Purity:	88% Min	Place of Origin:	Hebei China (Mainland)
Type:	petrochemical additive	Usage:	Petroleum Additives, drilling mud chemical	Brand Name:	VEKEN
Model Number:	CY-PAM				

Packaging & Delivery

Packaging Detail: 25kg net kraft paper bag with PE bag inner The capacity of 20' container: 18 tons with pallet, 20 tons without pallet

Εικόνα 4: Τιμή PHPA τύπου Veken, Κίνας



ovgroup.en.alibaba.com

[See larger image](#)

Partially hydrolyzed polyacrylamide (PHPA)

FOB Price: US \$1,800 - 2,400 / Metric Ton [Get Latest Price](#)

Min.Order Quantity: 5 Metric Ton/Metric Tons

Supply Ability: 2000 Metric Ton/Metric Tons per Month

Port: Qingdao Port

Payment Terms: L/C,T/T

[Contact Supplier](#) [Leave Messages](#)

[Start Order](#) [Add to Inquiry Cart](#) [Add to My Favorites](#)

Product Details **Company Profile** [Report Suspicious Activity](#)

Quick Details


CAS No.: 9003-05-8	Other Names: PHPA	MF: PAM
EINECS No.: 260-073-1	Place of Origin: Shandong China (Mainland)	Type: Synthetic polymer
Brand Name: Oceanview	Model Number: Anionic PAM	Purity: 100%

Packaging & Delivery

Packaging Detail: packed in 25kg/50 Lbs (22.68 Kg) Sacks. Private Labeling and customized packaging is also available on request

Delivery Detail: Within two weeks after receiving deposit

Εικόνα 5: Τυμή ΡΗΡΑ της τύπου Oceanview



tianshiwater.en.alibaba.com

[See larger image](#)

APAM PHPA

FOB Price: US \$2,250 - 2,280 / Ton [Get Latest Price](#)

Min.Order Quantity: 1 Ton/Tons Anionic Polyacrylamide flocculant PAM

Supply Ability: 10000 Ton/Tons per Year Anionic Polyacrylamide

Port: Shanghai

Payment Terms: L/C,T/T

[Contact Supplier](#) [Leave Messages](#)

[Start Order](#) [Add to Inquiry Cart](#) [Add to My Favorites](#)

Product Details **Company Profile** [Report Suspicious Activity](#)


Quick Details

Classification: Chemical Auxiliary Agent	CAS No.: 9003-05-8	Other Names: PAM
MF: (C3H5NO) _n	EINECS No.: 201-173-7	Purity: 90% Min
Place of Origin: Jiangsu China (Mainland)	Type: Flocculant	Usage: Coating Auxiliary Agents, Electronics...
Brand Name: TIANSHI	Model Number: KWTS/A	color: white-Anionic Polyacrylamide
Anionic Polyacrylamide: Anionic Polyacrylamide flocculant P...	sample time: 3-5 Days-Anionic Polyacrylamide	

Εικόνα 6 :Τυμή ΡΗΡΑ τύπου TIANSHI

Στην Εικόνα 5 φαίνεται ένα πολυακρυλαμίδιο με προέλευση την Shandong Κίνα και κόστος 1800\$- 2400\$ / ton. Η διάθεση του PHPA γίνεται σε σακούλες των 25 Kg και συνήθως πωλείται ανά τόνο. Όλες οι τιμές που προαναφέρθηκαν ισχύουν για το 2014. Επίσης στην Εικόνα 6 εμφανίζεται διαφορετική τιμή η οποία φτάνει από 2250 \$-2280 \$/ ton. Συνήθως δεν υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στην τιμή από χρόνο σε χρόνο. Επιπλέον στην Εικόνα 7 έχουμε την τιμή και τις λεπτομέρειες για το PHPA από την εταιρία την οποία έγινε προμήθεια του πολυακρυλαμίδιο της παρούσας εργασίας. Τέλος στην Εικόνα 8 φαίνεται το σκεύος του PHPA όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο.

NEW-DRILL PLUS, 14 Lb Pail, Pallet Of 48 Pails (\$53/PAIL)



NEW-DRILL PLUS, 14 lb pail, Pallet of 48 pails (\$53/PAIL)

Item No: 10145150

\$2,542.08

Time to Ship: 5 days

Qty:

[Add To Cart](#)

NEW-DRILL PLUS™ is a dry powder designed to provide shale stability, friction reduction, and viscosity in water-based drilling fluids. NEW-DRILL PLUS is a high-molecular weight, partially hydrolyzed polyacrylamide (PHPA). NEW-DRILL PLUS is an ideal additive for HDD, Mining, or Water Well applications for increased viscosity, borehole stability, and torque and drag reduction. This anionic polymer readily encapsulated drilled solids for enhanced removal efficiency. NEW-DRILL PLUS aids in filtration control and lubricity by coating and reducing the permeability of the filter cake. 20 pallets to a truckload

[Download the MSDS sheet here](#)

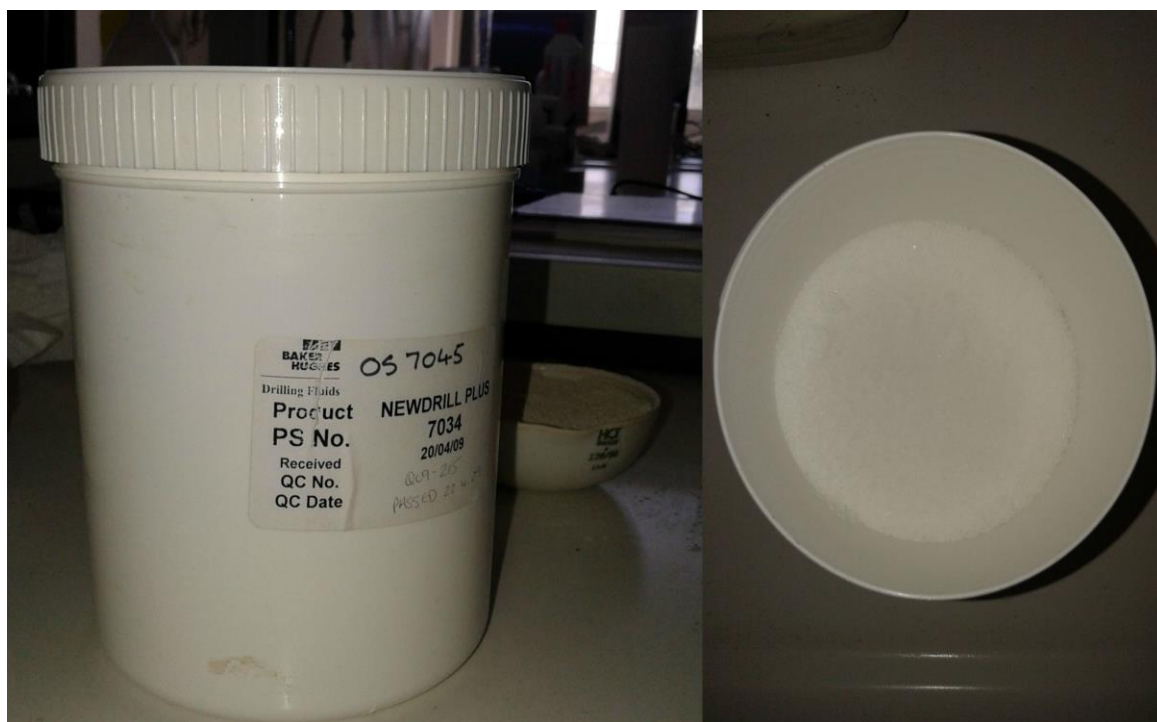
[Download the Product bulletin here](#)

- Non-toxic
- Non-fermenting
- Flocculant at low dosage
- Fast drilling rate
- Shear thinning
- Stiffens foam

Prices for the products purchased from this website do not include any technical support or field services. Products will only be delivered at buyer's cost to the shipping address provided by buyer during checkout. Buyer is responsible arranging, and paying for, the transportation of the products to the buyer's work location.

If you require technical support or field services with any Drilling Fluids product please [contact us](#).

Εικόνα 7: Λεπτομέρειες και τιμή για το PHPA που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο



Εικόνα 8: Το σκεύος του ΡΗΡΑ όπως χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην διαδικασία των πειραμάτων που έγιναν στα πλαίσια της διπλωματικής, τα εργαστηριακά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και λεπτομέρειες για την λειτουργία τους.

Για τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε μπεντονίτης Wyoming (Halliburton- Cebo Holland) καθώς και ΡΗΡΑ της εταιρίας Baker Hughes (Newdrill Plus).

2.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Για τη μέτρηση των ρεολογικών ιδιοτήτων και των προσδιορισμό των ρεολογικών χαρακτηριστικών των πολφών γεωτρήσεων χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένη διαδικασία προετοιμασίας και ωρίμανσης των δειγμάτων σύμφωνα με το API 13A (V.Kelessidis, et al. 2013).



Εικόνα 9 : Δείγματα ΡΗΡΑ- μπεντονίτη

Στην Εικόνα 9 τα δύο δοχεία με διαφανή υγρά (αριστερά) είναι πολφοί νερού με ΡΗΡΑ και από δίπλα (δεξιά) άλλα δυο δοχεία με πολφούς μπεντονίτη και ΡΗΡΑ. Στην Εικόνα 10 φαίνεται το μίξερ υψηλών ταχυτήτων Hamilton Beach με το οποίο πραγματοποιήθηκε η ανάδευση των πολφών.

Χρησιμοποιήθηκαν πολφοί μπεντονίτη σε πέντε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0% , 2%, 3%, 4% και 5% w/v). Μελετήθηκαν δείγματα με τη προσθήκη ΡΗΡΑ ταυτόχρονα, το οποίο είναι και το προς μελέτη στοιχείο. Οι συγκεντρώσεις ΡΗΡΑ που μελετήθηκαν είναι (0%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.5%, 0.7% w/v).

Αρχικά οι απαιτούμενες ποσότητες μπεντονίτη προστέθηκαν σε απιονισμένο νερό και αναμείχθηκαν για 5 λεπτά χρησιμοποιώντας μίξερ υψηλών ταχυτήτων Hamilton Beach. Το

PHPA προστέθηκε στην συνέχεια και η ανάμειξη συνεχίστηκε για 20 λεπτά ακόμα. Τα δείγματα σκεπάστηκαν και αφέθηκαν για ενυδάτωση για 16 ώρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ώστε να ενυδατωθούν πλήρως. Πριν από τη μέτρηση τα δείγματα αναμείχθηκαν και πάλι για 5 λεπτά στον αναδευτήρα Hamilton Beach.



Εικόνα 10: Μίξερ υψηλών ταχυτήτων Hamilton Beach.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημάνουμε ότι στη συγκέντρωση του 5% μπεντονίτη προσθέσαμε και 3% KCl σε συγκεντρώσεις 0.2% , 0.5% και 0.7% του PHPA. Το KCl χρησιμοποιήθηκε ως πρόσθετο διότι σύμφωνα με την βιβλιογραφία συνδυασμός PHPA και KCl χρησιμοποιείται σε γεωτρητικούς πολφούς που χρησιμοποιούνται σε σχιστολιθικούς σχηματισμούς.

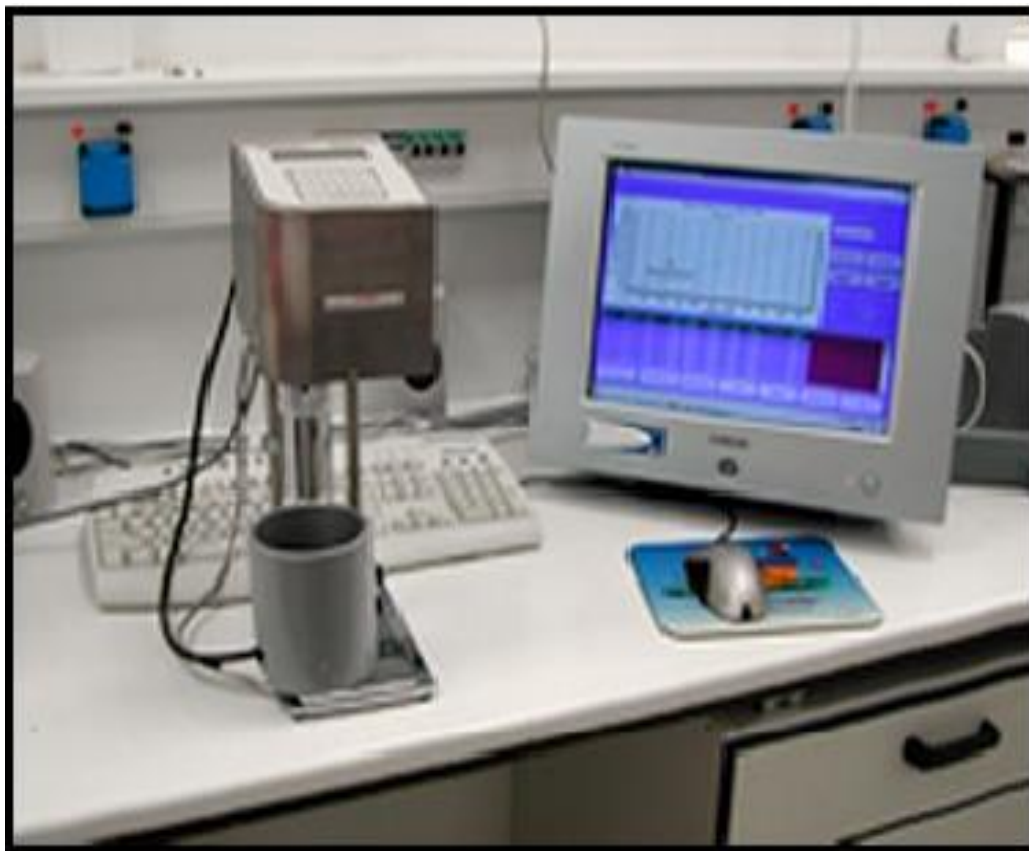
Ο λόγος για τον οποίον αποφασίστηκε η μελέτη αυτών των συγκεντρώσεων και για τον μπεντονίτη και για το PHPA είναι για επιβεβαίωση των θεωρητικών προσεγγίσεων πτώσης πίεσης και για την εύρεση της καλύτερης συγκέντρωσης για κοινή χρήση των δύο συστατικών. Στον πίνακα 2 στον οποίο παρουσιάζεται ο συνδυασμός των συγκεντρώσεων των προς μελέτη πολφών.

Συγκντρώσεις PHPA	0% Bentonite	2% Bentonite	3% Bentonite	4% Bentonite	5% Bentonite
0% PHPA	-	✓	✓	✓	✓
0,05% PHPA	✓	✓	✓	✓	✓
0,1% PHPA	✓	✓	✓	✓	✓
0,2% PHPA	✓	✓	✓	✓	✓
0,3% PHPA	✓	✓	✓	✓	✓
0,5% PHPA	✓	✓	✓	✓	✓
0,7% PHPA	✓	✓	✓	✓	✓

2.2 ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟ ΙΞΩΔΟΜΕΤΡΟ

Το ιξωδόμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ψηφιακό αυτόματο όργανο της Grace Instruments. Είναι ένα κλασσικό ομοαξονικό κυλινδρικό περιστροφικό ιξωδόμετρο τύπου Couette και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο M3500a (Εικόνα 11).

Το ιξωδόμετρο αυτό όπως και όλα τα περιστροφικά τύπου Couette (Fann) που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία γεωτρήσεων, είναι όργανα περιστροφικού τύπου τα οποία τροφοδοτούνται είτε χειροκίνητα είτε ηλεκτρονικά (σύγχρονα). Το αιώρημα καταλαμβάνει τον δακτυλιοειδή χώρο μεταξύ δύο κυλίνδρων. Η περιστρεφόμενη κίνηση του εξωτερικού καλύμματος (rotor sleeve), όταν ο δακτύλιος περιέχει ρευστό, ασκεί ροπή στον εσωτερικό κύλινδρο, ο οποίος καλείται “Bob”. Ένα ελατήριο στρέψης αντιστέκεται στη δύναμη που τείνει να περιστρέψει τον Bob. Το όργανο μετράει την μετατόπιση του Bob (γωνία στροφής). Παρακάτω στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του ιξωδομέτρου.



Εικόνα 11 : Ομοαξονικό κυλινδρικό ιξωδόμετρο τύπου Couette

Πίνακας 3: Εύρος μετρήσεων οργάνου

Ταχύτητα περιστροφής	0,02-600 rpm
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

Παρακάτω στην Εικόνα 12 παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του ιξωδομέτρου. Αυτά είναι τα εξής:

**Εικόνα 12 :** Μέρη που αποτελούν το ομοαξονικό κυλινδρικό ιξωδόμετρο

- Δοχείο τοποθέτησης του κυπέλου (cup) με ειδική θήκη για την τοποθέτηση του αισθητήρα θερμοκρασίας και μονωτικά τοιχώματα για διατήρηση της θερμοκρασίας, **a**
- Ρότορας (bob), **b**
- Εξωτερικό κάλυμμα (rotor sleeve), **c**, το οποίο περιστρέφεται
- Καπάκι για προστασία από την σκόνη (dust shield), **d**
- Δοχείο τοποθέτησης πολφού (cup), **e**

2.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για τον καθορισμό του ρεολογικού μοντέλου χρησιμοποιείται πρόγραμμα Best Fitting που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωτρήσεων (Δαλαμαρίνης, 2009).

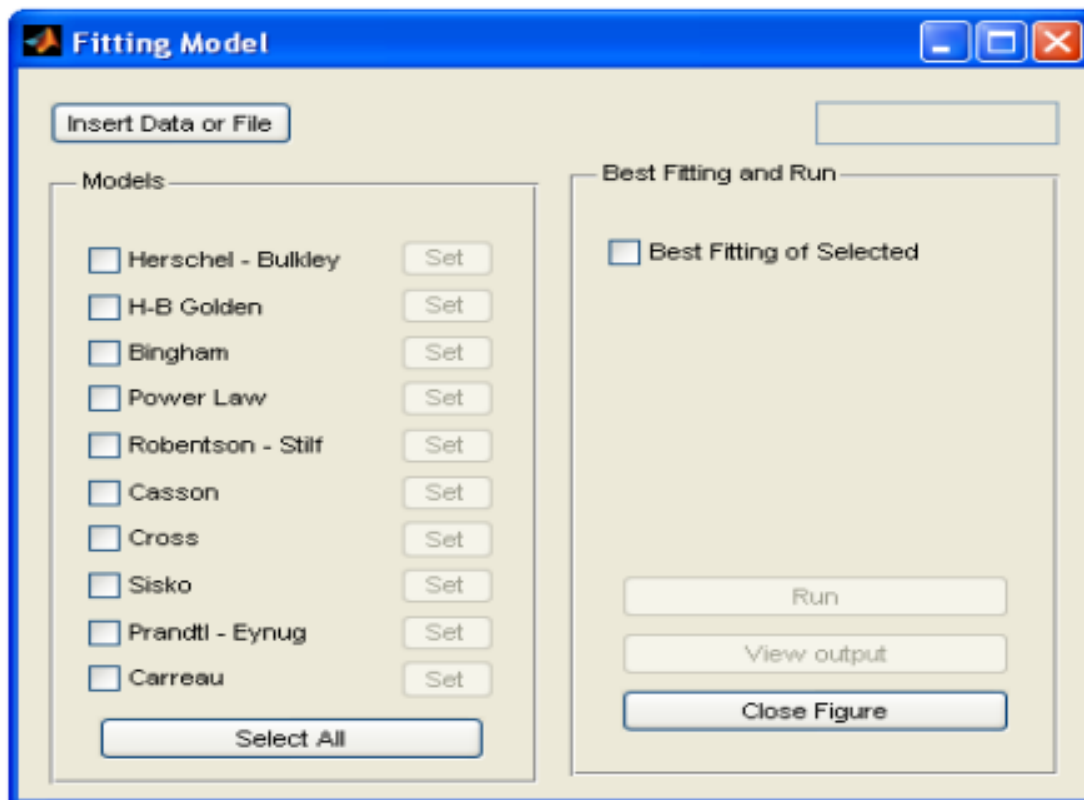
2.3.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ‘Fitting Model’

Το πρόγραμμα Fitting Model είναι σχεδιασμένο ώστε να βρίσκει την βέλτιστη προσέγγιση των γνωστών ρεολογικών μοντέλων σε πειραματικά δεδομένα τάσης τ (Pa) συναρτήσει του ρυθμού διάτμησης (s^{-1}) (Λιόλιος, 2007). Η εφαρμογή έχει κατασκευαστεί σε περιβάλλον Matlab ενώ η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος. Ειδικότερα έχει χρησιμοποιηθεί η εντολή optimization toolbox του Matlab για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος.

Για την εγκατάσταση του προγράμματος απαιτείται κατ'αρχην να ορίσουμε τον φάκελο του

προγράμματος ως τρέχων φάκελο (current directory) του Matlab. Στη συνέχεια η εγκατάσταση του προγράμματος γίνεται με την εντολή “setup_best_fitting” στο command window του Mantlab. Κατόπιν, για την εκτέλεση του προγράμματος δίδεται η εντολή “my_run”. Στην Εικόνα 13 παρακάτω φαίνεται το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος. Η χρήση του προγράμματος αποτελείται από τέσσερα διακριτικά βήματα:

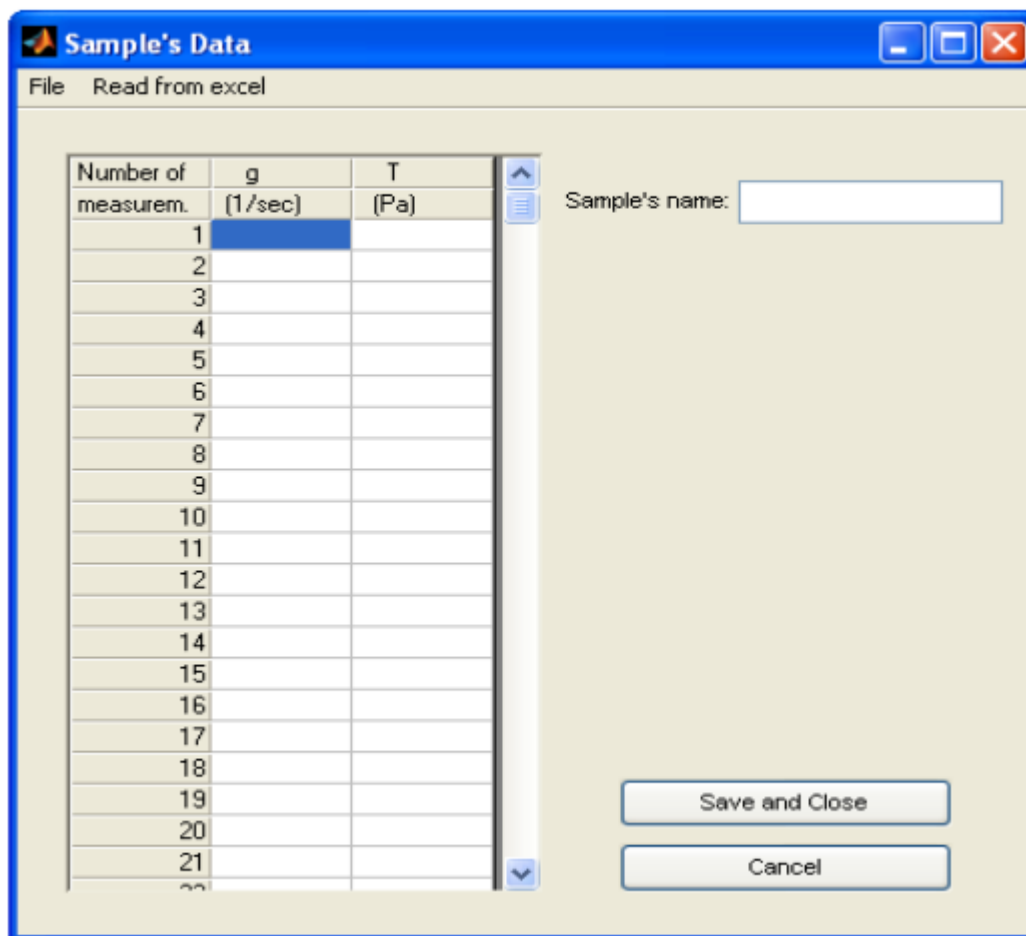
- Εισαγωγή δεδομένων
- Επιλογή ρεολογικών μοντέλων
- Εκτέλεση υπολογισμών – επίλυση
- Ανάγνωση αποτελεσμάτων



Εικόνα 13 : Fitting Model

2.3.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την εισαγωγή των πειραματικών δεδομένων επιλέγεται η εντολή “ Insert Data or File ” και το πρόγραμμα εμφανίζει το παράθυρο εισαγωγής δεδομένων (Εικόνα 14). Το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα να εισαχθούν τα δεδομένα με τρεις διαφορετικούς τρόπους . Ο πρώτος τρόπος είναι να πληκτρολογηθούν απευθείας στο παράθυρο εισαγωγής με τη πρώτη στήλη να αποτελεί την συχνότητα περιστροφής και την δεύτερη στήλη με την διατμητική τάση. Επίσης είναι απαραίτητο να εισαχθεί και ένα όνομα για το αρχείο που θα δημιουργηθεί στο πεδίο “ Sample’s name ”.

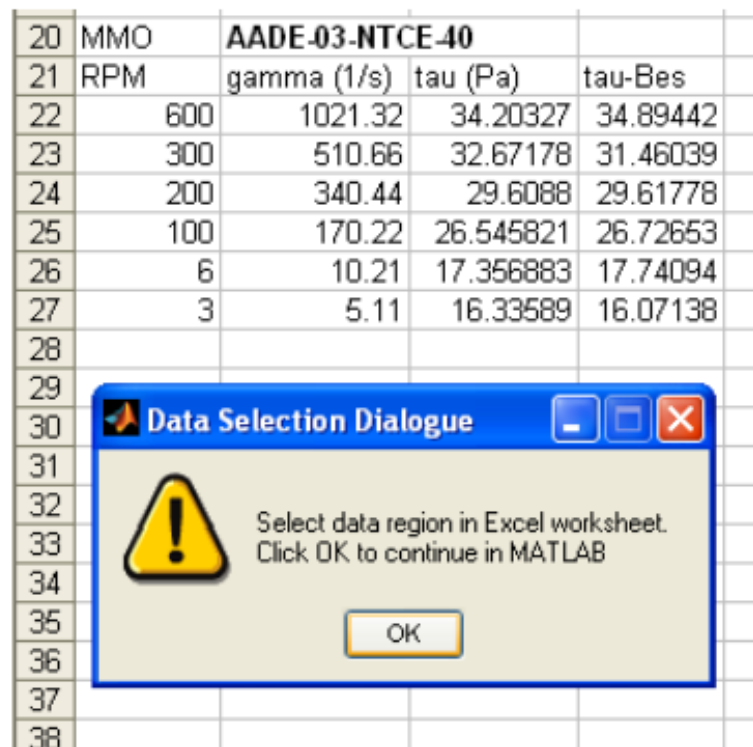


Εικόνα 14: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων

Ο δεύτερος τρόπος εισαγωγής δεδομένων είναι επιλέγοντας τα μέσα από ένα αρχείο Excel. Στο παράθυρο επιλέγεται η εντολή “Read from excel” και το πρόγραμμα ανοίγει ένα διάλογο επιλογής του αρχείου excel (Εικόνα 15). Μαζί με το αρχείο Excel το πρόγραμμα ανοίγει ταυτόχρονα και ένα νέο παράθυρο διαλόγου επιλέγονται τα δεδομένα και κατόπιν πιέζεται το πλήκτρο OK. Για την επιλογή των δεδομένων οι στήλες της συχνότητας περιστροφής και της διατμητικής τάσης θα πρέπει να είναι δίπλα –δίπλα (η επιλογή των στηλών με την χρήση του ctrl δεν λειτουργεί). Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι αλλαγές που γίνονται στο Excel με σκοπό οι στήλες της συχνότητας περιστροφής και της διατμητικής τάσης να έρθουν δίπλα- δίπλα δεν αποθηκεύονται κατά το κλείσιμο του Excel. Μόλις επιλεγούν τα δεδομένα, εκτελείται η εντολή OK στο παράθυρο διαλόγου (Εικόνα) με την οποία κλείνει το αρχείο Excel και επιστρέφουμε στο

Matlab. Επίσης, όπως και στον προηγούμενο τρόπο εισαγωγής δεδομένων θα πρέπει να δοθεί ένα όνομα αρχείου στο πεδίο “Sample’s name”.

Ο τρίτος τρόπος εισαγωγής δεδομένων είναι ουσιαστικά το άνοιγμα ενός παλαιότερου αρχείου δεδομένων με εντολή “File -> Open” όπου επιλέγεται το αρχείο τύπου .mat που επιθυμούμε. Τέλος και στους τρεις τρόπους εισαγωγής δεδομένων στο τέλος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το πλήκτρο “Save and Close” για να αποθηκευτούν τα δεδομένα και κατόπιν γίνεται επιστροφή στο κεντρικό παράθυρο του προγράμματος.

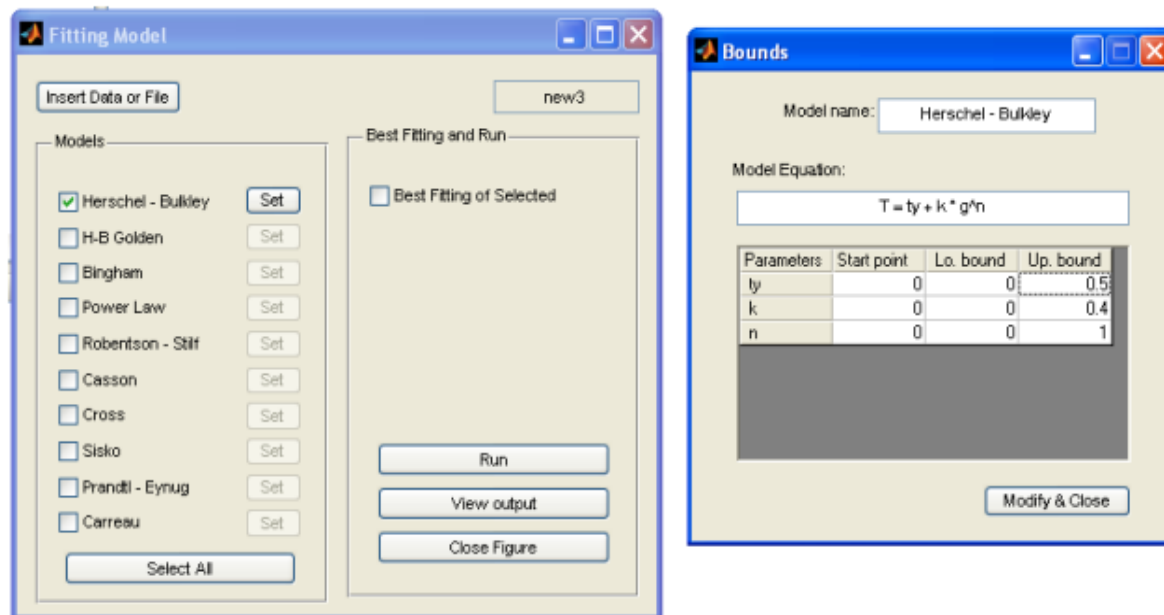


Εικόνα 15 : Επιλογή δεδομένων από το Excel

3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΡΟΗΣ

Μετά την εισαγωγή των πειραματικών δεδομένων απαιτείται η επιλογή του ή των ρεολογικών μοντέλων που επιθυμείται να επιλυθούν. Αυτό γίνεται σημειώνοντας (check) το αντίστοιχο κουτί αριστερά από το όνομα του κάθε μοντέλου ροής όπως φαίνεται στην Εικόνα 15 αριστερά παρακάτω. Με την εντολή “Set” που βρίσκεται δεξιά από το όνομα του κάθε μοντέλου εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο διαλόγου (παράθυρο “Bounds” Εικόνα 16 δεξιά). Στο παράθυρο αυτό αναγράφεται το όνομα του ρεολογικού μοντέλου καθώς και η εξίσωση που χρησιμοποιείται για την προσέγγιση. Στην Εικόνα που βρίσκεται στο κάτω

μέρος του παραθύρου δίνονται οι αρχικές τιμές των παραμέτρων της εξίσωσης καθώς και το άνω και το κάτω όριο μέσα στα οποία αυτές κινούνται. Όλες οι τιμές του πίνακα



μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα από τον χρήστη.

Εικόνα 16: Επιλογή του μοντέλου ροής και ορισμός της αρχικής τιμής και των ορίων παραμέτρων

Το παράθυρο “ Bounds” κλείνει με την εντολή “ Modify & Close” και με τον τρόπο αυτό αποθηκεύονται οι τροποποιημένες τιμές για τη συγκεκριμένη επίλυση. Πιέζοντας το πλήκτρο “ Select All” που βρίσκεται στο κάτω αριστερό μέρος του βασικού παραθύρου διαλόγου επιλέγονται όλα τα διαθέσιμα ρεολογικά μοντέλα ενώ επιλέγοντας και το “ Best Fitting of Selected” που βρίσκεται πάνω δεξιά, μετά την επίλυση επισημαίνεται το ρεολογικό μοντέλο (από όσα έχουν επιλεγεί) που προσεγγίζει καλύτερα τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί.

2.3.5 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Η ανάγνωση αποτελεσμάτων επίλυσης γίνεται επιλέγοντας την εντολή “View Output” από το βασικό παράθυρο διαλόγου του προγράμματος. Έτσι, εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο διαλόγου στο πάνω μέρος του οποίου φαίνονται τα αποτελέσματα σε μορφή

πίνακα για κάθε ένα από τα ρεολογικά μοντέλα που έχουν επιλεγεί με όλες τις παραμέτρους της προσέγγισης. Στο κάτω μέρος εμφανίζεται η γραφική απεικόνιση της προσέγγισης που περιέχει τα πειραματικά δεδομένα (με τη μορφή σημείων) και την καμπύλη προσέγγισης (συνεχής γραμμή).

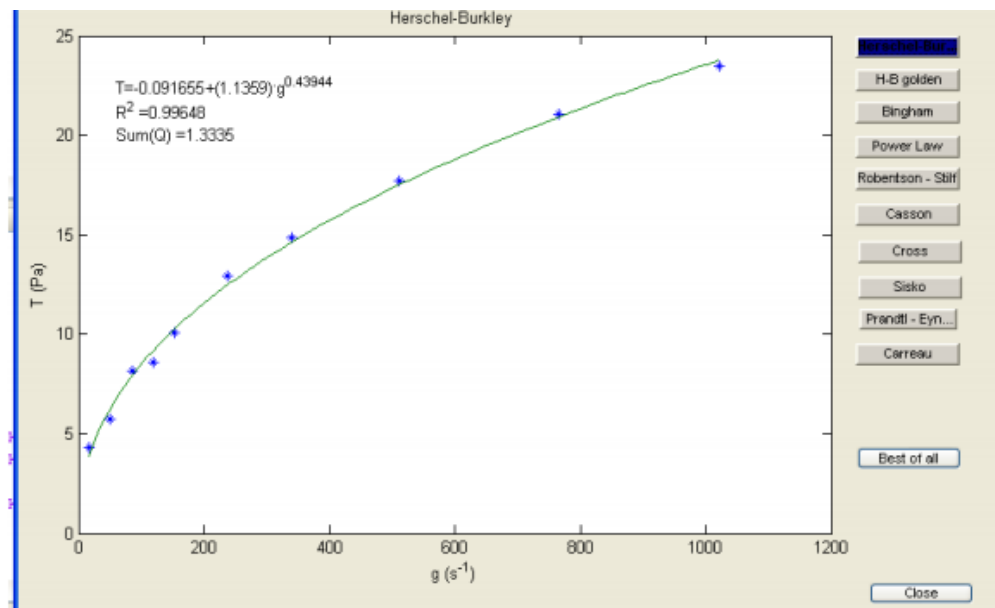
Πάνω στο γράφημα φαίνονται επίσης:

- Η εξίσωση του ρεολογικού μοντέλου
- Το ΣQ^2 (Pa²)

Όπου: $\Sigma Q^2 = \sum (y_{\text{ρεολογικής εξίσωσης}} - y_{\text{πειραματικό}})^2$

- Ο βαθμός συσχέτισης R^2 (Residual Error)

Δεξιά της γραφικής παράστασης, Εικόνα 17, εμφανίζεται με έντονα γράμματα το ενεργό ρεολογικό μοντέλο, ενώ προκειμένου να εμφανιστούν τα αποτελέσματα κάποιου άλλου ρεολογικού μοντέλου επιλέγεται το αντίστοιχο πλήκτρο στα δεξιά. Τέλος, με την εντολή “ Best of All” εμφανίζεται η γραφική απεικόνιση του ρεολογικού μοντέλου (από όσα έχουν επιλεγθεί) που προσεγγίζει καλύτερα τα πειραματικά δεδομένα.



Εικόνα 17: Γραφική απεικόνιση προσέγγισης

2.4 ΔΙΗΘΗΣΗ - ΦΙΛΤΡΟΠΡΕΣΣΑ

2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Διήθηση (φιλτράρισμα) είναι μια μέθοδος (διεργασία) διαχωρισμού των στερεών που βρίσκονται σαν αιώρημα σε ένα ρευστό (υγρό ή αέριο) με τη χρήση κατάλληλης διεπιφάνειας, η οποία ονομάζεται διηθητικό μέσο ή φίλτρο ή διάφραγμα και είναι πορώδες και διαπερατή από το ρευστό (διαλύτη). Η διεπιφάνεια αυτή συγκρατεί ορισμένα από τα συστατικά του αιωρήματος ή διαλύματος (π.χ. τα στερεά), ενώ επιτρέπει στο “καθαρό” ρευστό να περάσει. Για να πραγματοποιηθεί η διεργασία αυτή θα πρέπει να εφαρμοστεί ορισμένη κινητήρια δύναμη στα άκρα της διεπιφάνειας, που μπορεί να είναι: η βαρύτητα, η πίεση, η φυγοκεντρική δύναμη, ή το κενό.

Γενικά, οι πόροι του διηθητικού μέσου είναι μια προσομοίωση του περιβάλλοντος πετρώματος της γεώτρησης. Τα στερεά που παραμένουν πάνω στην επιφάνεια του διηθητικού φίλτρου σχηματίζουν ένα στρώμα λάσπης, το λεγόμενο filter cake. Το filter cake μεγαλώνει κατά τη διάρκεια της διήθησης, γίνεται “παχύτερο”, διότι συσσωρεύεται σωματιδιακό υλικό. Με την αύξηση του πάχους στρώσης αυξάνεται η αντίσταση ροής του φίλτρου. Μετά από ένα ορισμένο χρόνο χρήσης του φίλτρου τα κέικ πρέπει να αφαιρεθεί από το φίλτρο, π.χ. από την απόπλυση (Iritani, 2003).

Η διήθηση είναι μια πολύ σημαντική δοκιμή για τον τομέα του Μηχανικού Λάσπης διότι μέσω αυτής βλέπουμε χαρακτηριστικά που είναι κρίσιμα για την διεξαγωγή μιας γεώτρησης. Πιο συγκεκριμένα μέσω της διήθησης βλέπουμε πόσο γρήγορα η αργά (ρυθμός διήθησης) βγαίνει το νερό από την λάσπη. Αυτό σαφώς σχετίζεται με το τι συγκεντρώσεις μπεντονίτη και άλλων προσθέτων έχουμε χρησιμοποιήσει. Επίσης μια άλλη σημαντική μέτρηση κατά την διήθηση είναι το λεγόμενο filter cake το οποίο και εξηγήσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Χωρίς το cake αυτό κατά τη διαδικασία της γεώτρησης ή ακόμα και με μη κατάλληλο filter cake, η τα τοιχώματα της γεώτρησης θα υποχωρούσαν και θραύσματα θα εισέρχονταν στο εσωτερικό της με αποτέλεσμα την καταστροφή της γεώτρησης ή την δυσλειτουργία της ή και την επιμόλυνση των παραγωγικών σχηματισμών.

2.4.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Τα διηθητικά χαρακτηριστικά των πολφών μελετήθηκαν με την βοήθεια της πρέσας διήθησης Χαμηλής Πίεσης – Χαμηλής Θερμοκρασίας (Low Pressure – Low Temperature, LPLT) κατά API 13B. Πραγματοποιήθηκε στατική διήθηση..

Κατά την εκτέλεση του πειράματος με την φιλτρόπρεσα API (Εικόνα 18) μετρήθηκαν τα εξής:

- 1) ο ρυθμός διήθησης δια μέσου κανονικού χαρτιού διήθησης
- 2) Το πάχος του filter cake στο χαρτί διήθησης κάτω από κανονικές συνθήκες.



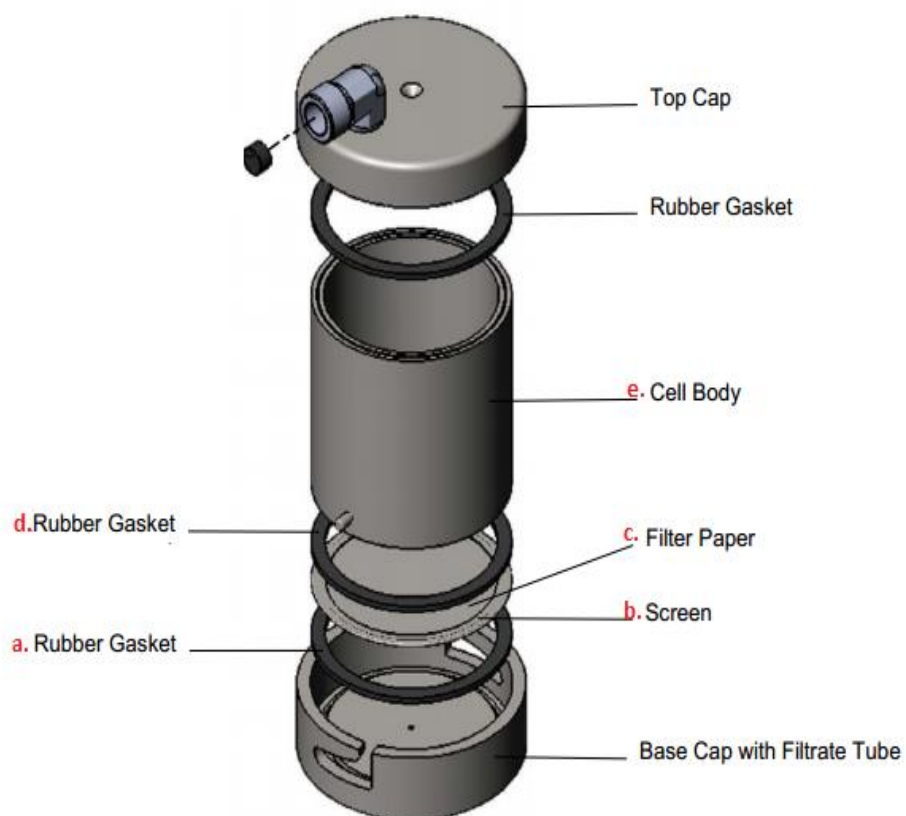
Εικόνα 18 : Φιλτρόπρεσα διήθησης LPLT

Πιο αναλυτικά για την Εικόνα 19 έχουμε τα εξής όργανα:



Εικόνα 19: Όργανο Διήθησης

- ❖ Κυλινδρικό δοχείο διήθησης (Εικόνα 20) το οποίο αποτελείται από τα εξής:
 - **a.** Λαστιχένια φλάντζα (η οποία βρίσκεται ήδη ενσωματωμένη)
 - **b.** Κόσκινο
 - **c.** Διηθητικό χαρτί
 - **d.** Λαστιχένια φλάντζα
 - **e.** Κυλινδρικό δοχείο



Εικόνα 20: Κυλινδρικό δοχείο Διήθησης

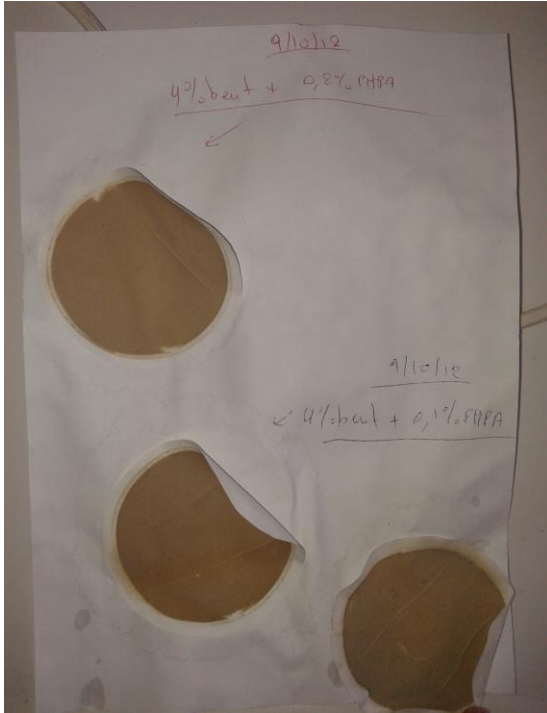


Εικόνα 21: Φιάλη διοξειδίου του άνθρακα

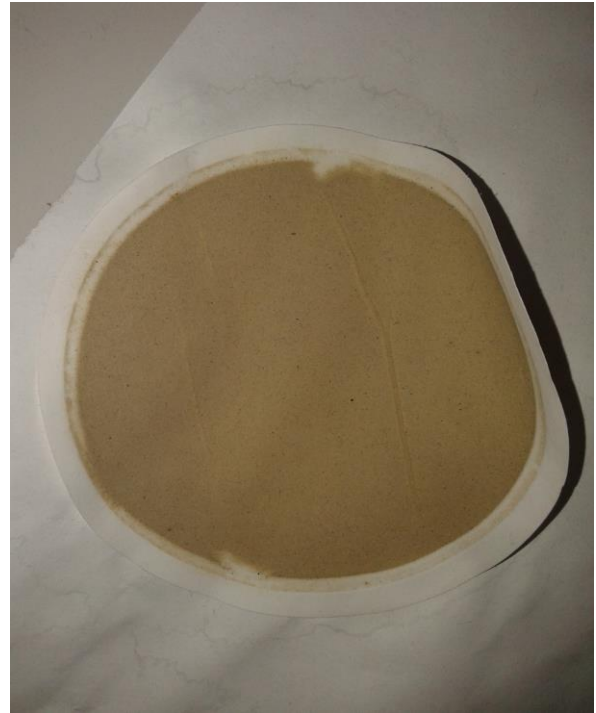
❖ Φιάλη διοξειδίου του άνθρακα (Εικόνα 21).

Με αυτή γίνεται η εισπίεση αέρα στο δοχείο.

Στην Εικόνα 22 παρουσιάζονται τα filter cakes πολφών με 4% μπεντονίτη και 0,2% ΡΗΡΑ στο επάνω μέρος της φωτογραφίας και στο κάτω μέρος της έχουμε 4% μπεντονίτη και 0,1% ΡΗΡΑ. Στην Εικόνα 23 φαίνεται πιο κοντινή άποψη ενός filter cake.



Εικόνα 22: Filter cake



Εικόνα 23 : Filter cake

Η ροή του διηθήματος δια μέσου του filter cake δίδεται από το νόμο Darcy (Εξίσωση 4) :

$$\frac{dV_f}{dt} = \frac{kA\Delta p}{\mu h_{mc}}$$

Εξίσωση 4: Νόμος Darcy

Όπου:

- $dV_f / dt =$ ο ρυθμός διήθησης, cm^3 / s , $[\text{L}^3 / \text{T}]$
- $V_f =$ όγκος του ρευστού που διηθήθηκε, όγκος διηθήματος, cm^3 $[\text{L}^3]$
- $k =$ η φυσική διαπερατότητα του υμενίου, darcies ($= 10^{-10} \text{ cm}^2$) $[\text{L}^2]$
- $A =$ η επιφάνεια του χαρτιού διήθησης, cm^2 , $[\text{L}^2]$
- $\Delta p =$ η πτώση πίεσης δια μέσου του υμενίου, dynes/cm^2 $[\text{M} / \text{L} \cdot \text{T}^2]$

- $\mu =$ το ιξώδες του διηθήματος, poise (g/cm·s) [M / L·T]
- $h_{mc} =$ το πάχος του υμενίου, cm. [L]



Εικόνα 24: Παχύμετρο Βερνιέρου

Η απόδοση της διήθησης σε μια γεώτρηση κρίνεται από την καθορισμένη διαδικασία διήθησης κατά API. Στη δοκιμή αυτή, ο πολφός υπόκειται σε στατική διήθηση μέσω διηθητικού χαρτιού για 30 λεπτά και μετρώνται ο όγκος του διηθήματος, το πάχος και η συνοχή του υμενίου που δημιουργείται κάτω από διαφορά πίεσης 100 psi (690 kPa) για 30 λεπτά. Το πάχος του υμενίου διήθησης μετριέται στο πλησιέστερο 1/32" (0,8 mm) με παχύμετρο (Εικόνα 24). Η ποσότητα του διηθήματος που διέρχεται στον γεωλογικό σχηματισμό πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη. Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου (API), στο εγχειρίδιο 13A (API, 13A, 1993), επισημαίνει ότι η μέγιστη επιτρεπτή απώλεια διηθήματος σε δοκιμή διήθησης με πρέσα LPLT για τον πολφό βάσης (μπεντονίτης 6,42% κ.ό. + νερό) είναι 15 ml.

Εδώ χρειάζεται να αναφερθεί πως αρχικά γινόταν η προετοιμασία του πολφού σε συγκεκριμένη συγκέντρωση (πχ. 25 gr μπεντονίτη και 2 gr PHPA), έπειτα μετρούσαμε το ιξώδες και την διήθηση. Δεν έχει σημασία εάν αυτές οι μετρήσεις γίνουν ταυτόχρονα είτε όχι. Όπως δεν έχει σημασία η σειρά των μετρήσεων, αρκεί να υπάρχει αρκετός πολφός ώστε να πραγματοποιηθούν όλα τα πειράματα. Η σειρά των πειραμάτων (ιξώδες ή διήθηση) είναι σημαντική μόνο εάν δεν υπάρχει αρκετό δείγμα και πρέπει να πραγματοποιηθούν δύο πειράματα με το ίδιο δείγμα. Αν η μέτρηση ιξώδους γίνει σε αυξανόμενη θερμοκρασία, τότε μετά την μέτρηση το δείγμα θα καταστραφεί, λόγω μεγάλων θερμοκρασιών και δεν θα μπορούσαμε να το χρησιμοποιήσουμε ξανά. Ούτε θα

μπορούσαμε να πραγματοποιήσουμε πρώτα το πείραμα της διήθησης και έπειτα του ης μέτρησης ιξώδους, λόγω της φιλτρόπρεσσας θα είχαμε απώλεια ρευστού έτσι το δείγμα δεν θα μπορούσε να ξαναχρησιμοποιηθεί.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΦΙΛΤΡΟ-ΠΡΕΣΣΑ

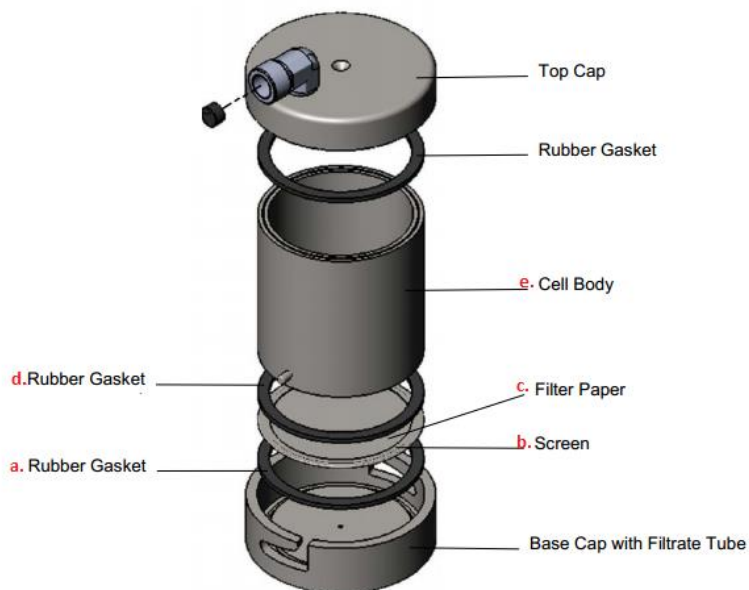
Εδώ παραθέτουμε την διαδικασία όπως ακριβώς γινόταν στο εργαστήριο:



Εικόνα 25:Κυλινδρικό δοχείο διήθησης

Το κυλινδρικό δοχείο διήθησης όπως φαίνεται στην Εικόνα 25 είναι έτοιμο για διήθηση έχει τοποθετηθεί το καπάκι του και μάλιστα είναι κλειστό με την βάνα που το πιέζει από πάνω. Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα αναλυτικά:

1. Παίρνουμε τη βάση του μεταλλικού κυλινδρικού δοχείου όπως βλέπουμε στην παρακάτω Εικόνα 26 και βάζουμε από κάτω προς τα πάνω:



Εικόνα 26: Κυλινδρικό δοχείο

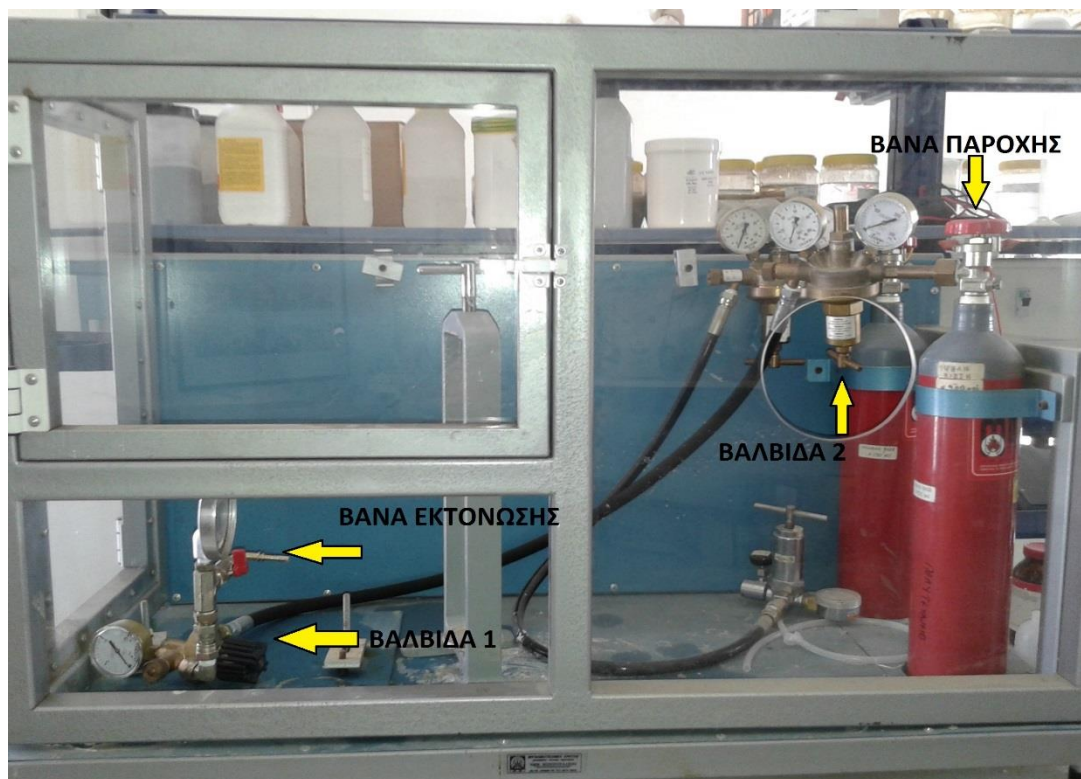
2. Προσθέτουμε πολφό – εφόσον έχει ενυδατωθεί , μετά από ανάμιξη 10λεπτών-
3. Τοποθετούμε το δοχείο με το πολφό στη συσκευή και στη συνέχεια (αφού ελέγξουμε ότι υπάρχει η λαστιχένια φλάντζα στο καπάκι) κρατάμε σταθερό το καπάκι πάνω στο δοχείο και βιδώνουμε μέχρι να ασφαλίσει πλήρως
4. Προσέχουμε ότι το καπάκι είναι καλά ασφαλισμένο
5. Τοποθετούμε τον πλαστικό ογκομετρικό κύλινδρο κάτω από το δοχείο (Εικόνα 27)



Εικόνα 27: Ογκομετρικός σωλήνας

6. Φοράμε γυαλιά ασφαλείας

7. Ελέγχουμε ότι είναι κλειστή η βάνα εκτόνωσης (κόκκινη) - όταν δείχνει προς το μέρος μας είναι ανοιχτή
8. Ελέγχουμε ότι το σύστημα είναι κλειστό (η βαλβίδα 1 πρέπει να είναι τέρμα αριστερά και η βαλβίδα παροχής ,της κόκκινης φιάλης, τέρμα δεξιά)
9. Ανοίγουμε τη βαλβίδα παροχής έως ότου το μανόμετρο να δείξει 50atm (Εικόνα 28)
10. Βιδώνουμε τη βαλβίδα 2 μέχρις ότου το δεύτερο μανόμετρο να φτάσει στα 15-20atm
11. Βιδώνουμε τη βαλβίδα 1 προς τα δεξιά μέχρις ότου το μανόμετρο από πάνω της να δείξει 7atm
12. Μετά από 30 λεπτά κλείνουμε δεξιόστροφα τη βαλβίδα παροχής
13. Ξεβιδώνουμε τη βαλβίδα 2
14. Ξεβιδώνουμε (προς τα αριστερά) τη βαλβίδα 1
15. Ανοίγουμε τη βαλβίδα εκτόνωσης



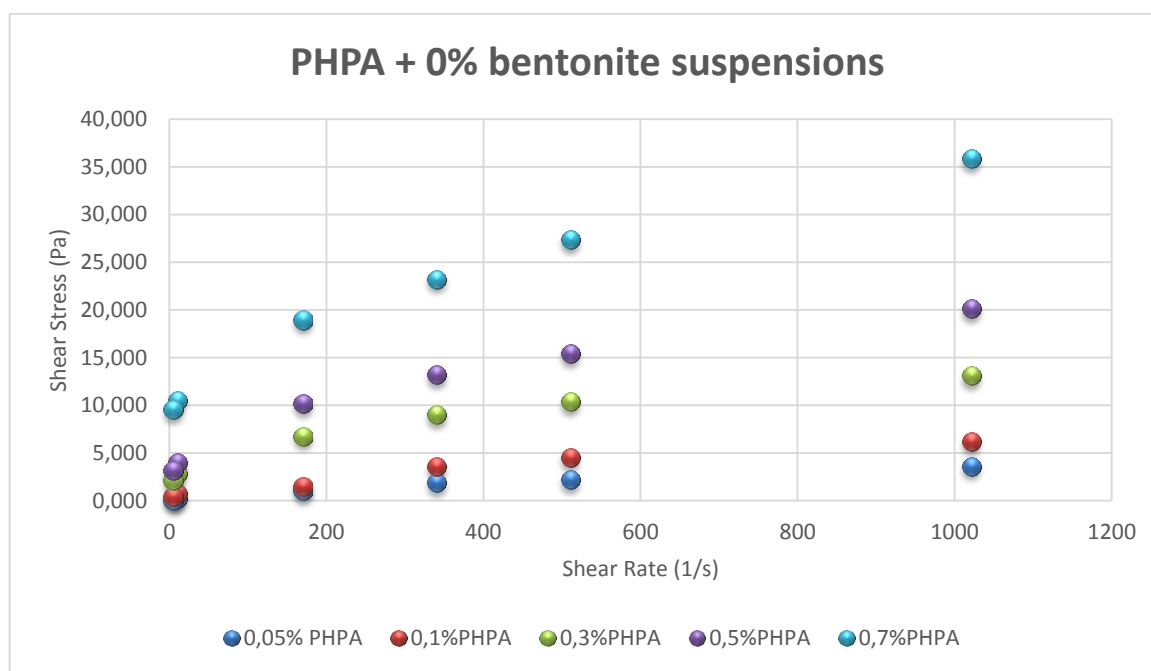
Εικόνα 28: Συσκευή διήθησης με όργανα και σκεύη διήθησης καθώς και τις μπουκάλες

-
16. Για να μηδενιστούν οι ενδείξεις στα μανόμετρα -κρατώντας ανοιχτή τη βαλβίδα εκτόνωσης- ρυθμίζουμε παράλληλα τη βαλβίδα 1 καθώς και τη βαλβίδα 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΡΕΟΛΟΓΙΑΣ

Στην ενότητα αυτή γίνεται η παρουσίαση και ο σχολιασμός του συνόλου των πειραμάτων που έγιναν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Στα πειράματα της ρεολογίας χρησιμοποιήθηκε μπεντονίτης σε συγκεντρώσεις 0%, 2%, 3%, 4%, 5% w/v και PHPA σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονταν από 0.05% έως 0.7% w/v. Το μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, ήταν το Hershel Bulkey για τα δείγματα που παρουσίαζαν τάση διολίσθησης και το Power Law για τα δείγματα που είχαν μηδενική τάση διολίσθησης. Και τα δύο μοντέλα παρουσίασαν πολύ καλές συσχετίσεις, όπως φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν. Τα αρχικά δεδομένα, ρεογράμματα, παρουσιάζονται στο Παράρτημα, μαζί με την εξίσωση των ρεολογικών μοντέλων που προέκυψαν από τη χρήση του λογισμικού.

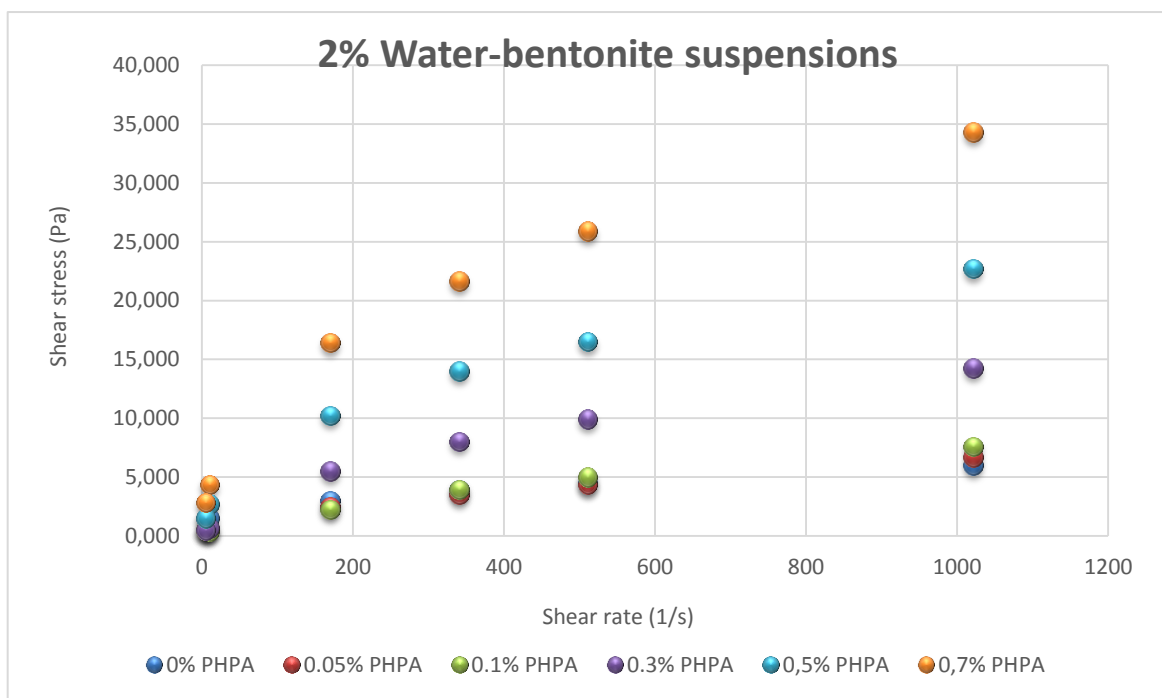


Διάγραμμα 1: Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 0% μπεντονίτη και συγκεντρώσεις PHPA

0% w/v bentonite +	τ_y (Pa)	k (Pa*s ⁿ)	n	R^2	Sum(Q ²) (Pa ²)
0,05% PHPA	0,000	0,034	0,6701	0,9959	0,0376
0,1% PHPA	0,000	1,558	0,3650	0,9995	0,1064
0,2% PHPA	0,000	0,166	0,5417	0,99805	0,0666
0,3% PHPA	0,188	1,462	0,3731	0,9995	0,0996
0,5% PHPA	0,981	1,154	0,4045	0,9999	0,0113
0,7% PHPA	7,971	0,699	0,5316	0,9996	0,1955

Πίνακας 4: Συγκεντρώσεις PHPA+ 0% μπεντονίτης

Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται τα ρεογράμματα. Επεξεργασία των δεδομένων έδωσε τα αποτελέσματα μας. Παρατηρούμε, ότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις, το PHPA δεν παρουσιάζει τάση διολίσθησης. Εν συνεχεία αυξάνοντας όμως την συγκέντρωση του PHPA παρατηρούμε ότι αυτή η συμπεριφορά αλλάζει και φτάνοντας σε συγκέντρωση 0.7% w/v η τάση διολίσθησης φτάνει τα 7.9 Pa.

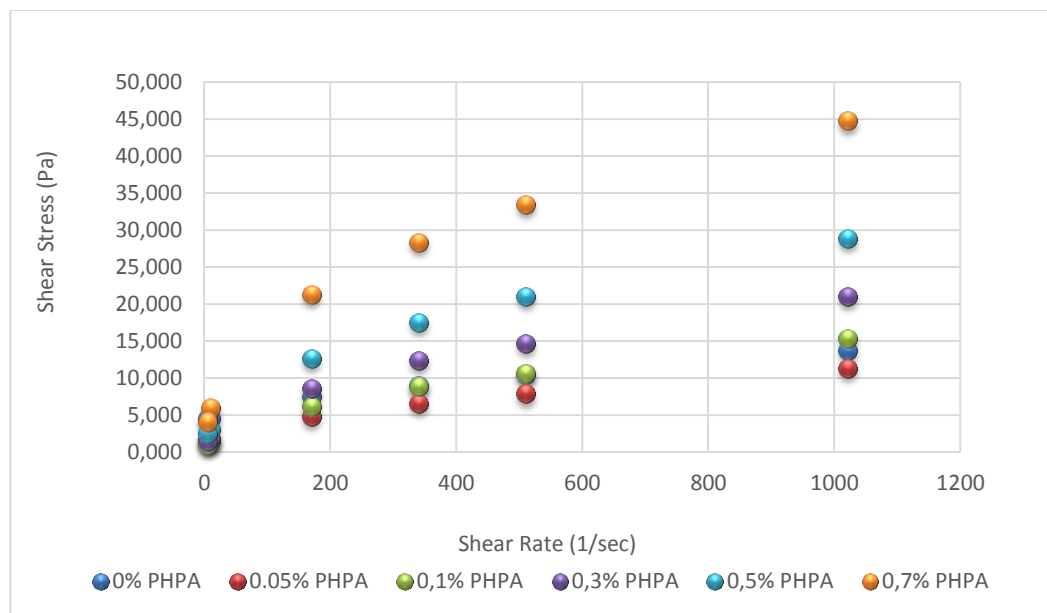


Διάγραμμα 2: Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 2% μπεντονίτη και για διάφορες συγκεντρώσεις PHPA

2% w/v bentonite +	τ_y (Pa)	k (Pa*s ⁿ)	n	R^2	Sum(Q ²) (Pa ²)
0% PHPA	0,339	0,480	0,3501	0,9875	0,5632
0,05% PHPA	0,265	0,078	0,6369	0,9983	0,0484
0,1% PHPA	0,000	0,964	0,6303	0,9970	0,1170
0,3% PHPA	0,000	0,311	0,5533	0,9975	0,3661
0,5% PHPA	0,000	0,947	0,4592	0,9989	0,3856
0,7% PHPA	0,000	1,725	0,4330	0,9976	0,4567

Πίνακας 5: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 2% με προσθήκη PHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις

Τα στοιχεία για το Διάγραμμα 2 τα βλέπουμε στον Πίνακα 5. Παρατηρούμε ότι ενώ αρχικά ο μπεντονίτης παρουσιάζει μια τάση διολίσθησης, με την προσθήκη του πολυμερούς η τάση διολίσθησης μειώνεται και σε μεγάλες συγκεντρώσεις μηδενίζεται (Διάγραμμα 2). Αντίστοιχα παρουσιάζεται μία αύξηση του συντελεστή συνάφειας K με την αύξηση της συγκέντρωσης του πολυμερούς. Ο συντελεστής ροϊκής συμπεριφοράς παρουσιάζει μία ελαφρά μείωση με την αύξηση του πολυμερούς.

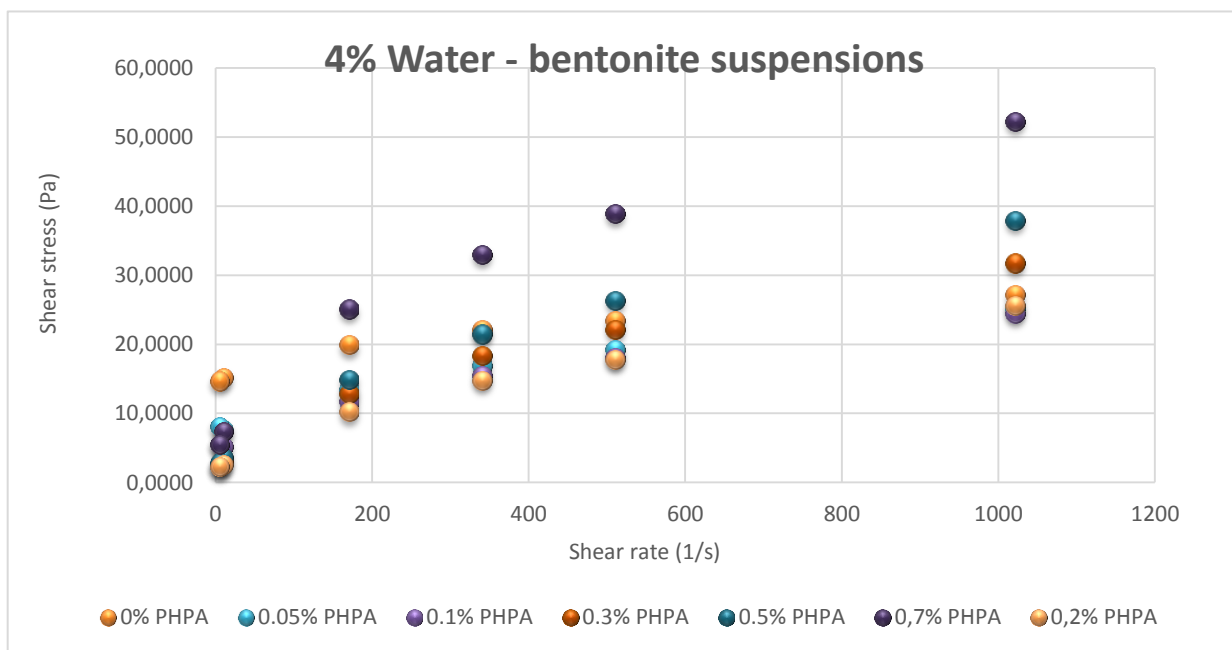


Διάγραμμα 3 : Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 3% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA

3% w/v bentonite +	τ_y (Pa)	k (Pa*s ⁿ)	n	R^2	Sum(Q ²) (Pa ²)
0% PHPA	3,942	0,179	0,5762	0,9987	0,1234
0,05% PHPA	1,003	0,204	0,5646	0,9990	0,0693
0,1% PHPA	0,095	0,366	0,5400	0,9992	0,1234
0,3% PHPA	0,000	0,618	0,5091	0,9994	0,1897
0,5% PHPA	0,000	1,346	0,4675	0,9997	0,1923
0,7% PHPA	0,000	2,289	0,4297	0,99934	0,6754

Πίνακας 6: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 3% με προσθήκη PHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις

Στον Πίνακα 6 μπορούμε να βρούμε τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο Διάγραμμα 3. Και σε αυτήν την περίπτωση (Διάγραμμα 3) παρατηρείται μείωση της τάσης διολίσθησης. Πιο συγκεκριμένα ενώ ο μπεντονίτης αρχικά έχει μια τάση διολίσθησης περίπου 4 Pa μετά από την προσθήκη PHPA σε συγκέντρωση 0.3% αλλά και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μηδενίζεται.

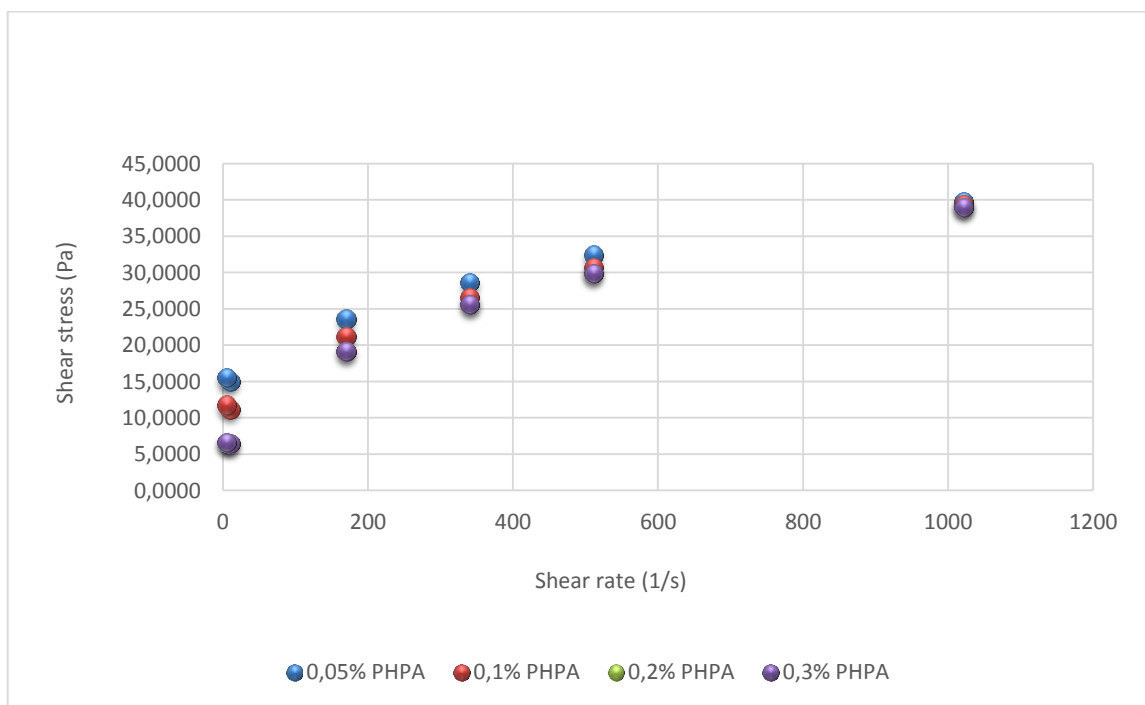


Διάγραμμα 4 : Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 4% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA

4% w/v bentonite +	τ_y (Pa)	k (Pa*s ⁿ)	n	R^2	Sum(Q ²) (Pa ²)
0% PHPA	13,011	0,852	0,4050	0,9997	0,0374
0,05% PHPA	6,680	0,381	0,5614	0,9979	0,4910
0,1% PHPA	3,931	0,493	0,5390	0,9987	0,3576
0,2% PHPA	0,5506	0,650	0,5273	0,9997	0,1284
0,3% PHPA	0,005	0,953	0,5058	0,9999	0,0629
0,5% PHPA	0,432	0,961	0,5289	0,9999	0,0449
0,7% PHPA	0,000	2,878	0,4184	0,9999	0,2615

Πίνακας 7: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 4% με προσθήκη PHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις

Όπως και στα προηγούμενα δείγματα έτσι κι εδώ (Διάγραμμα 4, τα δεδομένα είναι από τον Πίνακα 7) ακολουθείται η ίδια συμπεριφορά. Επίσης είναι εμφανές ότι η προσθήκη του PHPA προκαλεί μείωση της τάσης διολίσθησης αυξάνοντας την συγκέντρωση του αυξάνεται και ο συντελεστής συνάφειας.

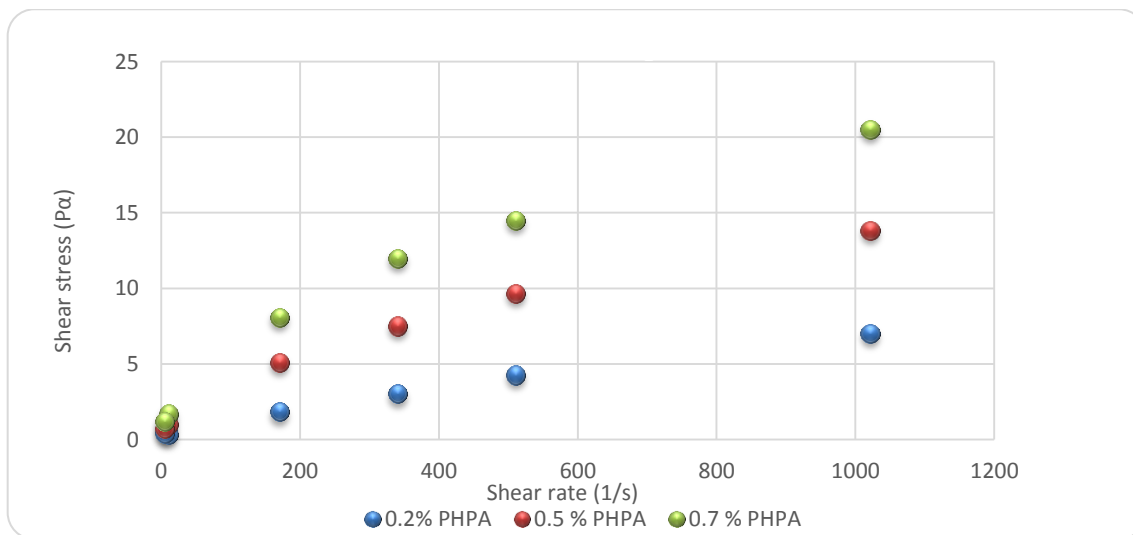


Διάγραμμα 5: Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 5% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA

5% w/v bentonite +	τ_y (Pa)	k (Pa*s ⁿ)	n	R^2	Sum(Q ²) (Pa ²)
0,05% PHPA	13,035	0,802	0,5071	0,9976	1,1504
0,1% PHPA	8,976	0,910	0,5068	0,9981	1,1591
0,2% PHPA	3,162	1,158	0,4935	0,9993	0,5852
0,3% PHPA	2,600	1,508	0,4833	0,9994	0,7033
0,5% PHPA	1,241	1,463	0,5090	0,9999	0,1978
0,7% PHPA	0,458	2,594	0,4539	0,9999	0,2017

Πίνακας 8 : Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 5% με προσθήκη PHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις.

Τα δείγματα όπου χρησιμοποιήθηκε 5% μπεντονίτης (Πίνακας 8 και αντίστοιχα Διάγραμμα 5) είναι εύκολο να συγκριθούν αφού ακολουθούν το ίδιο μοντέλο. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ενώ για 0.05% PHPA η τάση διολίσθησης είναι ίση με 13 Pa περίπου στο δείγμα που περιέχει PHPA σε συγκέντρωση 0.7% η τάση διολίσθησης είναι μόλις 0.4 Pa. Αντίθετα η προσθήκη PHPA προκαλεί και σε αυτήν την περίπτωση μείωση της τάσης διολίσθησης. Έτσι ενώ για συγκέντρωση 0.05 % PHPA το k ισούται με 0.802 (Pa*sⁿ) για συγκέντρωση 0.7% περίπου τριπλασιάζεται (2,594 Pa*sⁿ). Παρατηρούμε επίσης μείωση του οδηγού συνάφειας (k) καθώς και αύξηση του οδηγού συμπεριφοράς n).



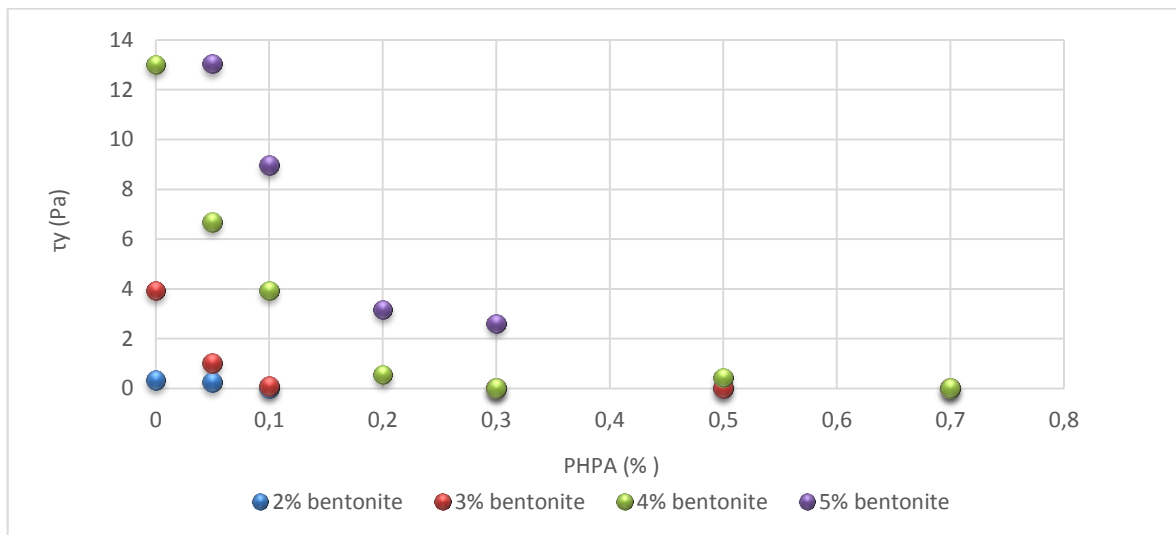
Διάγραμμα 6 : Ρεόγραμμα αιωρημάτων για 5% μπεντονίτη σε διάφορες συγκεντρώσεις PHPA και 3% KCl

5% bentonite					
w/v + 3% KCl	τ_y (Pa)	k (Pa*s ⁿ)	n	R^2	Sum(Q ²) (Pa ²)
w/v +					
0,2 % PHPA	0,000	0,057	0,6936	0,9954	0,14918
0,5 % PHPA	0,000	0,296	0,5556	0,9995	0,05936
0,7 % PHPA	0,000	0,573	0,5174	0,9993	0,21238

Πίνακας 9: Ρεολογικές παράμετροι για μπεντονίτη 5% με προσθήκη PHPA σε διάφορες συγκεντρώσεις και 3% KCl.

Συγκρίνοντας αντίστοιχες συγκεντρώσεις του 5% μπεντονίτη + (0.2, 0.5, 0.7) % PHPA (Πίνακας 8) σε σχέση με 5% μπεντονίτη + (0.2, 0.5, 0.7)% PHPA+ 3% KCl (Πίνακας 9) παρατηρούμε πως έχουμε μηδενισμό της τάσης διολίσθησης με την προσθήκη του ηλεκτρολύτη KCl, επίσης μειώνεται ο δείκτης συνάφειας. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι το μοντέλο Power Law.

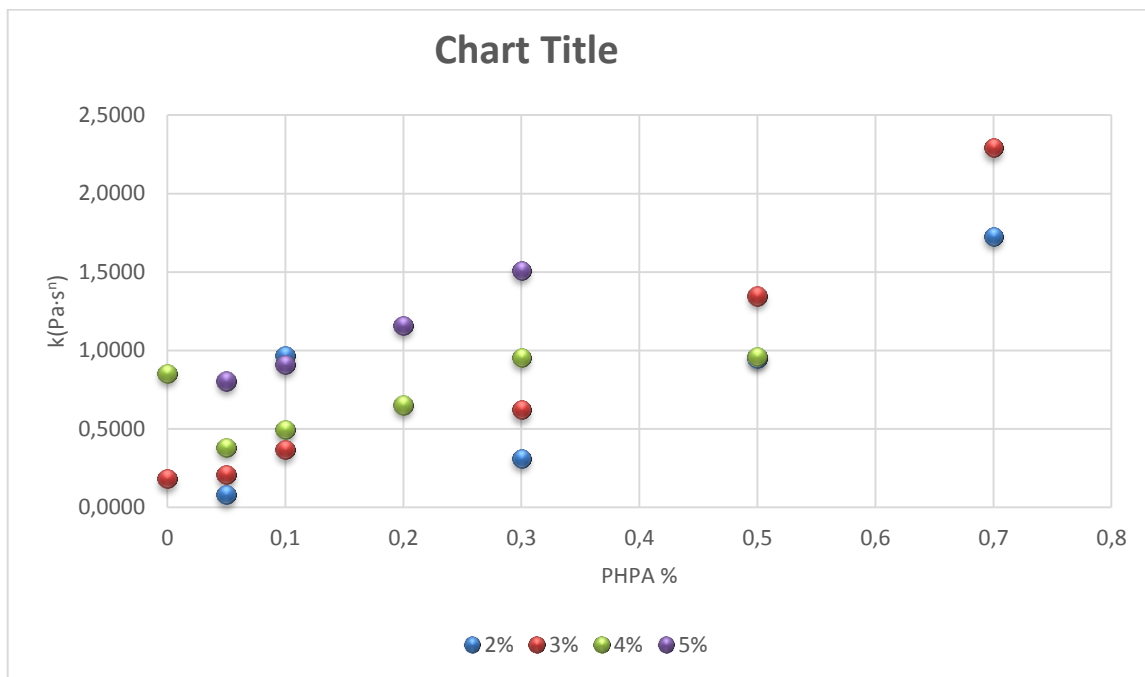
Ακολουθούν συγκριτικά διαγράμματα των ρεολογικών παραμέτρων βάσει της συγκέντρωσης του μπεντονίτη και της συγκέντρωσης του πολυμερούς.



Διάγραμμα 7 : τ_y – PHPA (%)

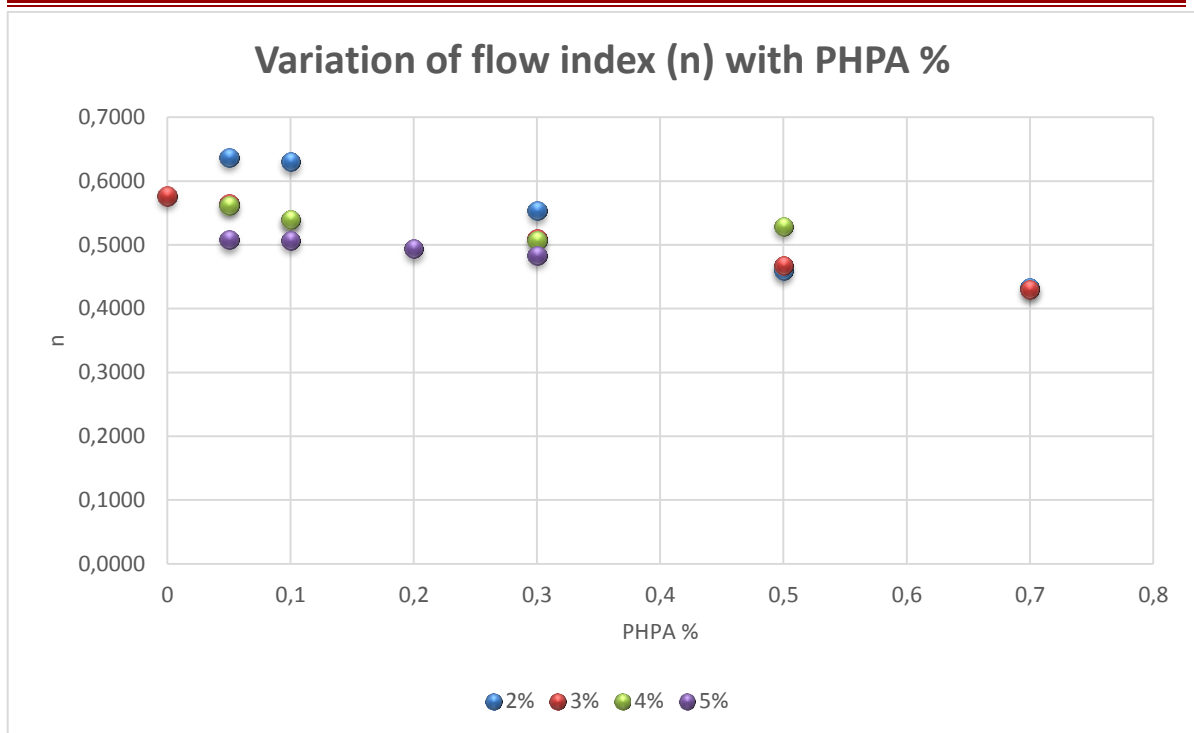
Το Διάγραμμα 7 επιβεβαιώνει τις προηγούμενες παρατηρήσεις μας. Πιο αναλυτικά η αύξηση της συγκέντρωσης του μπεντονίτη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τάσης διολίσθησης. Αντίθετα η προσθήκη πολυμερούς στα δείγματα, προκαλεί μείωση της τάσης

διολίσθησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε μικρές συγκεντρώσεις μπεντονίτη, η προσθήκη ΡΗΡΑ να μηδενίζει την τάση διολίσθησης.



Διάγραμμα 8: K (Pa·sⁿ) – ΡΗΡΑ (%)

Όσον αφορά το ιξώδες που περιγράφεται έμμεσα από την παράμετρο k (Διάγραμμα 8) αυξάνεται τόσο με την αύξηση του μπεντονίτη όσο και με την προσθήκη του ΡΗΡΑ. Συγκρίνοντας λοιπόν τις συγκεντρώσεις του μπεντονίτη στα 2%, 3% και 4% για τις διάφορες συγκεντρώσεις του πολυμερούς, αυτό είναι εμφανές, αφού και τα 4 δείγματα ειδικά σε υψηλές συγκεντρώσεις ακολουθούν το ίδιο μοντέλο. Το ίδιο συμβαίνει και στα δείγματα που περιέχουν 5% μπεντονίτη. Απλά τα δείγματα αυτά δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα αφού ακολουθούν άλλο ρεολογικό μοντέλο.



Διάγραμμα 9: n – PHPA

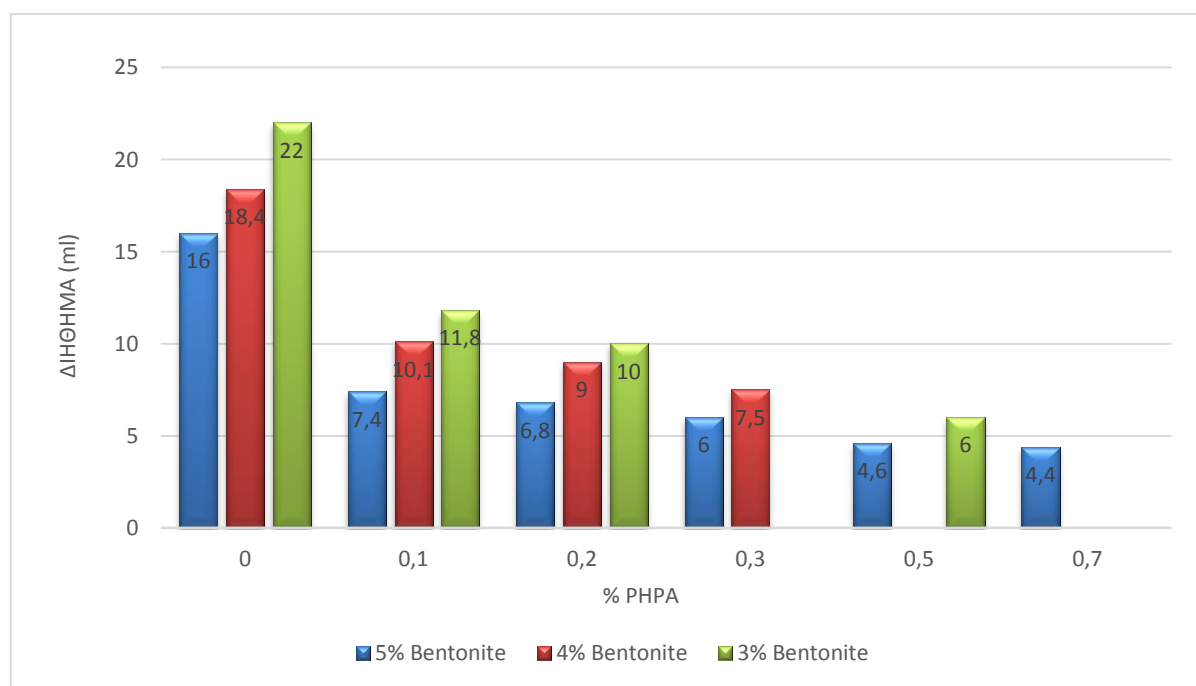
Το n όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 9 παραμένει σχεδόν σταθερό για τις διάφορες συγκεντρώσεις του μπεντονίτη, ενώ παρουσιάζει μια μικρή μείωση με την προσθήκη του πολυμερούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

Αποτελέσματα των πειραμάτων διήθησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 10 και στο Διαγράμματα 10 παρουσιάζεται σύγκριση διηθήματος σε σχέση με την συγκέντρωση του πολυμερούς για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις του μπεντονίτη.

ΡΗΡΑ/Μπεντο νίτης	3% Μπεντονίτης	4% Μπεντονίτης	5% Μπεντονίτης	5% Μπεντονίτης +3% KCl
0% ΡΗΡΑ	22,0 ml	18,4 ml	16,0 ml	
0,05% ΡΗΡΑ	11,8 ml	10,1 ml		
0,10% ΡΗΡΑ	10,0 ml	9,0 ml	7,4 ml	
0,20% ΡΗΡΑ		7,5 ml	6,8 ml	26,8 ml
0,30% ΡΗΡΑ	6,0 ml		6,0 ml	
0,50% ΡΗΡΑ			4,6 ml	11,2 ml
0,70% ΡΗΡΑ		4,8 ml	4,4 ml	8,0 ml

Πίνακας 10: Όγκος διηθήματος σε σχέση με την συγκέντρωση του μπεντονίτη και του πολυμερούς που χρησιμοποιήθηκε



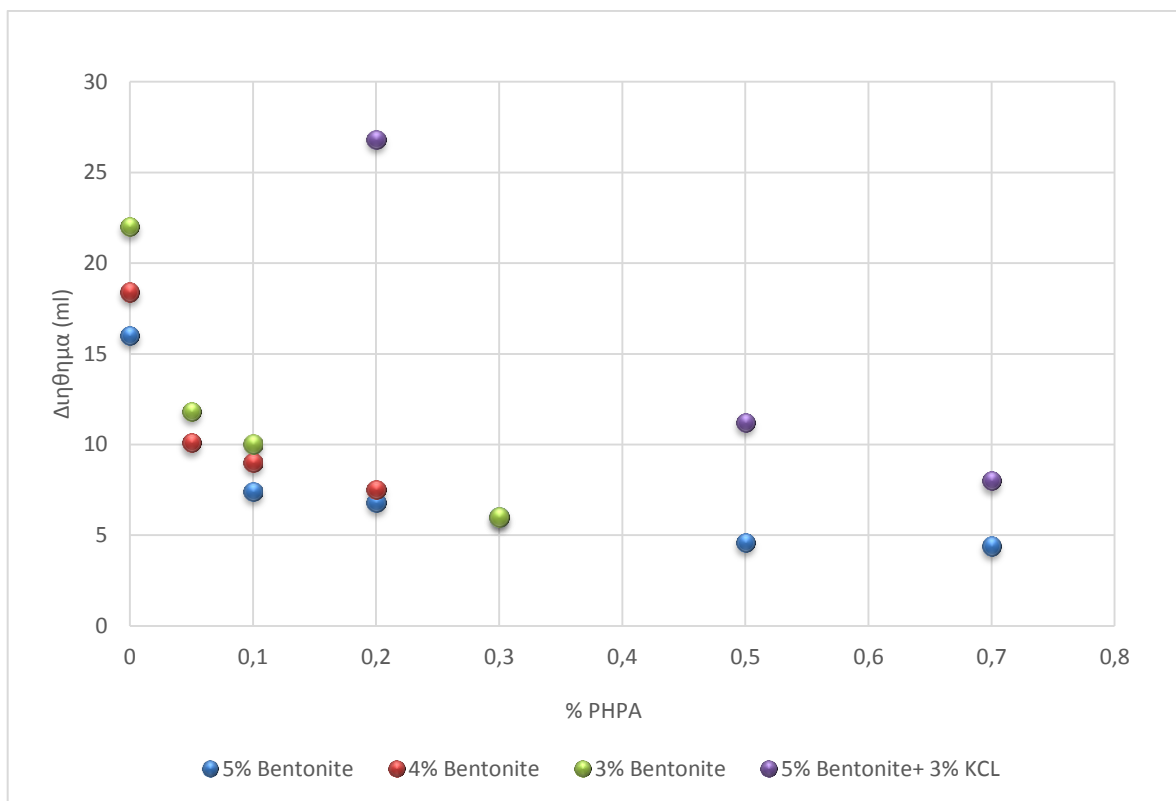
Διάγραμμα 10 : Σύγκριση διηθήματος σε σχέση με την συγκέντρωση του πολυμερούς για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις του μπεντονίτη.

Σύμφωνα με το API όπως αναφέρθηκε στο θεωρητικό κομμάτι, ο επιτρεπτός όγκος διηθήματος είναι 15ml. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 10 χωρίς τη προσθήκη πολυμερούς και τα τρία δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερο όγκο διηθήματος. Αντίθετα η έστω και μικρή προσθήκη του PHPA βοηθάει στην μείωση του όγκου του διηθήματος.

Ο πολφός KCl-PHPA με βάση το νερό σε συνδιασμό παρέχει αποτελεσματική παρεμπόδιση ανάπτυξης ρωγμών στα τοιχώματα γεώτρησης μέσω δύο μηχανισμών:

- Το χλωριούχο καλίο (KCl) παρέχει μια πηγή ιόντων καλίου, τα οποία είναι αρκετά μικρά ώστε να εναποθεθούν μεταξύ των μορίων του μπεντονίτη χωρίς την ρωγμάτωση του σχηματισμού του. Το κάλιο είναι ανταλλάξιμο ιόν και ανταλλάσει το νάτριο, έτσι προσροφάται στον ενδοστρωματικό χώρο και έχει μικρή ενέργεια ενυδάτωσης.
- Το PHPA αντίστοιχα είναι ένα πολυμερές σώμα υψηλού μοριακού βάρους το οποίο προσροφάται επάνω στις επιφάνειες του μπεντονίτη για να μονώσει τις ρωγματώσεις στη γεώτρηση καθώς και να αυξήσει το ιξώδες του πολφού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποτρέπει την επαφή του νερού με τα περιβάλλοντα πετρώματα.

Σχετικά με την προσθήκη του ηλεκτρολύτη KCl παρατηρούμε επίσης, σε σύγκριση πάντα με την αντίστοιχη συγκέντρωση 5% μπεντονίτη (Πίνακας 10), ότι το διήθημα έχει αυξηθεί. Στο Διάγραμμα 11 φαίνεται καλύτερα η μεγάλη διαφορά που υπάρχει όταν προσθέτουμε και KCl στον πολφό μας.



Διάγραμμα 11: Σύγκριση διηθήματος σε σχέση με την συγκέντρωση του πολυμερούς για τις διαφορετικές συγκεντρώσεις του μπεντονίτη.

Ο παραπάνω τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων (Διάγραμμα 11) μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η μείωση του διηθήματος μπορεί να ακολουθεί εκθετική τάση σε σχέση με την περιεκτικότητα του PHPA. Έτσι λοιπόν το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την συσχέτιση του διηθήματος με την συγκέντρωση του πολυμερούς είναι το εκθετικό και δίνεται από την Εξίσωση 5:

$$y = a \cdot e^{(-b \cdot x) + c}$$

Εξίσωση 5

Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν για την κάθε συγκέντρωση του μπεντονίτη, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Μπεντονίτης	a	b	c	R ²
3%	10.4300	5.014	3.682	1.0000
4%	6.9660	4.081	4.402	0.9999
5%	5.4930	2.286	3.145	0.9768

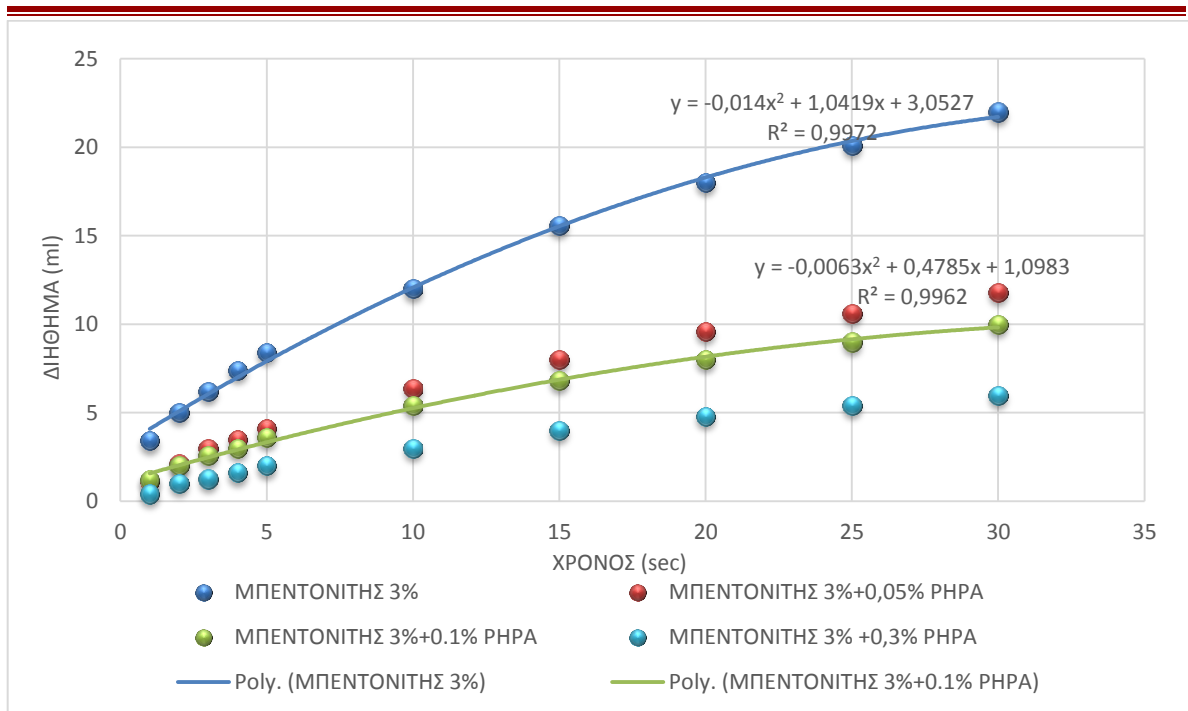
Πίνακας 11: Παράμετροι που υπολογίστηκαν για τις συγκεντρώσεις μπεντονίτη

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο όγκος του διηθήματος σε σχέση με το χρόνο περιγράφεται από την εξίσωση 6:

$$y=a x^b$$

Εξίσωση 6

Έτσι ακολούθησε έλεγχος της ισχύος του τύπου για τα δείγματά μας. Στο Διάγραμμα 12 επίσης προστέθηκαν δυο εξισώσεις ενδεικτικά ώστε να προσδιοριστεί η απόκλιση.



Διάγραμμα 12 : Διήθημα συναρτήσει του χρόνου για όλες τις μετρήσεις 3% bentonite+PHPA

Έλεγχος ισχύος του τύπου $y=a\sqrt{t}$:

➤ Για μπεντονίτη 3%

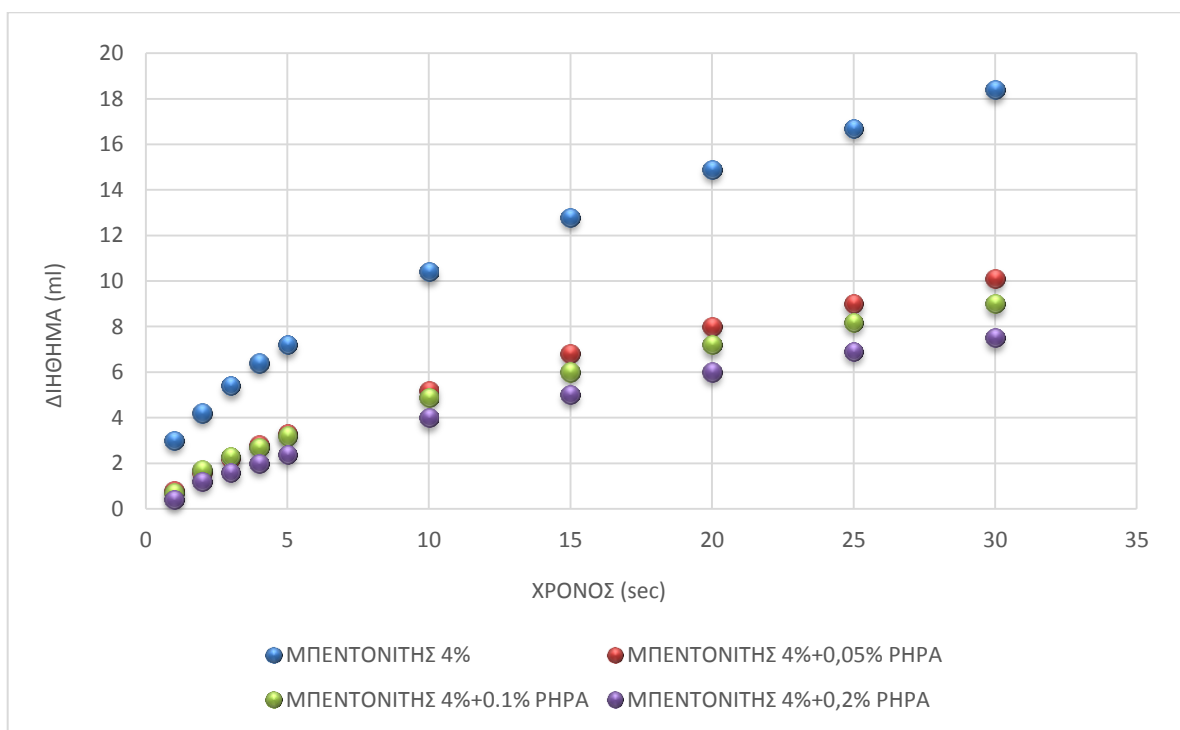
% ΡΗΡΑ	a	R^2
0	3,954	0,9940
0,05	2,063	0,9760
0,1	1,753	0,9850
0,3	1,026	0,9580

Πίνακας 12: Μπεντονίτης 3%

➤ Για μπεντονίτη 4%

% ΡΗΡΑ	α	R^2
0	3,309	0,9970
0,05	1,728	0,9630
0,1	1,573	0,9760
0,2	1,293	0,9550
0,7	0,799	0,88450

Πίνακας 13: Μπεντονίτης 4%

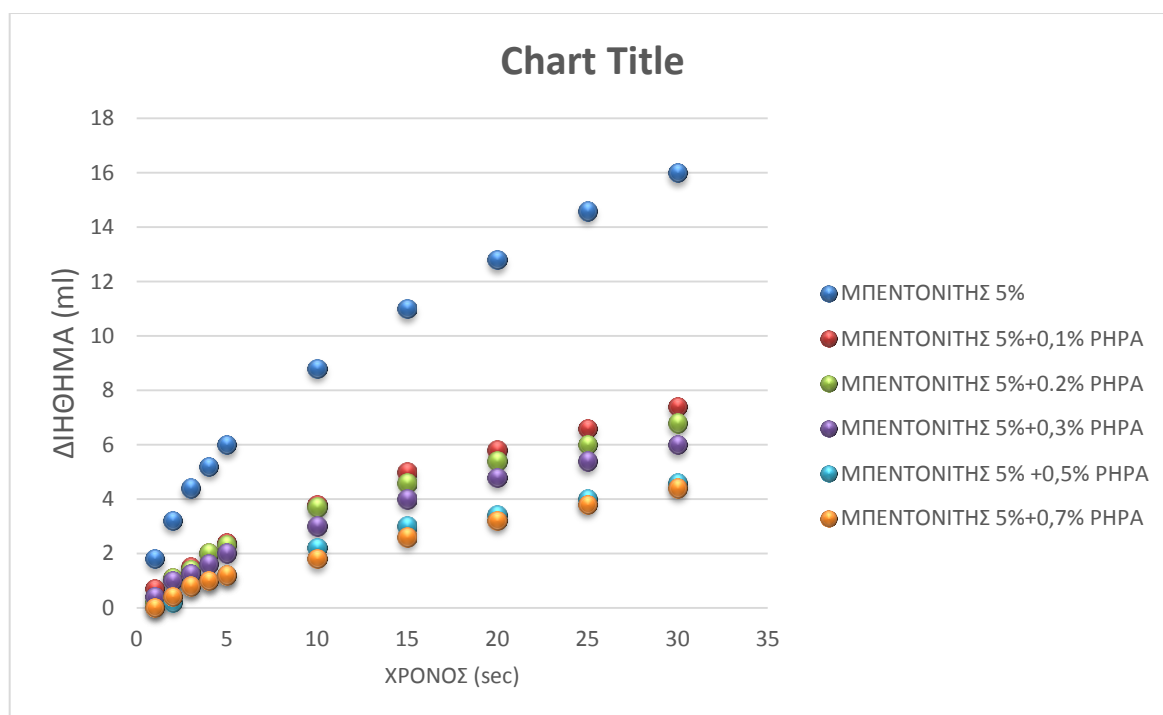


Διάγραμμα 13: Αποτελέσματα fluid loss (ml) συναρτήσει του χρόνου για όλες τις μετρήσεις 4% bentonite+PHPA

➤ Για μπεντονίτη 5%

% ΡΗΡΑ	α	R^2
0	2,835	0,9877
0,1	1,261	0,9606
0,2	1,167	0,9556
0,3	1,026	0,9584
0,5	0,742	0,9016
0,7	0,694	0,9071

Πίνακας 14: Μπεντονίτης 5%



Διάγραμμα 14: Διήθημα συναρτήσει του χρόνου για όλες τις μετρήσεις 5% bentonite+PHPA

Από τους προηγούμενους πίνακες στους οποίους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνεται ότι όλα τα δείγματα ακολουθούν την Εξίσωση 6 με πολύ καλή συσχέτιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την παρούσα μελέτη προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Σε όλα τα δείγματα που περιέχουν πολυμερές και μπεντονίτη παρατηρείται μείωση της τάσης διολίσθησης με την αύξηση της συγκέντρωσης του πολυμερούς. Συνδυασμός μικρής ποσότητας μπεντονίτη και μεγάλης ποσότητας πολυμερούς έχει ως αποτέλεσμα μηδενισμού της τάσης διολίσθησης. Για τον λόγο αυτό, ορισμένα δείγματα περιγράφονται με το ρεολογικό μοντέλο Power Law ενώ τα υπόλοιπα στα οποία η τάση δεν είναι μηδενική περιγράφονται από το μοντέλο Herschel Bulkley. Επίσης η προσθήκη πολυμερούς στα δείγματα του μπεντονίτη προκαλεί αύξηση του συντελεστή συνάφειας.

Τα δείγματα που περιέχουν μόνο PHPA σε χαμηλές συγκεντρώσεις δεν παρουσιάζουν αρχική τάση διολίσθησης τ_y . Αυξάνοντας την συγκέντρωση του πολυμερούς αυξάνεται και η τάση διολίσθησης. Χαρακτηριστικά ενώ για συγκέντρωση 0.5% PHPA η τάση διολίσθησης είναι 1 Pa σε συγκέντρωση 0.7% η τάση διολίσθησης επταπλασιάζεται.

Σχετικά με τη διήθηση, αρχικά έγινε προσπάθεια μέτρησης του διηθήματος στα δείγματα που περιείχαν μόνο πολυμερές. Επίσης σε μετρήσεις διήθησης για 0% μπεντονίτη και 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.5% και 0.7% PHPA, δεν δημιουργήθηκε filter cake. Επομένως χωρίς μπεντονίτη, η ανάπτυξη του filter cake ήταν αδύνατη με αποτέλεσμα η διήθηση να παρουσιάζει ροή ρευστού και να μην έχουμε αποτέλεσμα. Σε κανένα από αυτά τα δείγματα δεν παρατηρήθηκε δημιουργία filter cake οπότε ήταν αδύνατη η λήψη μετρήσεων - γρήγορη ροή-. Όσον αφορά τα δείγματα που περιείχαν μπεντονίτη, σε χαμηλές συγκεντρώσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερους του επιτρεπτού όγκους διηθήματος. Προσθήκη μικρής ποσότητας πολυμερούς στα δείγματα προκαλεί μείωση του διηθήματος. Αυτό σημαίνει πως δεν έχουμε γρήγορη ροή επομένως έχουμε έναν καλά ενυδατωμένο πολφό και κατ'επέκταση έχουμε καλό filter cake.

Η προσθήκη KCl στον πολφό έχει ως αποτέλεσμα, τη συμπίεση της διάχυτης διπλής στιβάδας και την ιοντοανταλλαγή νατρίου από κάλιο καταλήγοντας έτσι στη συσσωμάτωση των φυλλαρίων του σμεκτίτη και στη μείωση του ιξώδους και της τάσης διολίσθησης. Και σε αυτή την περίπτωση η προσθήκη του PHPA προκάλεσε αύξηση του

συντελεστή συνάφειας. Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι το KCl περιόρισε τις διογκωτικές τάσεις του μπεντονίτη και μείωσε τις ρεολογικές τιμές δραστικά .

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου πολφού είναι:

- Υψηλή δύναμη παραγωγής (yield strenght).
- Βελτίωση της σταθερότητας του πηγαδιού.
- Μειωμένη απώλεια πίεσης .

Η προσθήκη πρώτα του KCL, έπειτα μπεντονίτη με νερό και PHPA ,μετά την ανάμειξη, δημιούργησε ανομοιογενές μείγμα το οποίο παρέμενε αιωρούμενο μέσα στο νερό της σειράς ανάμειξης δηλαδή πρώτα μπεντονίτης με PHPA έπειτα δέκα λεπτά ανάδευση και τέλος προσθήκη KCl και ανάδευση ξανά οδήγησε σε ομοιογενές μείγμα στο οποίο ήταν εφικτή η μέτρηση ιξώδους και διήθησης. Έτσι λοιπόν καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι πρέπει να γίνεται σωστή η σειρά την ανάμειξης ώστε να έχουμε κάποιο αποτέλεσμα.

Προτάσεις:

- Να πραγματοποιηθούν περισσότερες δοκιμές σε ενδιάμεσες συγκεντρώσεις από 0.05% - 0.6% PHPA w/v.
- Να χρησιμοποιηθούν και άλλα πρόσθετα πολυμερή στις δοκιμές πειραμάτων με PHPA.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

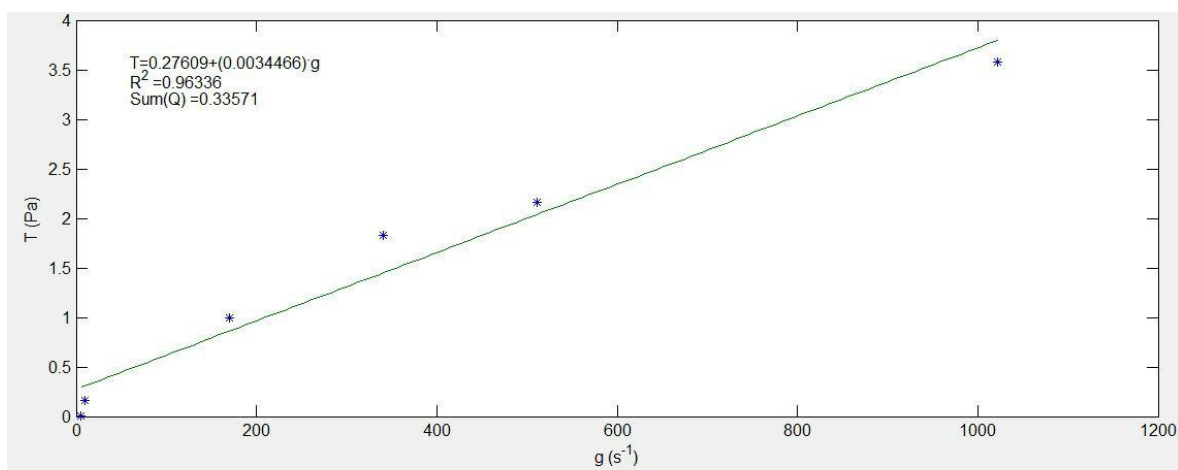
Στο παράρτημα αυτό παραθέτουμε τους πίνακες Ρεογραμμάτων αιωρημάτων (ρυθμό διάτμησης– διατμητική τάση) με τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα. Έπειτα ακολουθούν όλα τα διαγράμματα Shear Rate - Shear Stress (ρυθμό διάτμησης– διατμητική τάση). Έπειτα ακολουθούν όλα τα διαγράμματα που προκύπτουν από όλα τα μοντέλα (Bingham Plastic, Power Law, Herschel-Bulkley και Herschel- Bulkley Gold) για κάθε συγκέντρωση μπεντονίτη με ΡΗΡΑ.

- Πίνακες και διαγράμματα για δείγματα μόνο με ΡΗΡΑ:

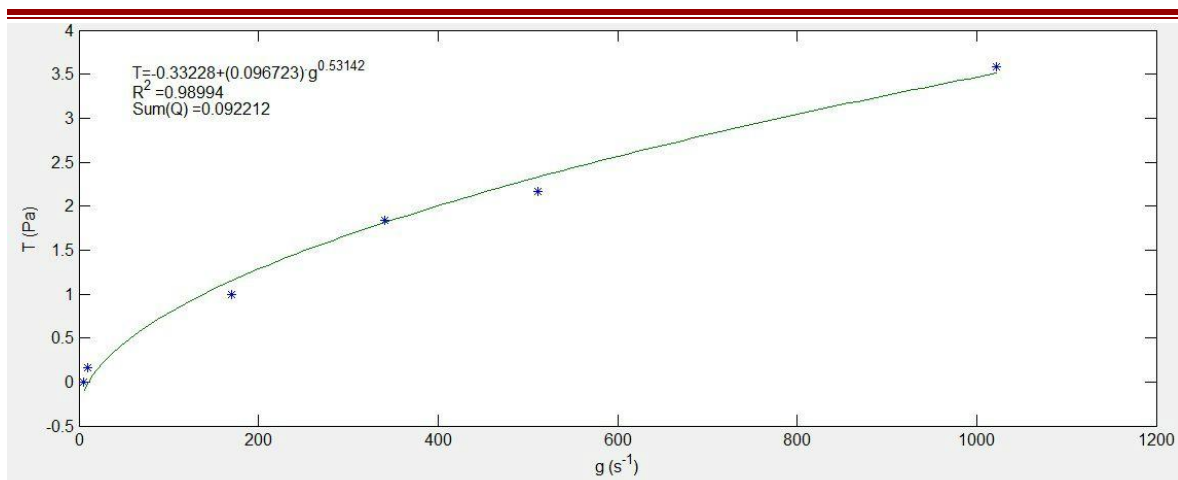
	0,05% phpa	0,1% phpa	0,2% phpa	0,3% phpa	0,5% phpa	0,7% phpa
Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)
1021,38	3	6	7	12	20,5	24,5
1021,38	3,5	6	7	12	20	36,5
1021,38	4	6	7	12	20	39
1021,38	4	6,5	7	12	20	39,5
1021,38	3,5	6	7	11,5	20	38
1021,38	3,5	6,5	7	11,5	20	37,5
510,69	2,5	4,5	5	9	15,5	27,5
510,69	2	4,5	5	9	15,5	28
510,69	2	4,5	5	9	15,5	27,5
510,69	2	4,5	5	9	15,5	27
510,69	2,5	4,5	5	8,5	15,5	27
510,69	2	4,5	5	8,5	15	27
340,46	2	3,5	4	7	13	23
340,46	1,5	3,5	4	7,5	13	23,5
340,46	2	3,5	4	7,5	13,5	23,5
340,46	2	3,5	4	7,5	13	23
340,46	2	3,5	4	7,5	13	23
340,46	1,5	3,5	4	7,5	13,5	23
170,23	1	2,5	2,5	5,5	10,5	18,5
170,23	1	2,5	2,5	5,5	10	19
170,23	1	2,5	3	5	10,5	19
170,23	1	2,5	2,5	5,5	10	19
170,23	1	2,5	2,5	5	10	19
170,23	1	2,5	2,5	5	10	19

10,2138	0	0,5	0,5	1,5	4	10,5
10,2138	0	0,5	0,5	1,5	4	10,5
10,2138	0	1	0,5	1,5	4	10,5
10,2138	0,5	0,5	0,5	2	4	10,5
10,2138	0,5	1	1	1,5	4	10,5
10,2138	0	1	0,5	2	4	10,5
5,1069	0	0,5	0,5	1,5	3,5	10,5
5,1069	0	0,5	0	1,5	3,5	9,5
5,1069	0	0	0,5	1,5	3	9,5
5,1069	0	0,5	0	1,5	3	9,5
5,1069	0	0,5	0,5	1,5	3	9
5,1069	0	0,5	0	1,5	3	9

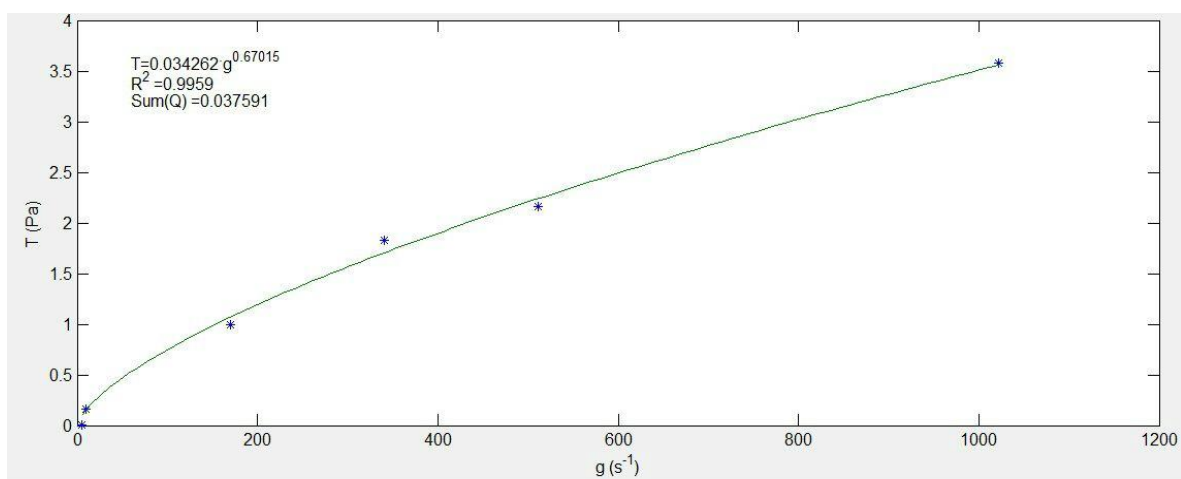
Πίνακας 15: Shear Rate - Shear Stress (ρυθμό διάτμησης– διατμητική τάση) για δείγματα μόνο με ΡΗΡΑ.

➤ **0% BENTONITE + 0.05%**

Διάγραμμα 15 :Μοντέλο Bingham Plastic για 0% BENTONITE + 0.05% PHPA

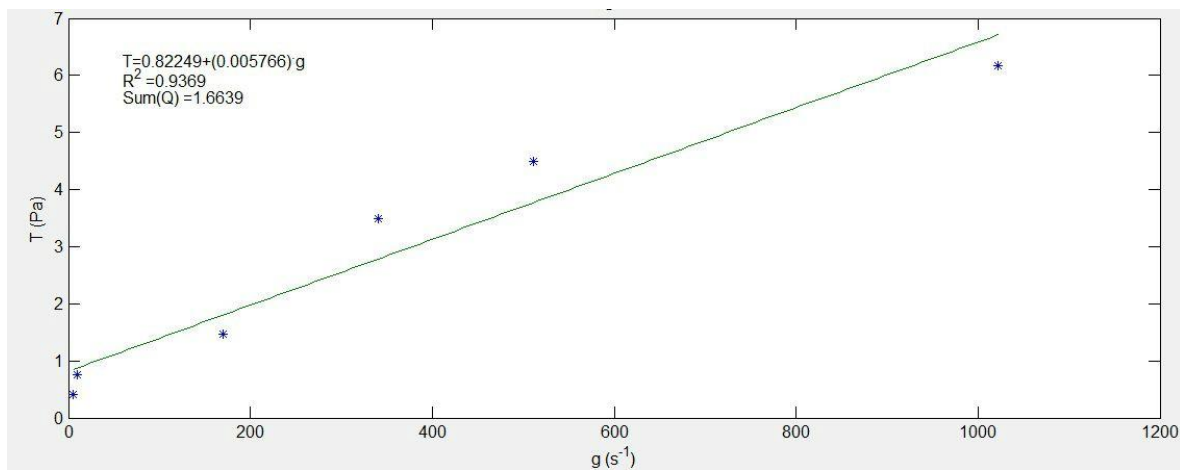


Διάγραμμα 16: : Μοντέλο Herschel-Bulkley για 0% BENTONITE + 0.05% PHPA

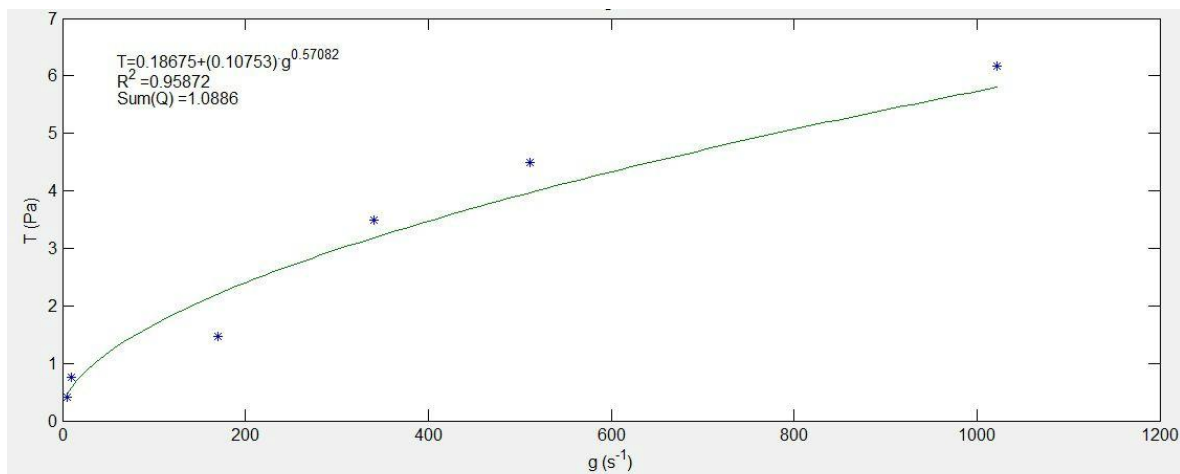


Διάγραμμα 17: Μοντέλο Power Law για 0% BENTONITE + 0.05% PHPA

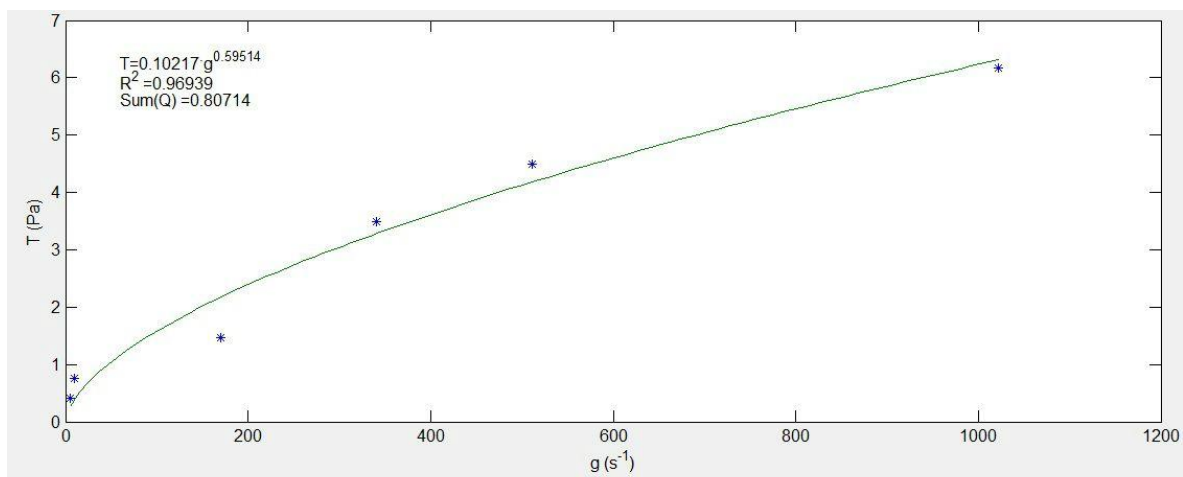
➤ 0% BENTONITE + 0.1%



Διάγραμμα 18: Μοντέλο Bingham Plastic για 0% BENTONITE + 0.1% PHPA

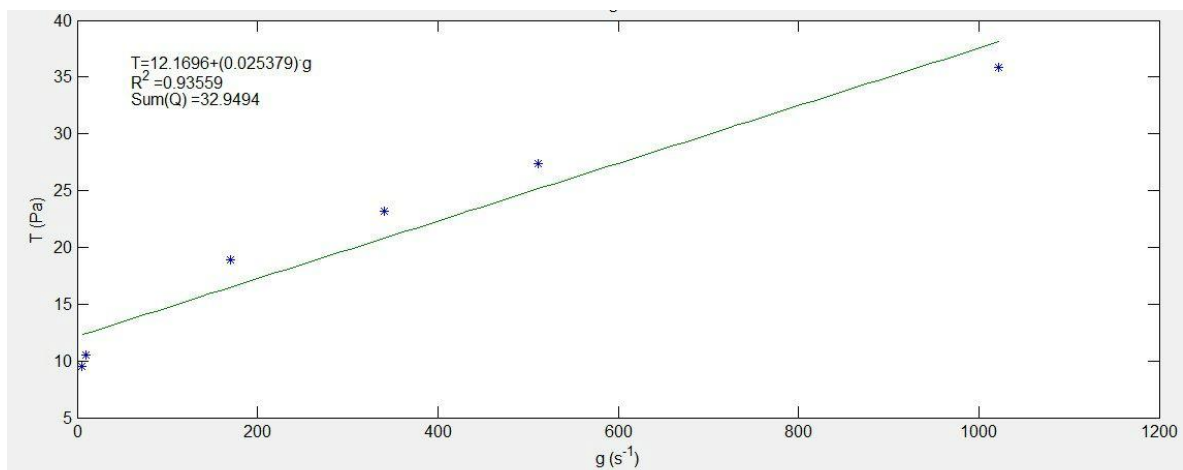


Διάγραμμα 19: Μοντέλο Herschel-Bulkley για 0% BENTONITE + 0.1% PHPA

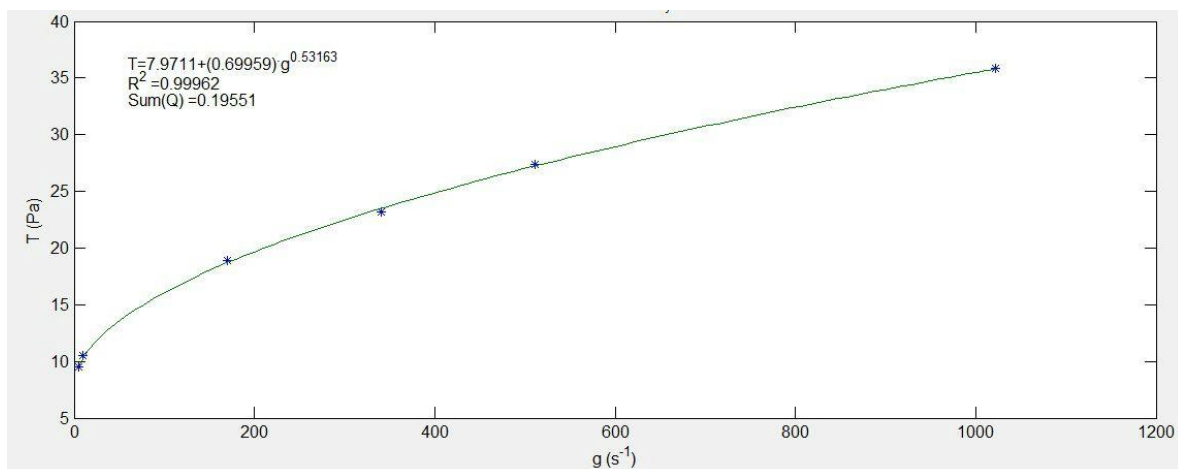


Διάγραμμα 20: Μοντέλο Power Law για 0% BENTONITE + 0.1% PHPA

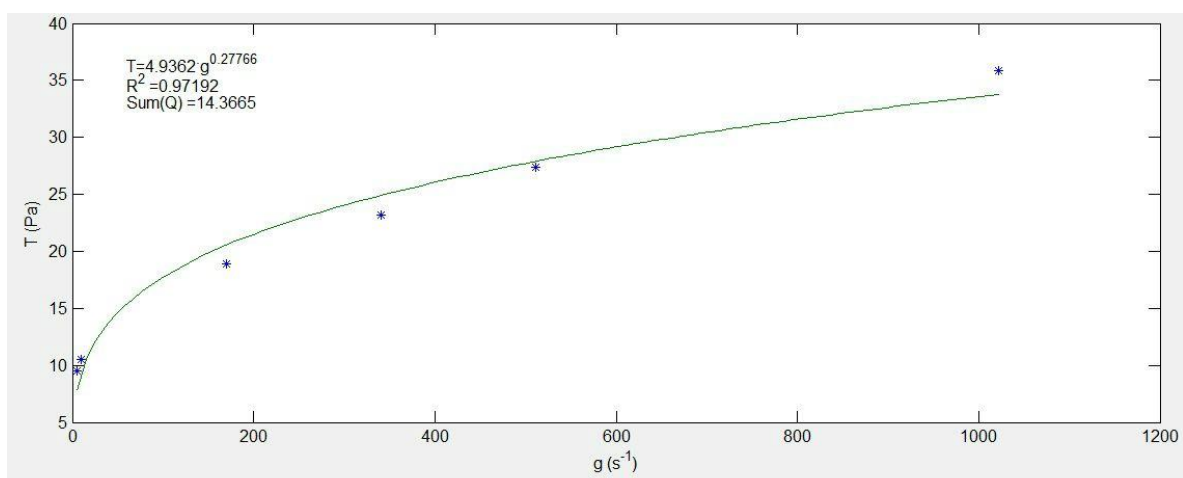
➤ **0% BENTONITE + 0.7%**



Διάγραμμα 21: Μοντέλο Bingham Plastic για 0% BENTONITE + 0.7% PHPA



Διάγραμμα 22: Μοντέλο Herschel-Bulkley για 0% BENTONITE + 0.7% PHPA



Διάγραμμα 23: Μοντέλο Power Law για 0% BENTONITE + 0.7% PHPA

- Πίνακες και διαγράμματα για 2% μπεντονίτη και PHPA:

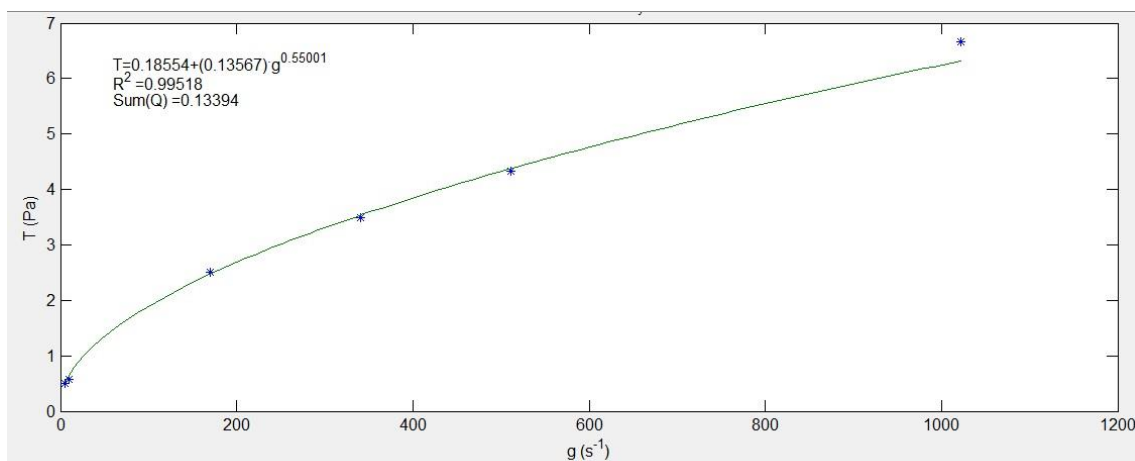
	2%bentonite+0% P HPA	2%bentonite+0.05% P HPA	2%bentonite+0.1% P HPA	2%bentonite+0.3% P HPA	2%bentonite+0.5% P HPA	2%bentonite+0.7% P HPA
Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)
1021,38	7	6,5	7	17	28	35,5
1021,38	7	6,5	7,5	16,5	27	34,5
1021,38	7	6,5	7,5	16,5	27	34,5
1021,38	6,5	6,5	7,5	16,5	27	34
1021,38	7	7	8	17	27	34
1021,38	7	7	8	17	27	34,5
510,69	5	4	5	11,5	19,5	26
510,69	5	4	5	11,5	19	26
510,69	5	4,5	5	11,5	19,5	26
510,69	5	4,5	5	12	19,5	26
510,69	5	4,5	5	12	19,5	26

510,6 9	5	4,5	5	12	19,5	25,5
340,4 6	4	3,5	4	9,5	16	21,5
340,4 6	4	3,5	4	9,5	16	21,5
340,4 6	4	3,5	4	9,5	16	21,5
340,4 6	4	3,5	4	9,5	16	22
340,4 6	4	3,5	3,5	9,5	16	21,5
340,4 6	4	3,5	4	9,5	16,5	22
170,2 3	3	2,5	2,5	6,5	11,5	16,5
170,2 3	3	2,5	2	6,5	11,5	16
170,2 3	3	2,5	2	6,5	11,5	16,5
170,2 3	3	2,5	2,5	6,5	11,5	16,5
170,2 3	2,5	2,5	2,5	6,5	11,5	16,5
170,2 3	3	2,5	2	6,5	11,5	16,5
10,21 38	1,5	0,5	0,5	1	2	4,5
10,21 38	1,5	1	0,5	1	2	4
10,21	1	0,5	0,5	1	2	4

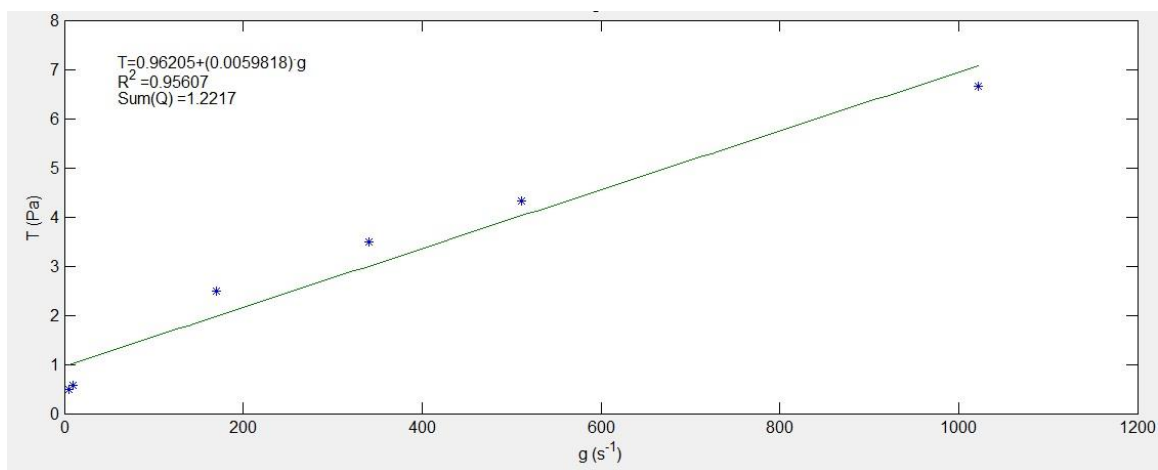
38						
10,21	1,5	0,5	0,5	1	2,5	4,5
38						
10,21	1	0,5	0,5	1	2	4,5
38						
10,21	1,5	0,5	0	1	2,5	4,5
38						
5,106	1	0,5	0,5	0,5	1,5	3
9						
5,106	1	0,5	0,5	0,5	1,5	3
9						
5,106	1	0,5	0,5	0,5	1,5	2,5
9						
5,106	1	0,5	0,5	0,5	1,5	3
9						
5,106	1	0,5	0,5	1	1,5	2,5
9						
5,106	1	0,5	0,5	1	1,5	3
9						

Πίνακας 16: Shear Rate-Shear Stress για 2% μπεντονίτη και ΡΗΡΑ

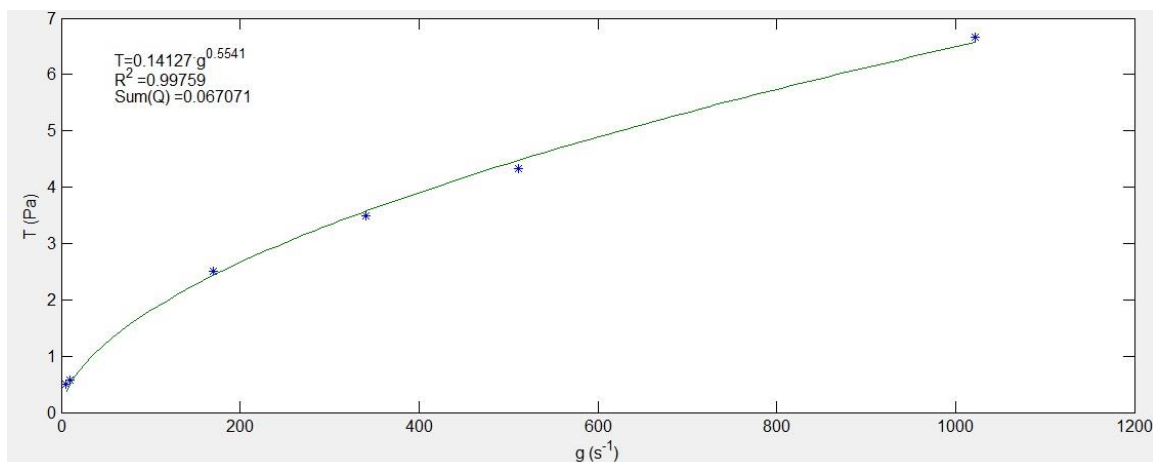
➤ 2% bentonite+0.05%



Διάγραμμα 24 : Μοντέλο Herschel-Bulkley

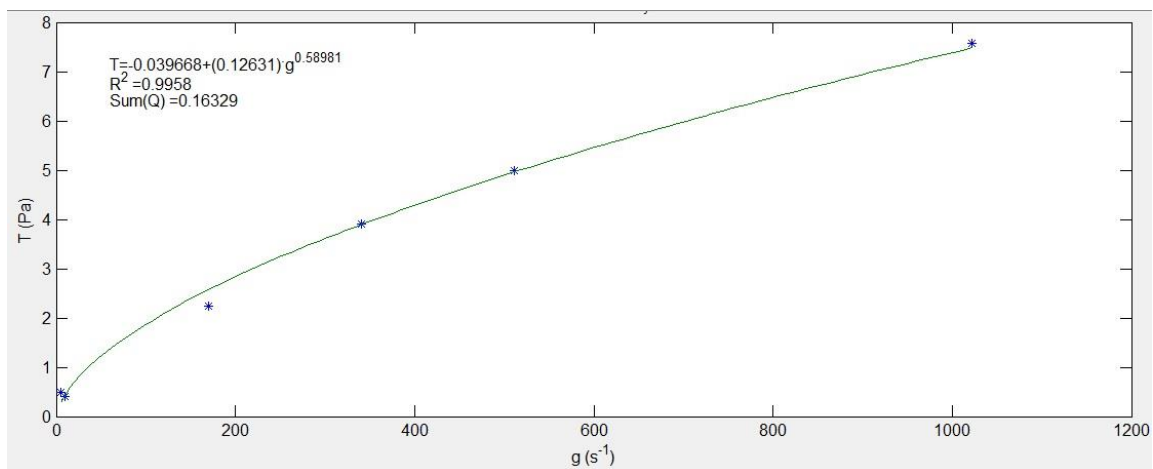


Διάγραμμα 25: Μοντέλο Bingham Plastic

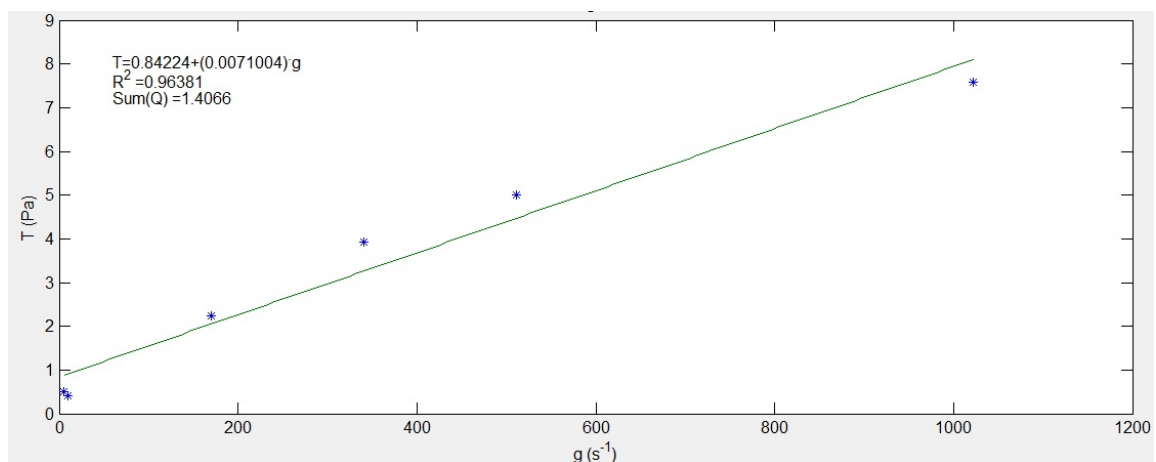


Διάγραμμα 26: Μοντέλο Power Low

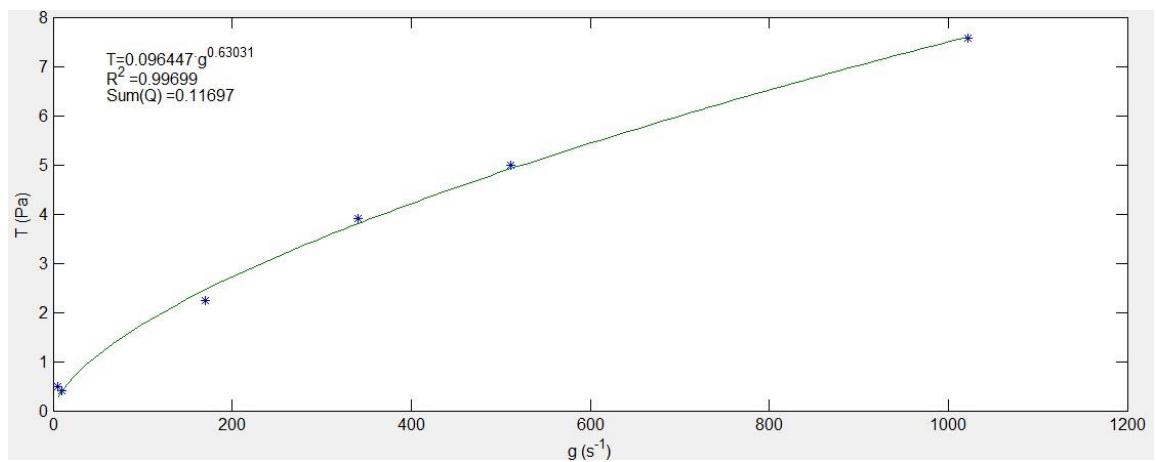
➤ 2% bentonite+0.1% PHPA



Διάγραμμα 27: Μοντέλο Herschel-Bulkley



Διάγραμμα 28: Μοντέλο Bingham Plastic



Διάγραμμα 29: Μοντέλο Power Law

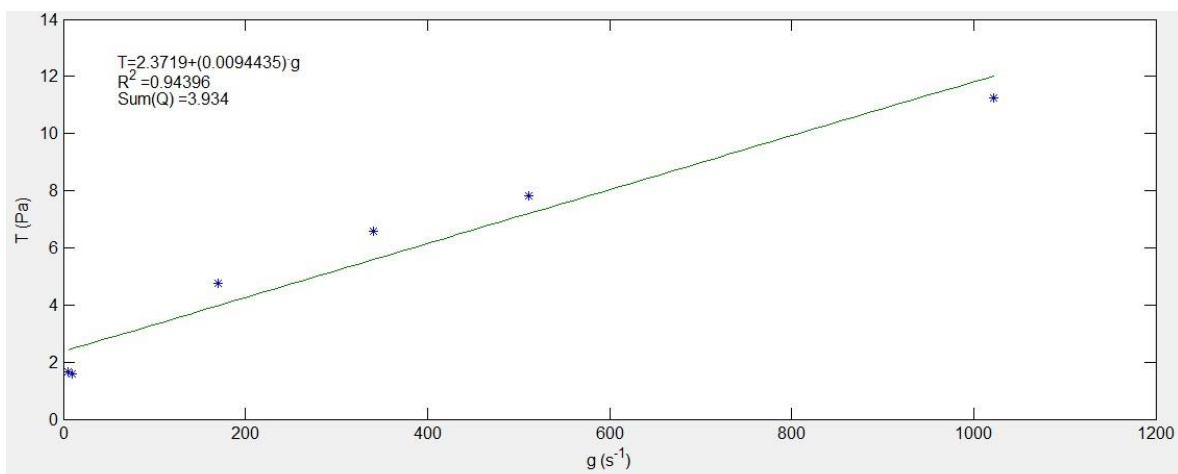
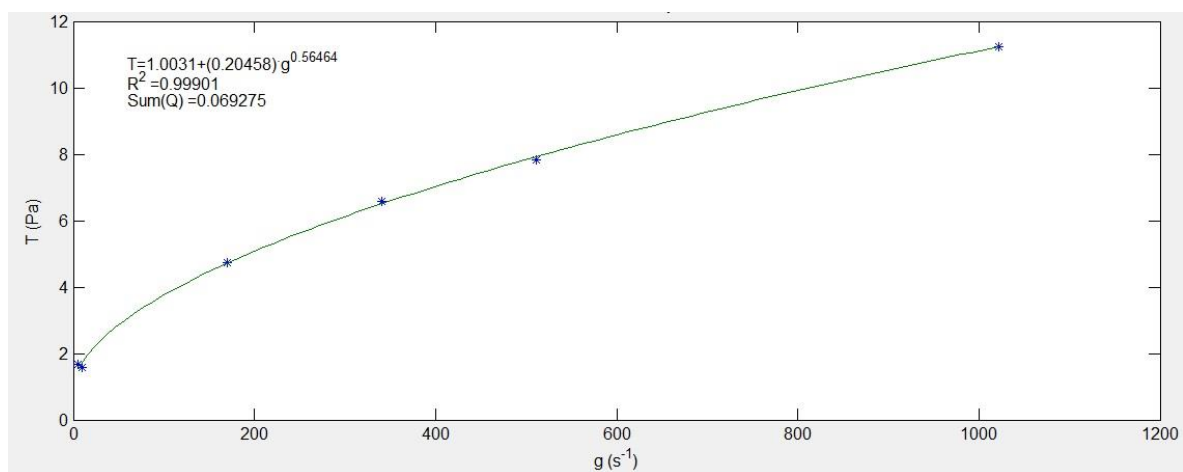
- Πίνακες και διαγράμματα για 3% μπεντονίτη και ΡΗΡΑ:

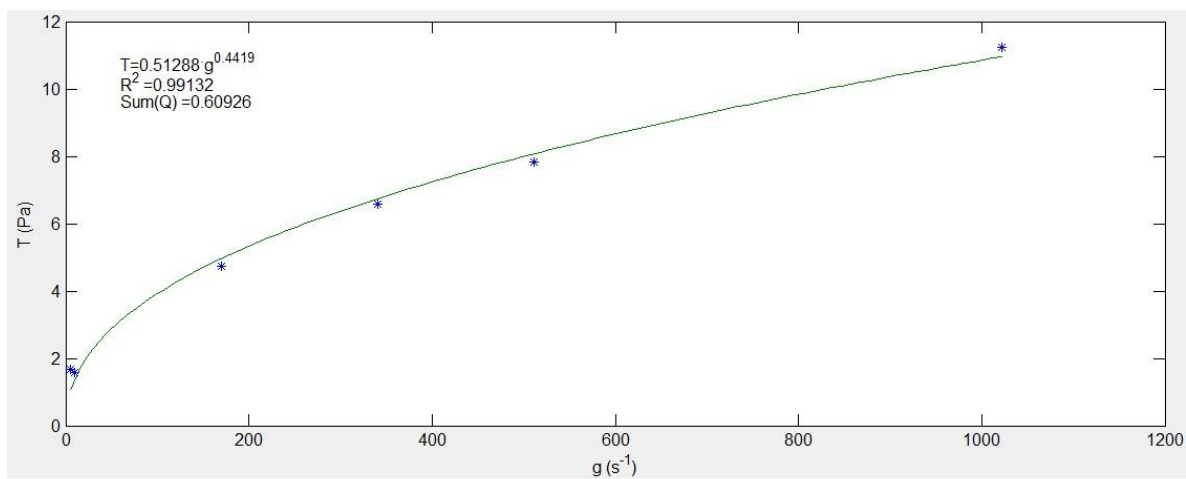
	3% bentonite+0.05% phpa	3% bentonite+0.1% phpa	3% bentonite+0.3% phpa	3% bentonite+0.5% phpa	3% bentonite+0.7% phpa
Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)
1021,38	11,5	15	23	29,5	45,5
1021,38	11,5	15	22,5	29	45
1021,38	11	15,5	22	28,5	45
1021,38	11	15,5	22	28,5	44,5
1021,38	11	15,5	22,5	29	44,5
1021,38	11,5	15,5	22,5	29	44,5
510,69	7,5	10	15,5	20,5	33,5
510,69	7,5	10,5	15,5	21	33,5
510,69	8	10,5	16	21	33,5
510,69	8	10,5	16	21	33,5

510, 69	8	11	16	21	33
510, 69	8	11	16	21	33,5
340, 46	6,5	8,5	13	17,5	28
340, 46	6,5	8,5	13,5	17,5	28
340, 46	6,5	9	13	17,5	28,5
340, 46	6,5	9	13	17,5	28
340, 46	6,5	9	13,5	17,5	28,5
340, 46	7	9	13	17,5	28,5
170, 23	4,5	6	9	12,5	21
170, 23	4,5	6	9,5	12,5	21
170, 23	5	6	9,5	13	21,5
170, 23	4,5	6,5	9,5	12,5	21,5
170, 23	5	6	9,5	12,5	21
170, 23	5	6	9,5	12,5	21,5
10,2 138	1	1,5	2	3	5,5
10,2	1,5	1,5	2	3	6

138					
10,2	2	1,5	1,5	3	6
138					
10,2	1,5	1,5	2	3	6
138					
10,2	2	1	2	3	6
138					
10,2	1,5	1	2	3	6
138					
5,10	1,5	1	1	2,5	4
69					
5,10	1,5	1	1,5	2,5	4
69					
5,10	2	1	1,5	2,5	4
69					
5,10	1,5	1	1,5	2	4
69					
5,10	1,5	1	1,5	2,5	4
69					
5,10	2	1	1,5	2,5	4
69					

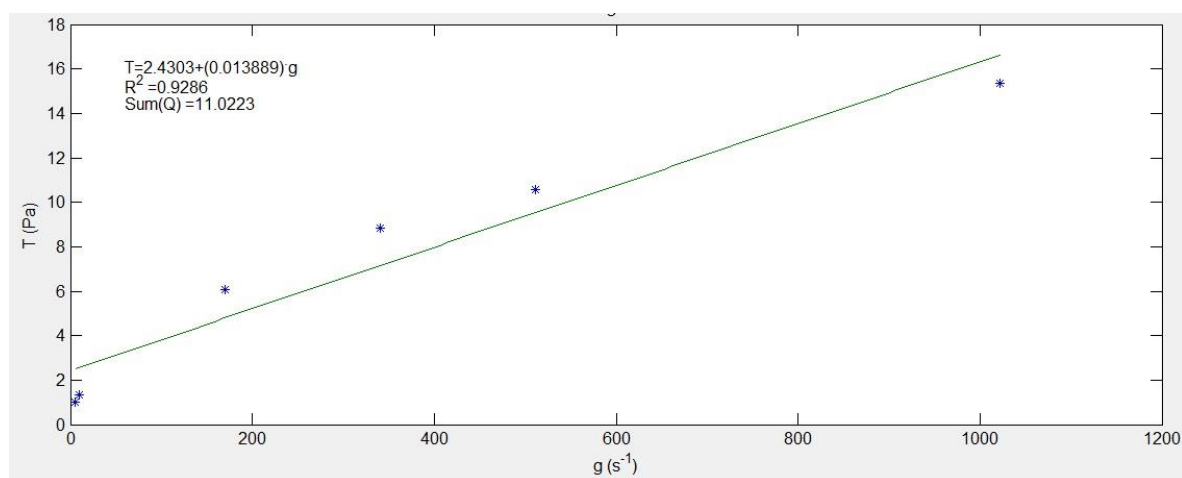
Πίνακας 17:Shear Rate-Shear Stress για 3% μπεντονίτη και ΡΗΡΑ

➤ **3% Bentonite και 0.05% PHPA****Διάγραμμα 30: Μοντέλο Bingham Plastic****Διάγραμμα 31: Μοντέλο Herschel-Bulkley**

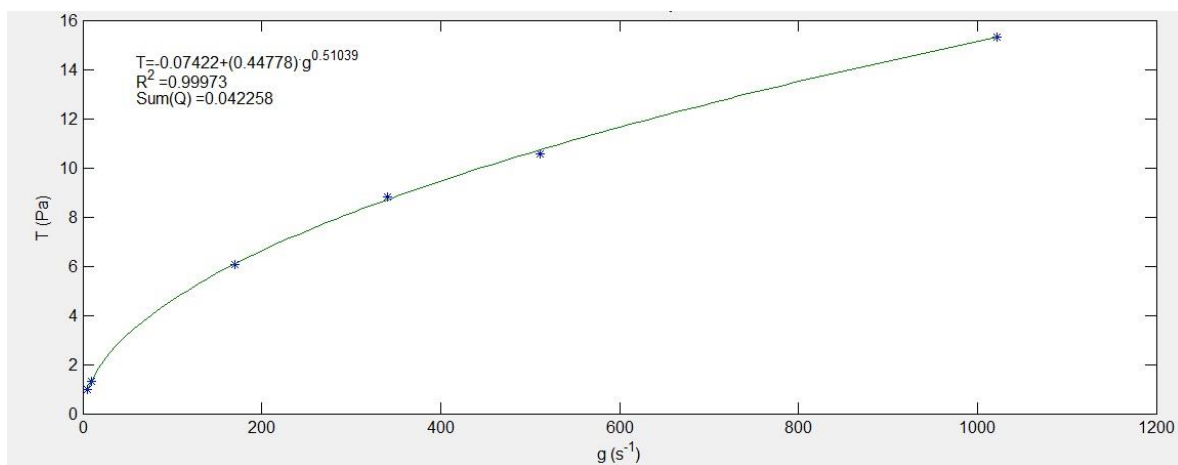


Διάγραμμα 32: Μοντέλο Power Low

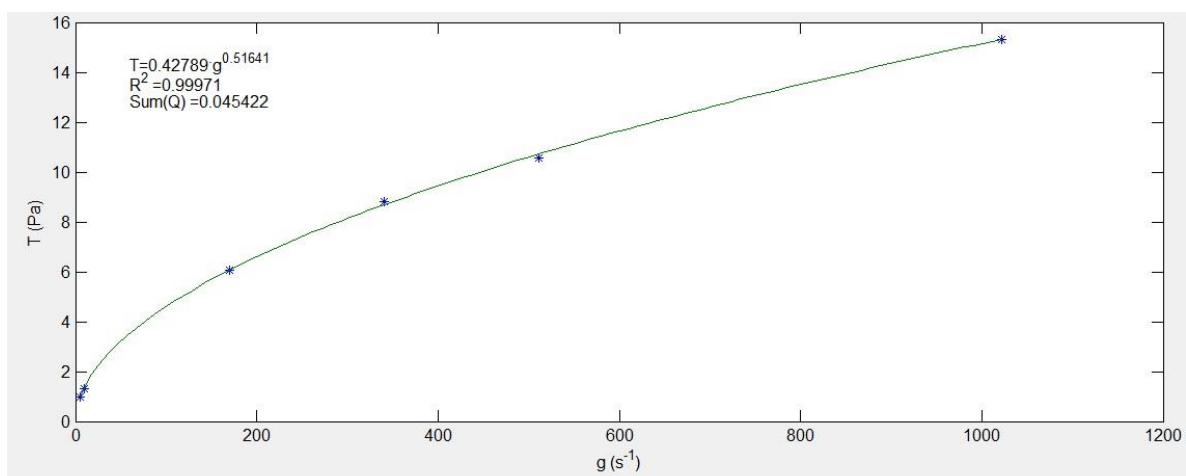
➤ 3% Bentonite και 0.1% PHPA



Διάγραμμα 33: Μοντέλο Bingham Plastic

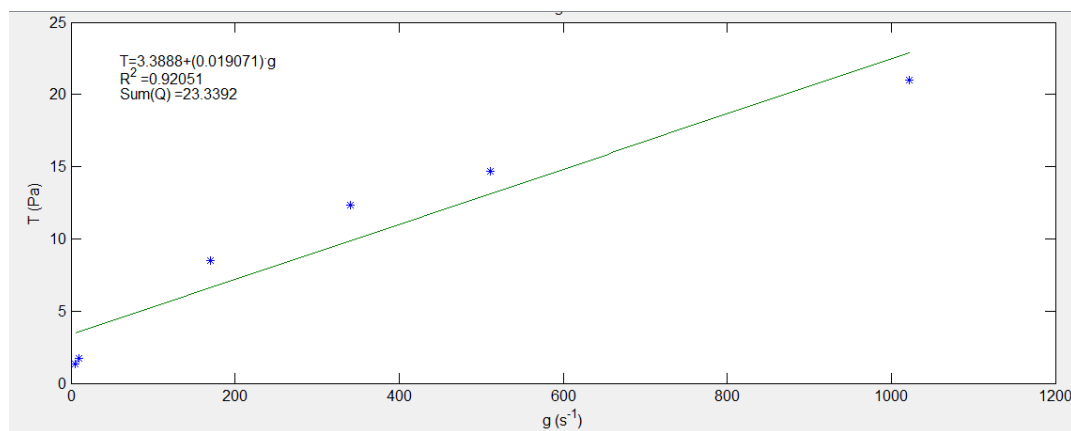


Διάγραμμα 34: Μοντέλο Herschel- Bulkley

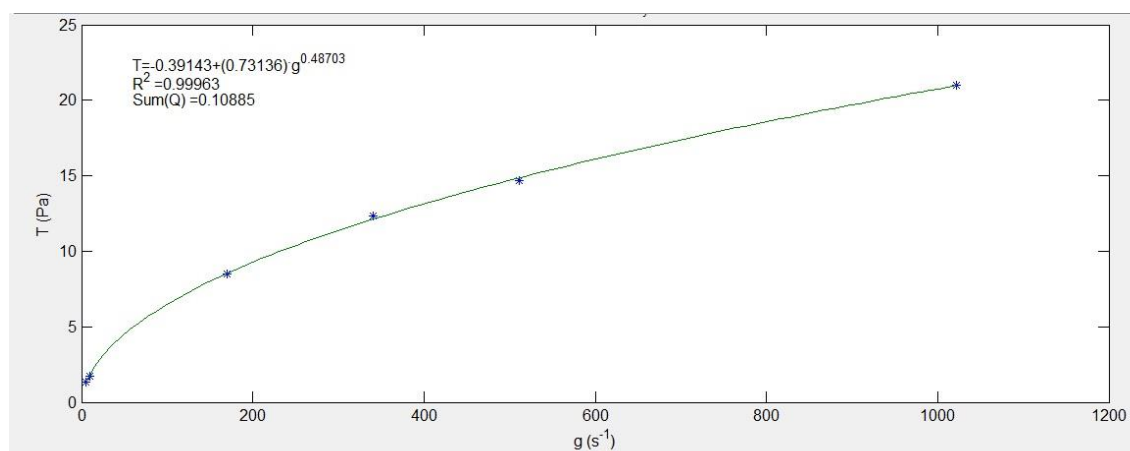


Διάγραμμα 35: Μοντέλο Power Law

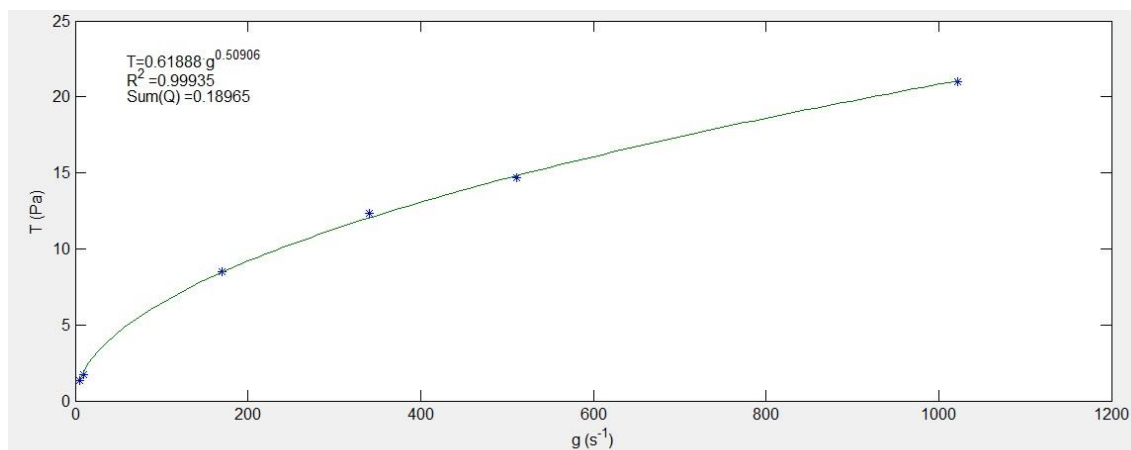
➤ 3% Bentonite και 0.3% PHPA



Διάγραμμα 36: Μοντέλο Bingham Plastic

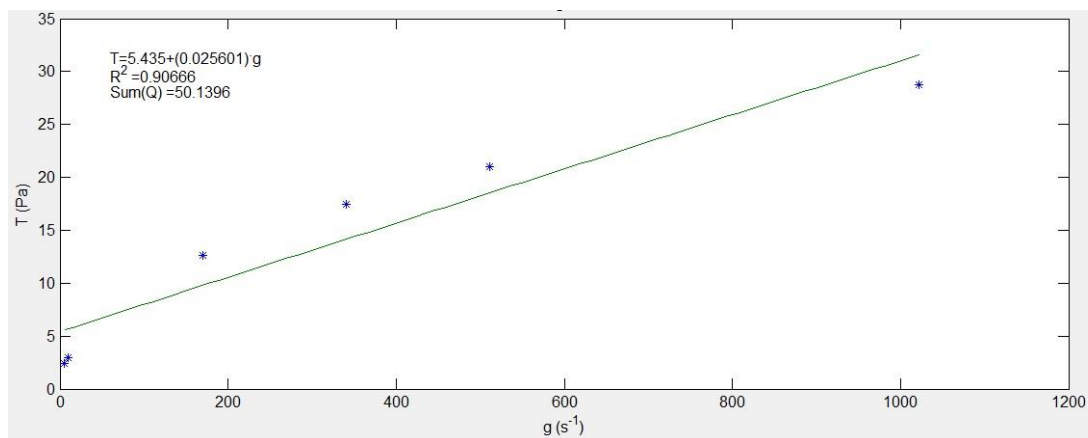


Διάγραμμα 37: Μοντέλο Herschel- Bulkley

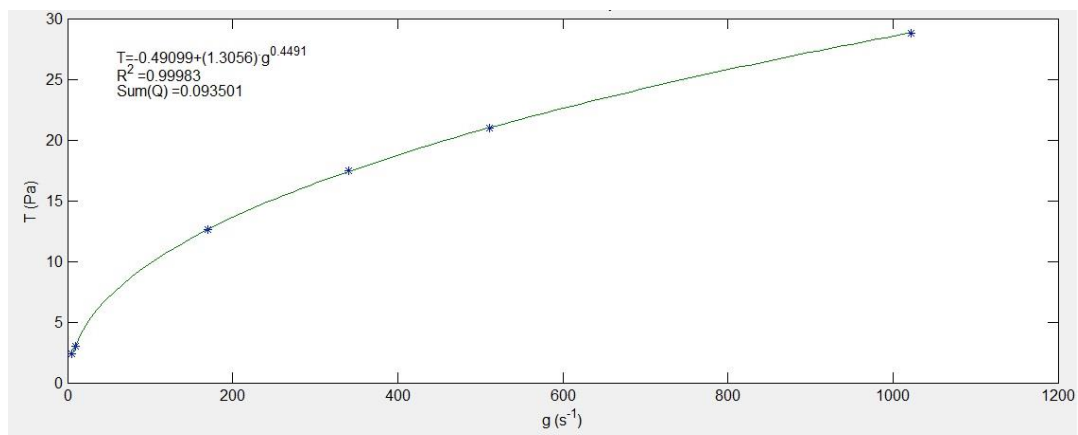


Διάγραμμα 38: Μοντέλο Power Law

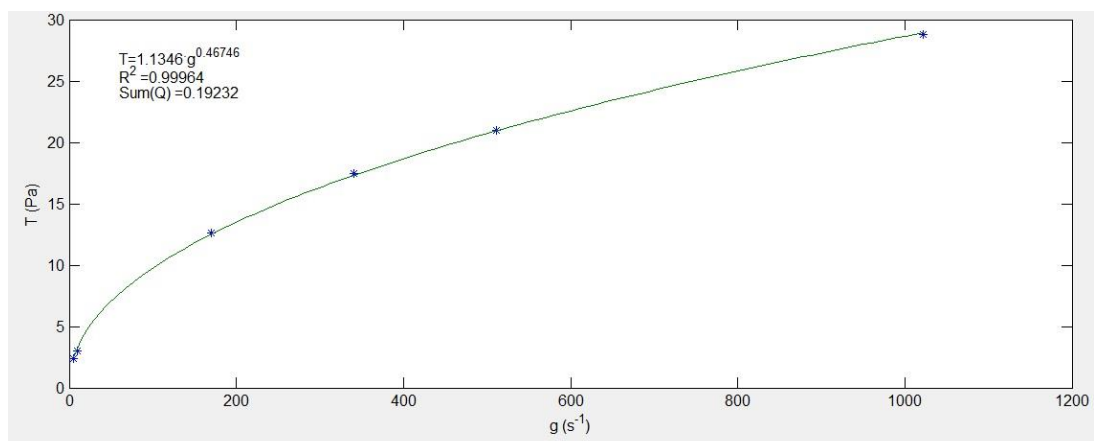
➤ 3% Bentonite και 0.5% PHPA



Διάγραμμα 39: Μοντέλο Bingham Plastic



Διάγραμμα 40: Μοντέλο Herschel- Bulkley



Διάγραμμα 41: Μοντέλο Power Law

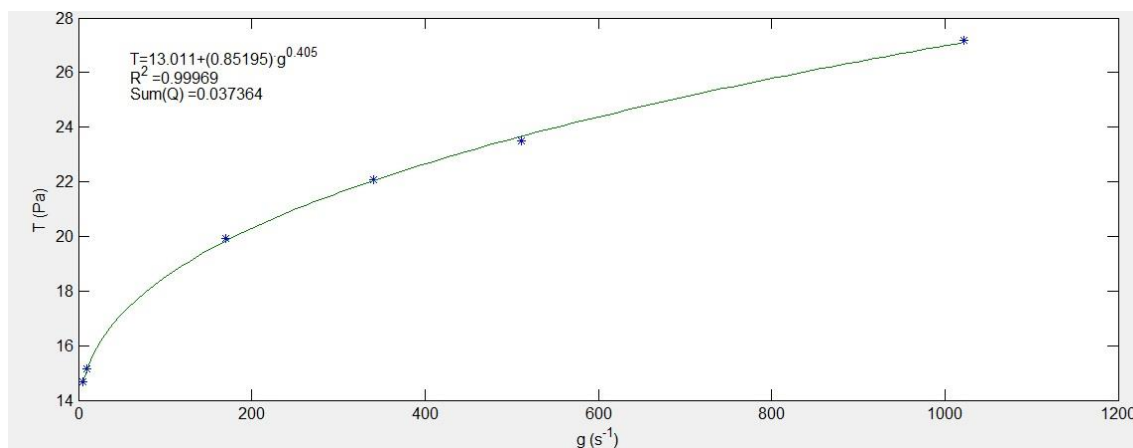
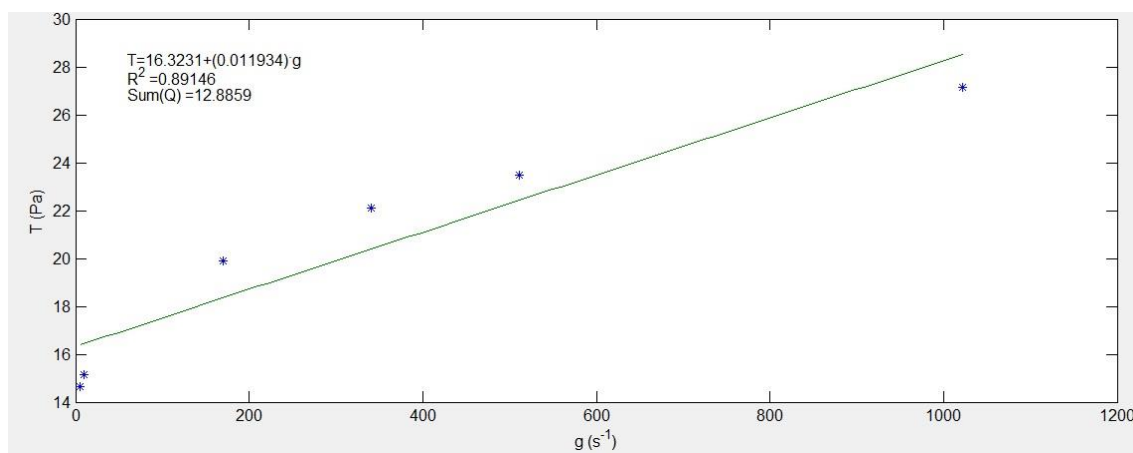
- Πίνακες και διαγράμματα για 4% μπεντονίτη και PHPA:

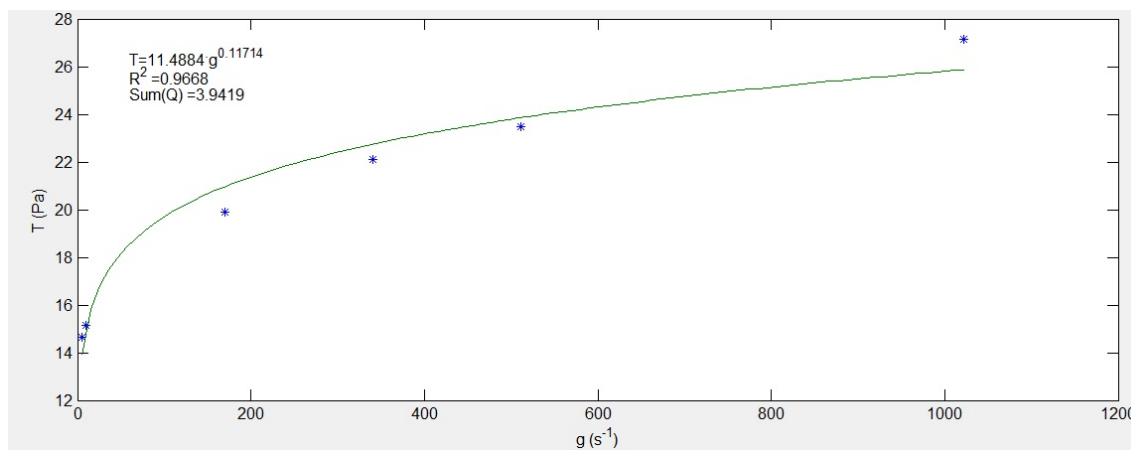
	4%bentonite+0% PHPA	4%bentonite+0.05% PHPA	4%bentonite+0.1% PHPA	4%bentonite+0.2% PHPA	4%bentonite+0.3% PHPA	4%bentonite+0.5% PHPA	4%bentonite+0.7% PHPA
Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)
102,1,38	28	26,5	25,5	25,993	32	38,5	53,5
102,1,38	27	25	24	24,993	31,5	37,5	52
102,1,38	27	24,5	24	25,493	32	37,5	52
102,1,38	27	25	24,5	25,993	31,5	38	52
102,1,38	27	25	24,5	25,493	32	38	52
102,1,38	27	25,5	24,5	25,993	31,5	38	52
510,69	23,5	19	17,5	17,495	22	26,5	38,5
510,69	23,5	19	18	17,495	22	26	39
510,69	23,5	19	18	17,995	22	26,5	39

69							
510,	23,5	19,5	18	17,995	22	26,5	39
69							
510,	23,5	19,5	18,5	17,995	22,5	26,5	39
69							
510,	23,5	19,5	18,5	17,995	22,5	26,5	39
69							
340,	22	17	15,5	14,496	18	21,5	33
46							
340,	22	16,5	15,5	14,496	18	21,5	33
46							
340,	22	17	15,5	14,996	18,5	21,5	33
46							
340,	22	17	15,5	14,996	18,5	21,5	33
46							
340,	22	17	15,5	14,996	18,5	21,5	33
46							
340,	22,5	17	15,5	14,996	18,5	21,5	33
46							
170,	19,5	13	11,5	9,997	12,5	15	25
23							
170,	20	13,5	11,5	9,997	12,5	14,5	25
23							
170,	20	13,5	12	10,497	13	15	25
23							
170,	20	13,5	11,5	9,997	13	15	25,5
23							
170,	20	13,5	11,5	10,497	13	15	25
23							
170,	20	13,5	12	10,497	13	15	25
23							

10,2 138	14,5	6	4	1,999	2,5	3,5	7
10,2 138	15,5	7,5	5	2,499	3,5	3	7
10,2 138	15	8	5	2,499	3	4	7,5
10,2 138	15	8	5,5	2,999	3	3,5	7,5
10,2 138	15,5	8	6	2,499	2,5	4	8
10,2 138	15,5	8	6	2,999	3,5	3,5	7,5
5,10 69	14,5	8	5	1,999	2	3	5,5
5,10 69	14,5	8	5,5	2,499	2,5	2,5	5,5
5,10 69	14,5	8	5,5	1,999	2,5	2,5	5,5
5,10 69	14,5	8	5,5	1,999	2	3	5,5
5,10 69	15	8	5,5	2,499	2	3	5,5
5,10 69	15	8,5	6	2,499	2,5	3	5,5

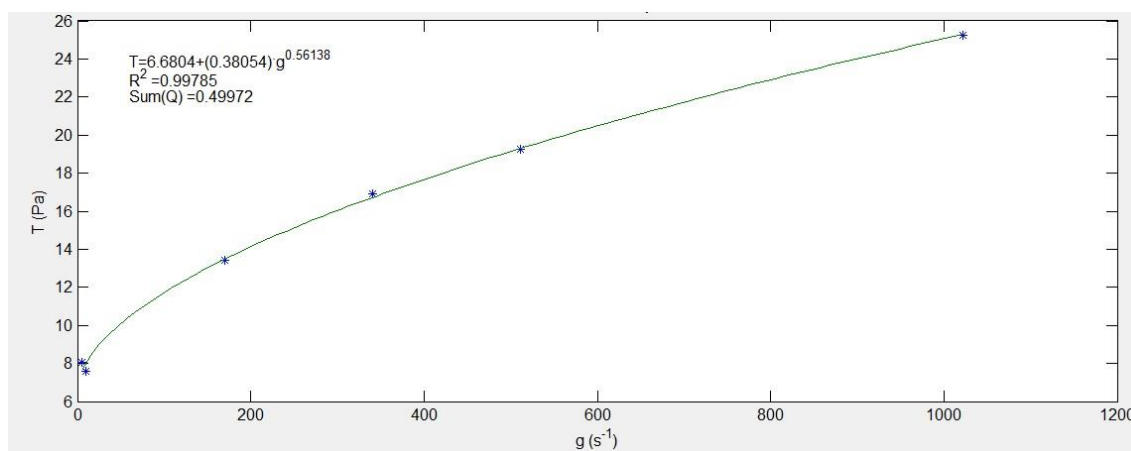
Πίνακας 18: Shear Rate-Shear Stress για 4% μπεντονίτη και ΡΗΡΑ

➤ **4% Bentonite και 0% PHPA****Διάγραμμα 42: Μοντέλο Herschel-Bulkley****Διάγραμμα 43: Μοντέλο Bingham Plastic**

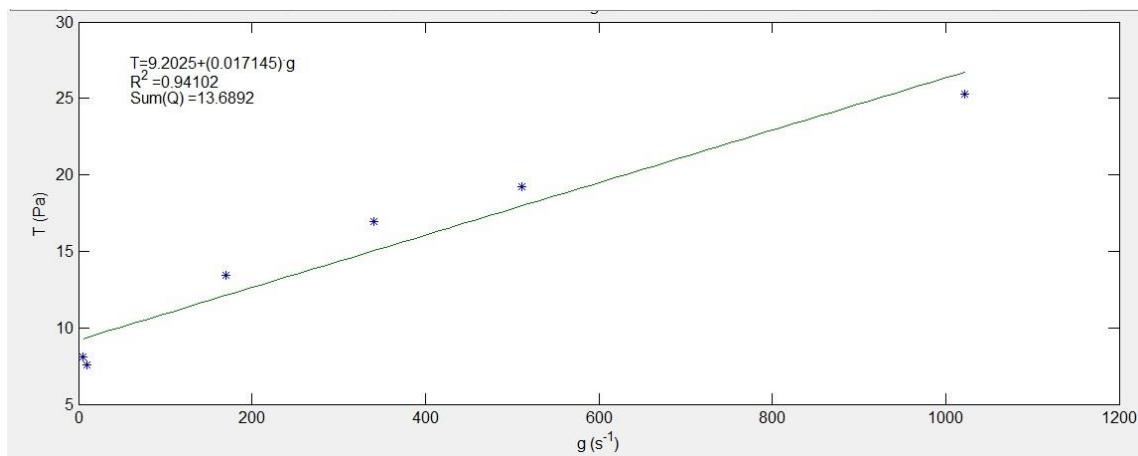


Διάγραμμα 44: Μοντέλο Power Low

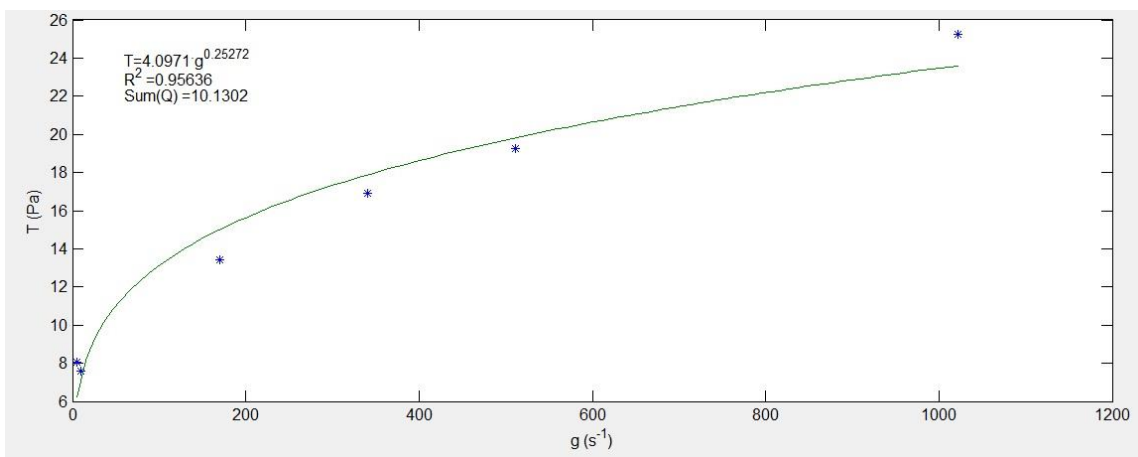
➤ **4% Bentonite+0.05% PHPA**



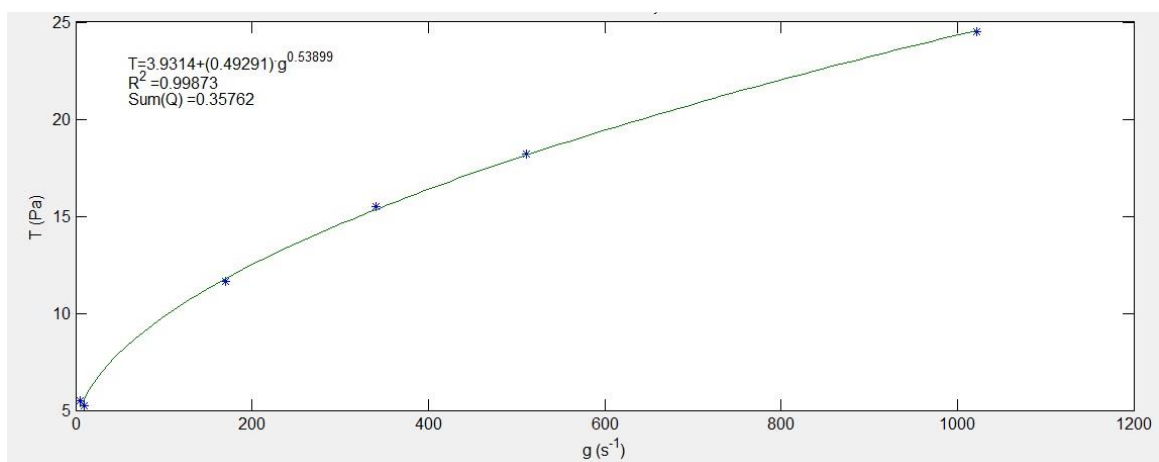
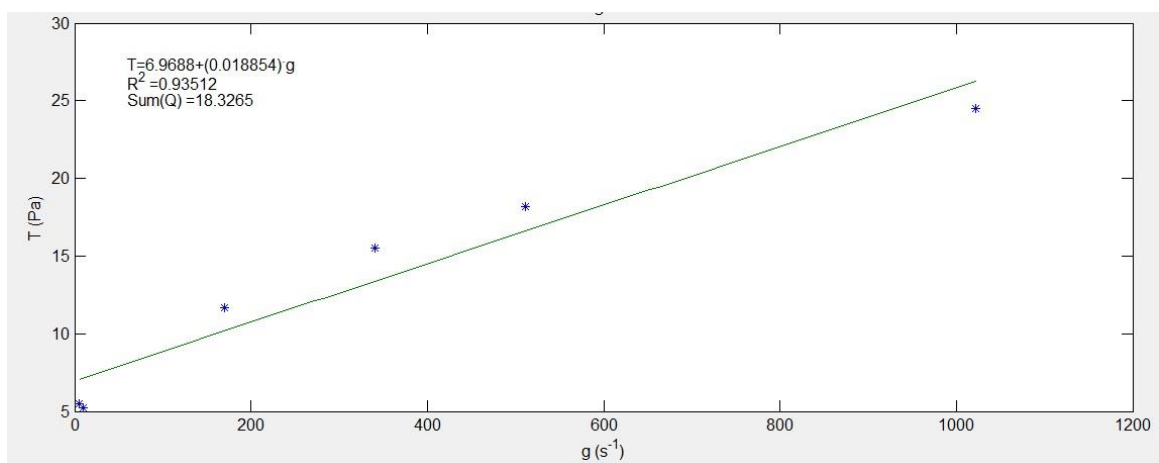
Διάγραμμα 45: Μοντέλο Herschel-Bulkley

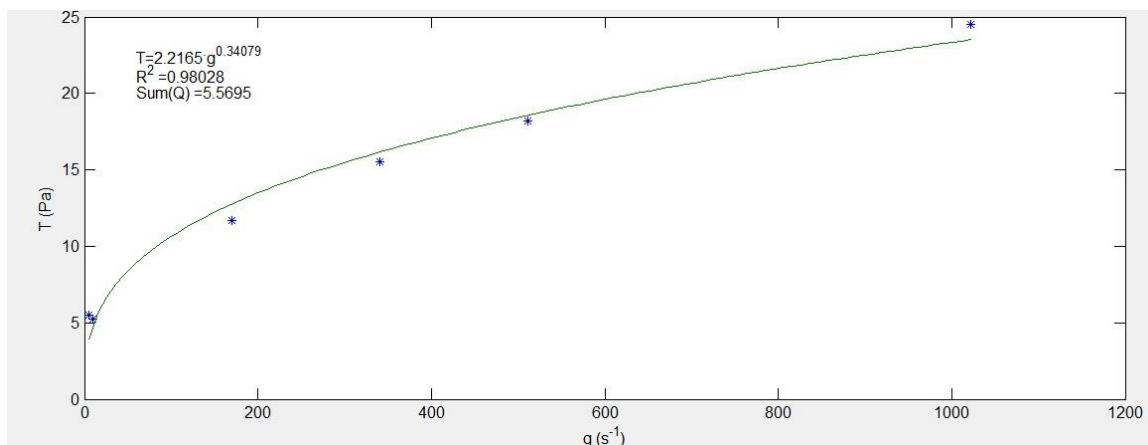


Διάγραμμα 46: Μοντέλο Bingham Plastic



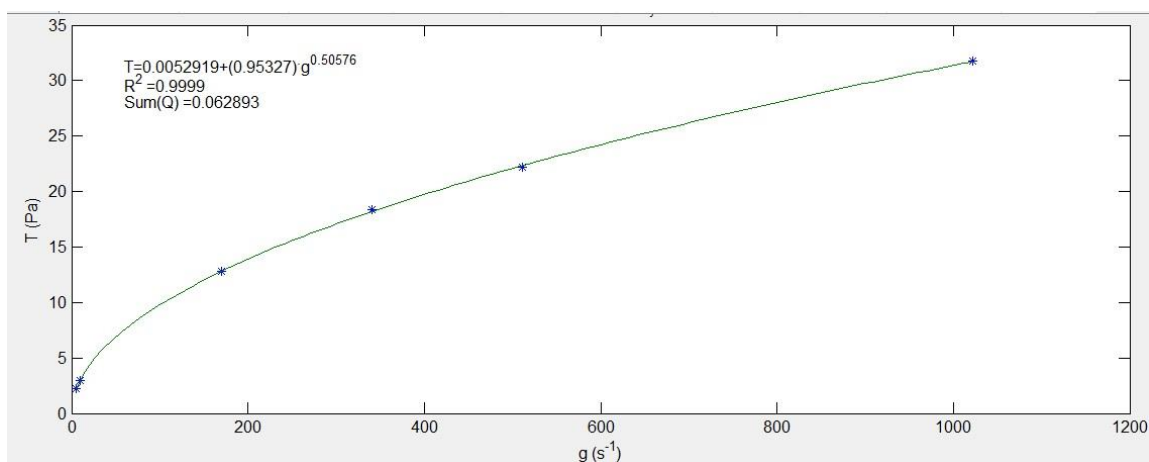
Διάγραμμα 47: Μοντέλο Power Law

➤ **4 Bentonite + 0.1% PHPA****Διάγραμμα 48: Μοντέλο Herschel-Bulkley****Διάγραμμα 49: Μοντέλο Bingham Plastic**

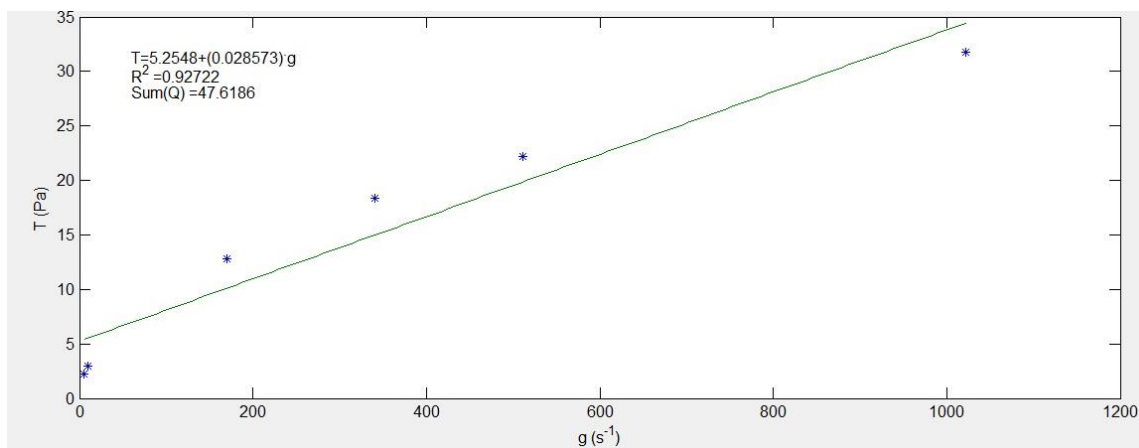


Διάγραμμα 50: Μοντέλο Power Low

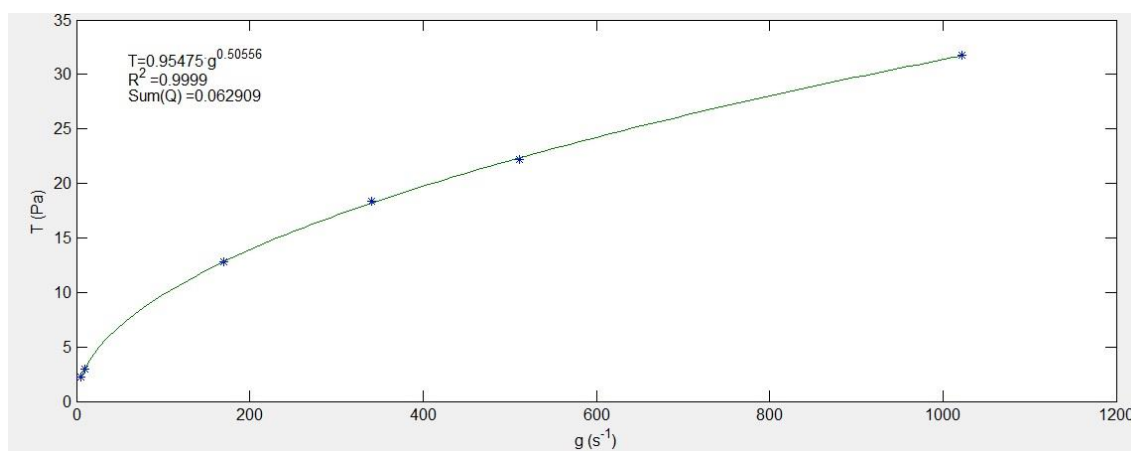
➤ 4% bentonite+0.3% PHPA



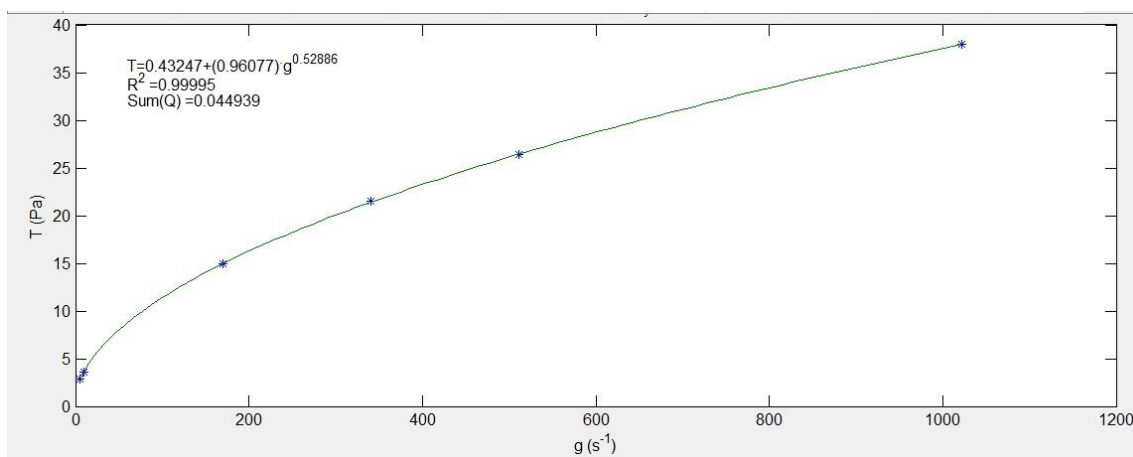
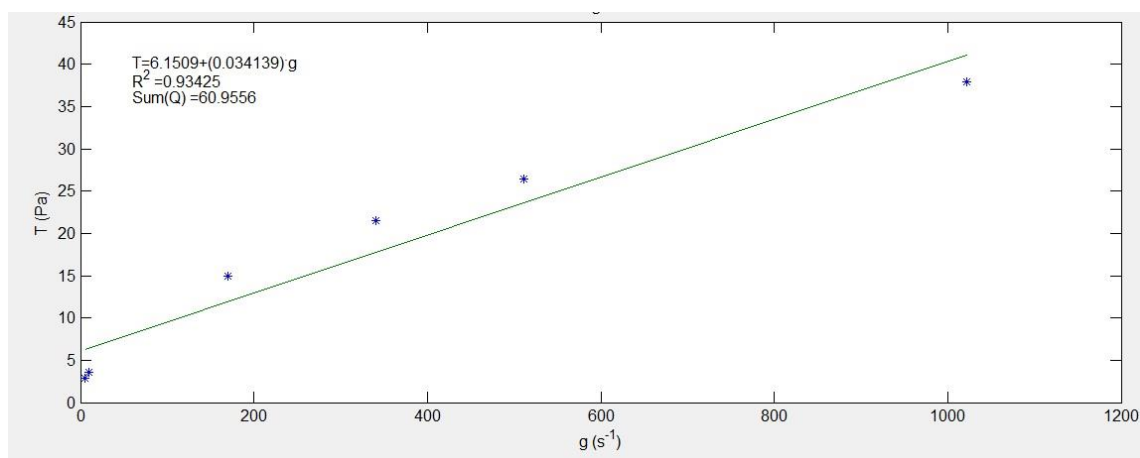
Διάγραμμα 51: Μοντέλο Herschel-Bulkley

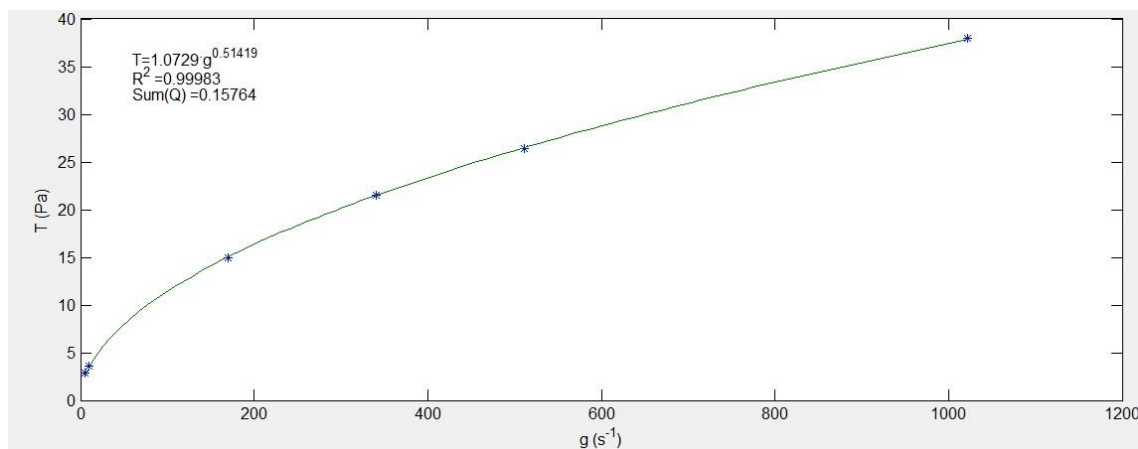


Διάγραμμα 52: Μοντέλο Bingham Plastic



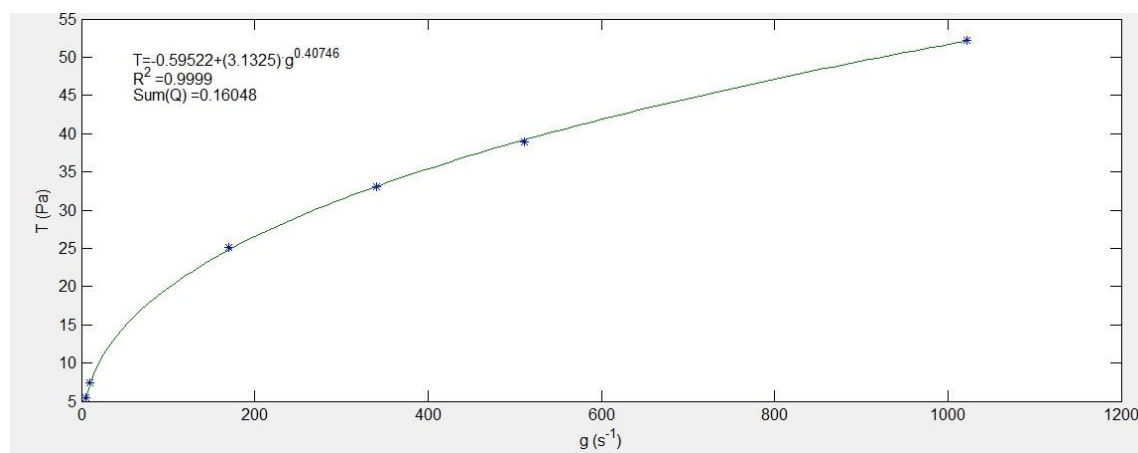
Διάγραμμα 53: Μοντέλο Power Low

➤ **4% Bentonite+0.5% PHPA****Διάγραμμα 54: Μοντέλο Herschel-Bulkley****Διάγραμμα 55: Μοντέλο Bingham Plastic**

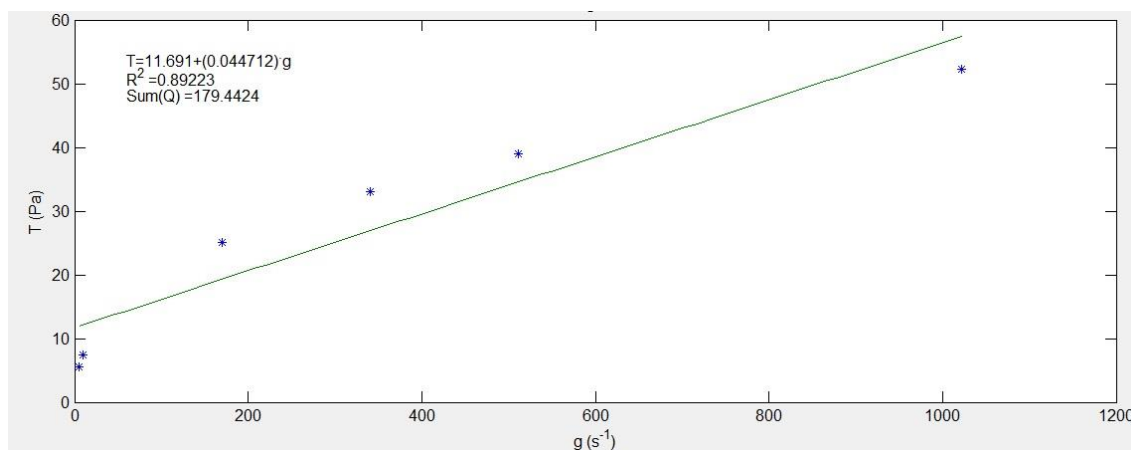


Διάγραμμα 56: Μοντέλο Power Low

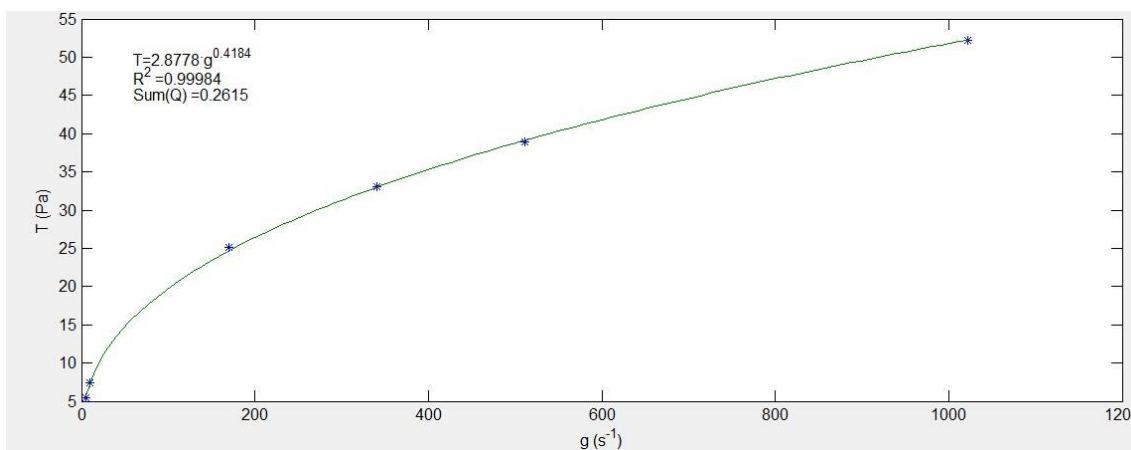
➤ 4% bentonite+0.7% PHPA



Διάγραμμα 57: Μοντέλο Herschel-Bulkley



Διάγραμμα 58: Μοντέλο Bingham Plastic



Διάγραμμα 59: Μοντέλο Power Law

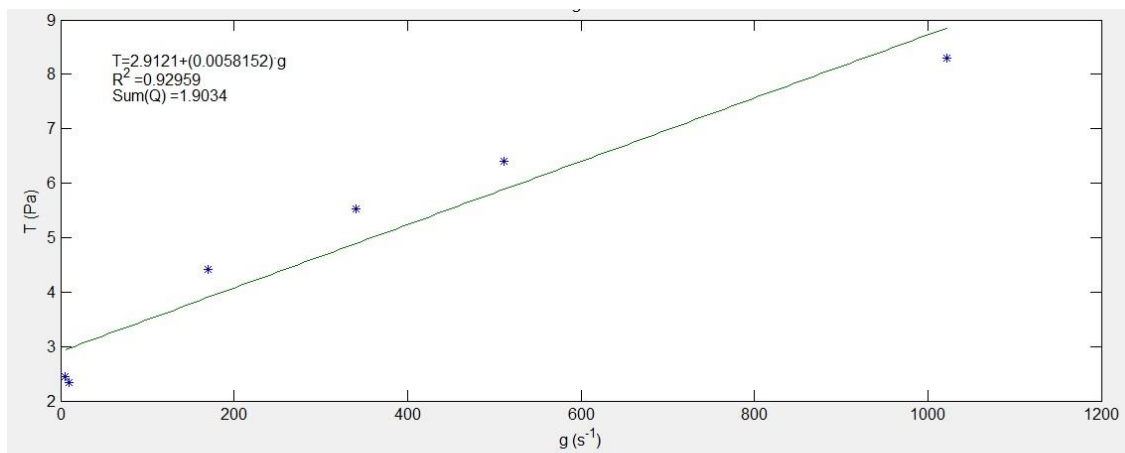
- Πίνακες και διαγράμματα για 5% μπεντονίτη και ΡΗΡΑ:

	5%bentonit e+ 0.05%phpa	5%benonit e+ 0.1%phpa	5%bentonit e+ 0.2%phpa	5%bentonit e+ 0.3%phpa	5%bentonit e+ 0.5%phpa	5%bentonit e+ 0.7%phpa
Shear Rate (1/S)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)	Shear Stress (Pa)
1021,38	40,489	41,989	37,99	42,489	51,5	61,5
1021,38	38,99	38,99	37,49	41,989	50,5	60
1021,38	38,99	38,99	38,49	42,989	50,5	60,5
1021,38	39,49	39,49	38,99	43,489	51	60,5
1021,38	39,99	39,49	39,99	43,489	51	60,5
1021,38	40,489	39,49	40,489	43,489	51,5	61
510,69	31,992	29,992	28,992	30,492	35,5	44
510,69	32,492	30,492	29,492	30,992	36	44
510,69	32,492	30,992	29,992	30,992	36	44,5
510,69	32,492	30,492	29,992	30,992	36	44,5
510,69	32,492	30,992	30,492	31,492	36,5	44,5
510,69	32,492	30,992	30,492	31,492	36,5	44,5
340,46	28,493	26,493	24,993	25,993	29,5	37
340,46	28,493	26,493	25,493	25,993	29,5	37
340,46	28,493	26,493	25,493	25,993	30	37
340,46	28,992	26,493	25,493	25,993	30	37
340,46	28,493	26,493	25,993	26,493	30,5	37,5
340,46	28,493	26,493	25,993	26,493	30	37,5

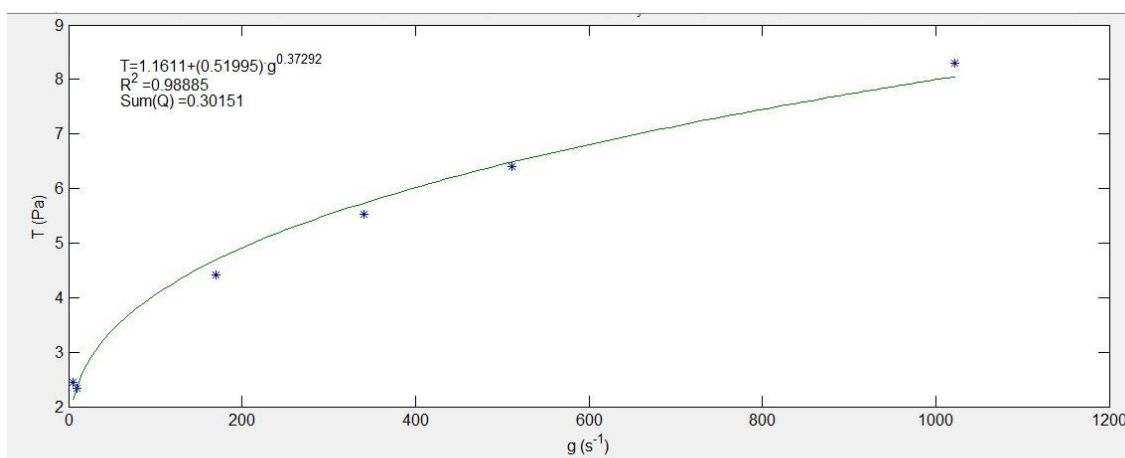
170,23	22,994	20,495	18,495	18,495	21	26,5
170,23	23,494	20,995	18,995	18,995	21	27
170,23	23,494	20,995	18,995	18,995	21	27,5
170,23	23,494	21,494	19,495	19,495	21,5	27
170,23	23,994	21,494	19,495	18,995	21	27,5
170,23	23,994	21,494	19,495	19,495	21,5	27,5
10,2138	12,997	9,498	5,499	5,998	5,5	7
10,2138	14,996	10,497	5,998	5,998	5,5	7,5
10,2138	14,996	11,497	6,498	5,998	6	7,5
10,2138	15,496	11,497	6,498	5,499	5,5	7,5
10,2138	15,496	11,997	7,498	5,998	6	8
10,2138	15,996	11,997	6,998	6,498	6	8
5,1069	15,496	11,497	6,498	5,499	5	6
5,1069	14,996	11,497	6,498	5,499	4,5	6
5,1069	14,996	11,497	6,498	5,998	4,5	6
5,1069	15,996	11,997	6,498	5,998	5	6,5
5,1069	15,496	11,997	6,498	5,998	5	6
5,1069	15,996	11,997	6,998	5,998	5	6,5

Πίνακας 19: Shear Rate-Shear Stress για 5% μπεντονίτη και ΡΗΡΑ

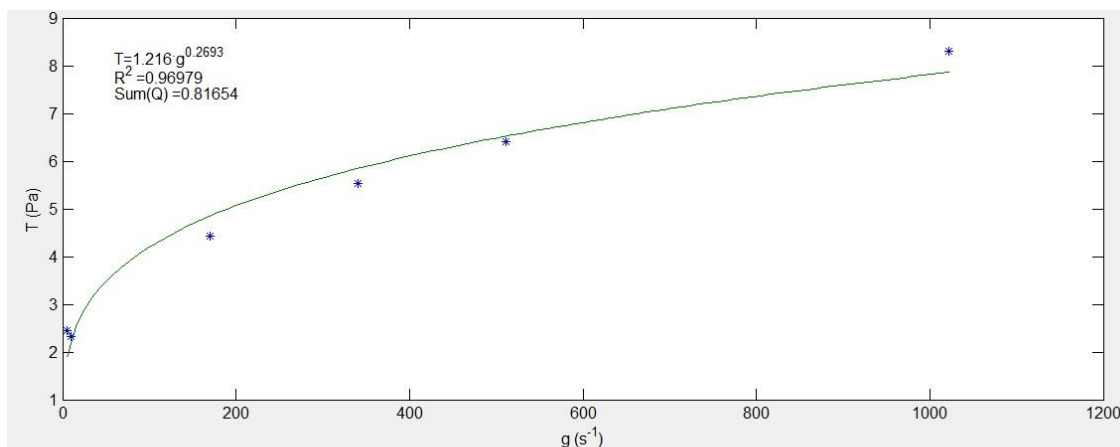
➤ **5% BENTONITE + 0.1%**



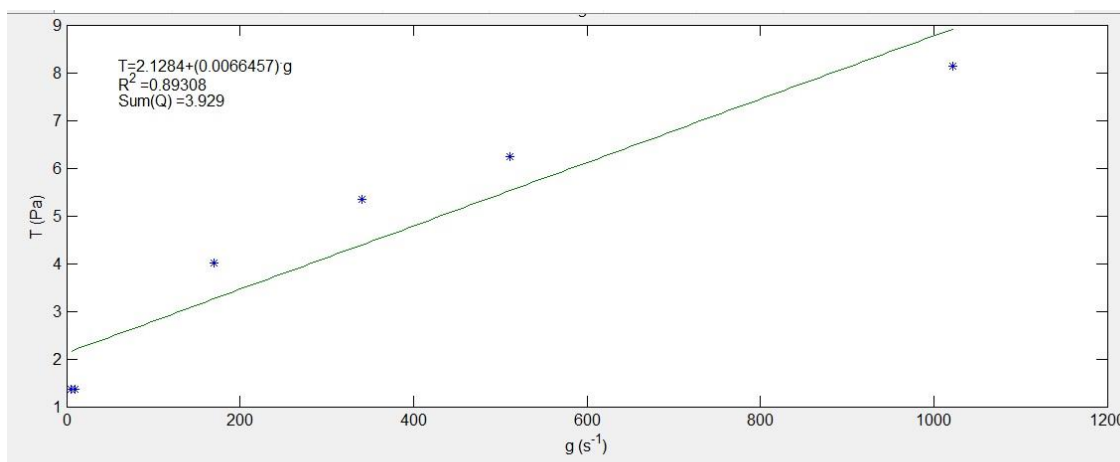
Διάγραμμα 60: Μοντέλο Bingham Plastic



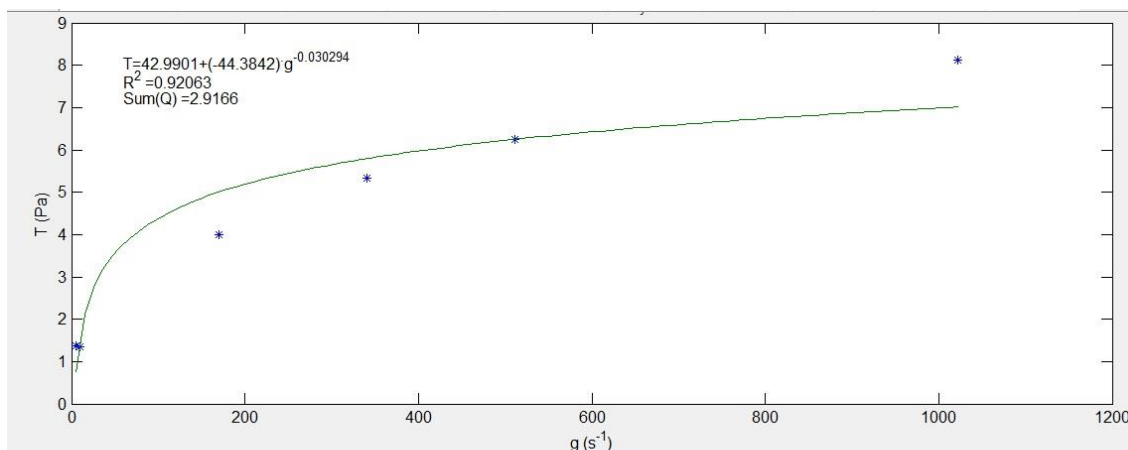
Διάγραμμα 61: Μοντέλο Power Low



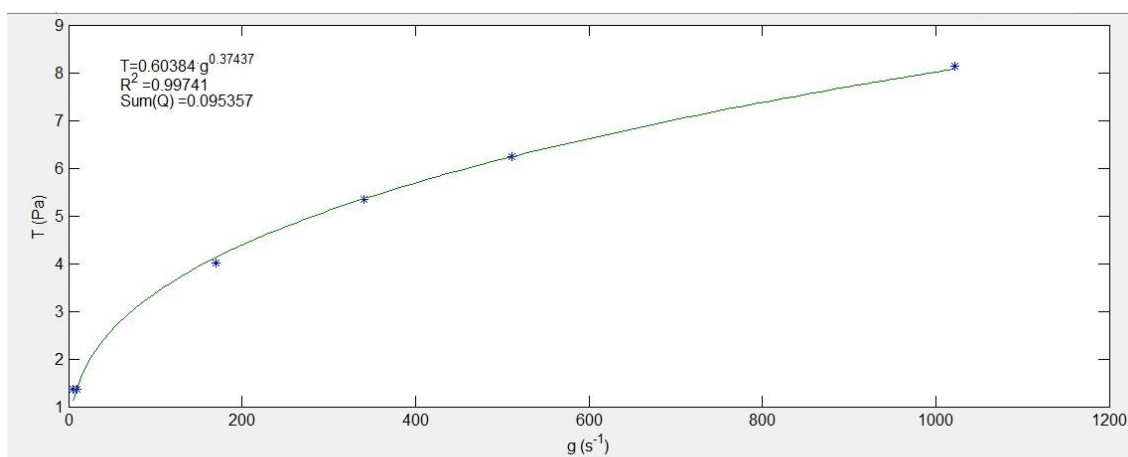
Διάγραμμα 62: Μοντέλο Herschel-Bulkley

➤ **5% BENTONITE + 0.2%**

Διάγραμμα 63: Μοντέλο Bingham Plastic

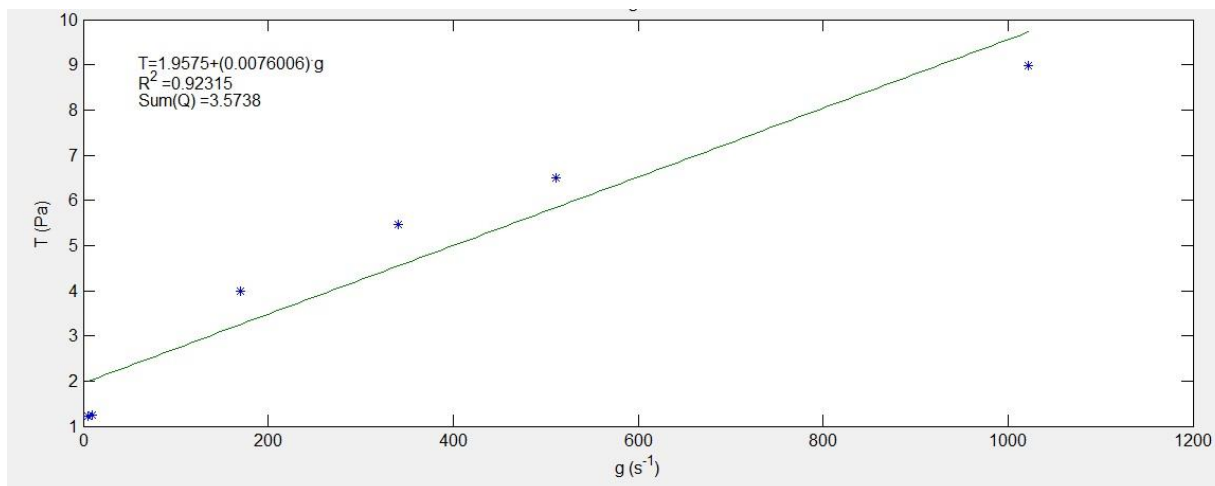


Διάγραμμα 64: Μοντέλο Herschel-Bulkley

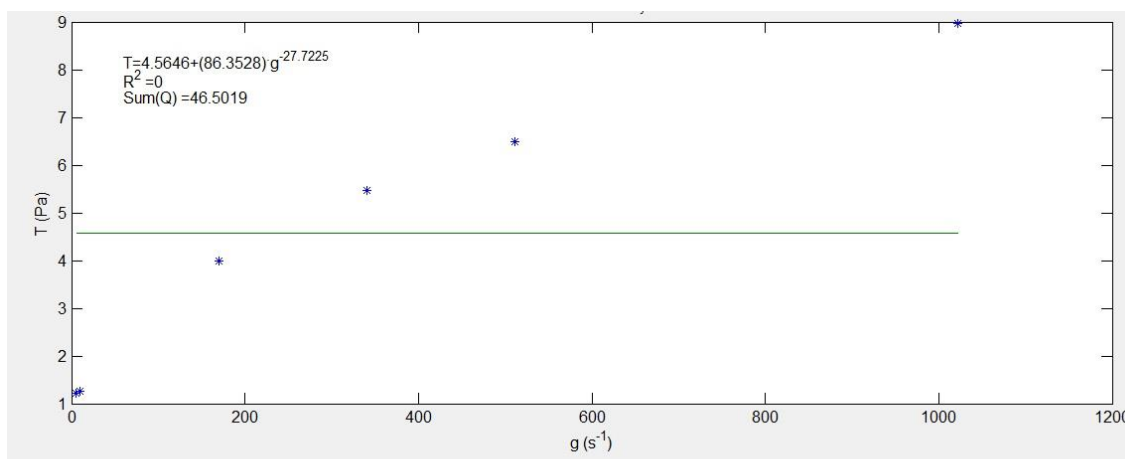


Διάγραμμα 65: Μοντέλο Power Low

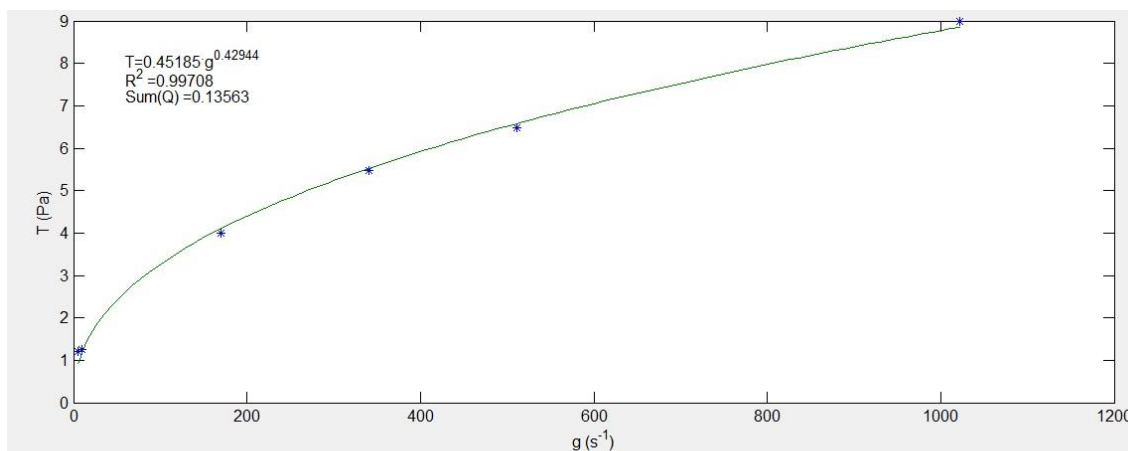
➤ **5% BENTONITE + 0.3 %**



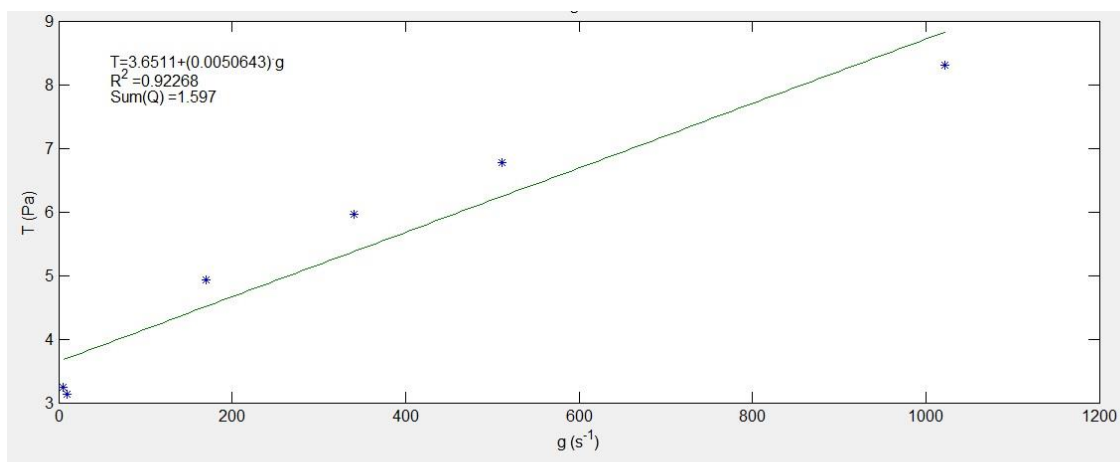
Διάγραμμα 66: Μοντέλο Bingham Plastic



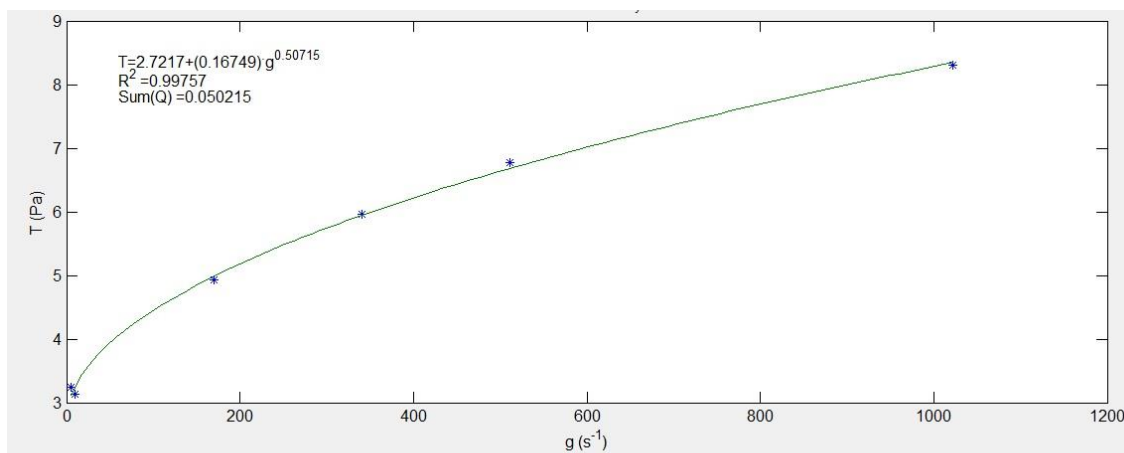
Διάγραμμα 67: Μοντέλο Herschel-Bulkley



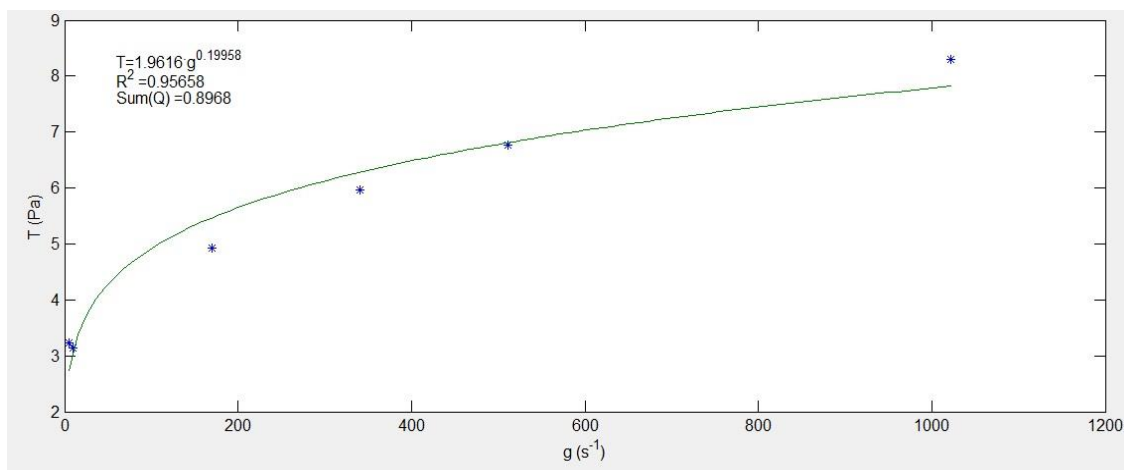
Διάγραμμα 68: Μοντέλο Power Low

➤ **5% BENTONITE + 0.05%**

Διάγραμμα 69: Μοντέλο Bingham Plastic



Διάγραμμα 70: Μοντέλο Herschel-Bulkley



Διάγραμμα 71: Μοντέλο Power Law

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ

- ABDOU M.I., A.M. AL-SABAGH, M.M. DARDIR, (2013) EVALUATION OF EGYPTIAN BENTONITE AND NANO-BENTONITE AS DRILLING MUD EGYPTIAN JOURNAL OF PETROLEUM 22, 53–59.
- CHHABRA R.P., (2007) BUBBLES, DROPS, AND PARTICLES IN NON-NEWTONIAN FLUIDS.
- FORBES R.J. AND D.R.O’BERNIE, 1890-1940, THE TECHNICAL DEVELOPMENT OF THE ROYAL DUTCH/SHELL.
- FOSHEE W.C., R.R. JENNINGS T.J. WEST, 1977, PREPARATION AND TESTING OF PARTIALLY HYDROLYZED POLYACRYLAMIDE SOLUTIONS.
- GRAY, H.C.H., DARLEY, G.R. (1980), *COMPOSITION AND PROPERTIES OF OIL-WELL DRILLING FLUIDS*, GULF PUBLISHING COMPANY, TEXAS.
- GRIM RALPH E., MCGRAW-HILL, (1953), *CLAY MINERALOGY*, NEW YORK, 384 PP.
- HALE A.H. AND F.K. MODY ,1993, “PARTIALLY HYDROLYZED POLYACRYLAMIDE (PHPA) MUD SYSTEMS FOR GULF OF MEXICO DEEPWATER PROSPECTS ” , SHELL DEVELOPMENT CO. (FROM SPE PUBLICATION DATE 1993).
- IRITANI, (2003) PROPERTIES OF FILTER CAKE FILTRATION AND MEMBRANE FILTRATION, DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING, NAGOYA UNIVERSITY.
- KADASTER A.G., SPE, AMOCO PRODUCTION CO., G.J. GULLD, SPE, AMOCO (U.K) EXPLORATION CO., G.L. HANNI, SPE,AMOCO NORWAY OIL CO., AND D.D. SCHMIDT, SPE, AMOCO PRODUCTION CO. (1992), FIELD APPLICATIONS OF PHPA MUDS.

-
- KELESSIDIS V, C. TSAMANTAKI, A. MICHALAKIS, G. CHRISTIDIS, P. MAKRI, C PAPANICOLAOU, A. FOSCOLOS, (2007 A). GREEK LIGNITES AS ADDITIVES FOR CONTROLLING FILTRATION PROPERTIES OF WATER-BENTONITE SUSPENSIONS AT HIGH TEMPERATURES. FUEL 86 1112-1121.
 - KELESSIDIS V., C. TSAMANTAKI, P. DALAMARINIS, (2007 B). EFFECT OF PH AND ELECTROLYTE ON THE RHEOLOGY OF AQUEOUS WYOMING BENTONITE SUSPENSIONS. APPLIED CLAY SCIENCE, 38, 86-96.
 - KELESSIDIS V, G. CHRISTIDIS, P. MAKRI, V. HADJISTAMOU, C. TSAMANTAKI, A. MICHALAKIS, C PAPANICOLAOU, A. FOSCOLOS, (2007 Γ). GELATION OF WATER-BENTONITE SUSPENSIONS AT HIGH TEMPERATURES AND RHEOLOGICAL CONTROL WITH LIGNITE ADDITION. APPLIED CLAY SCIENCE 36 221-231.
 - KELESSIDIS V.C., R. MAGLIONE, C. TSAMANTAKI AND Y. ASPIRTAKIS, (2006). OPTIMAL DETERMINATION OF RHEOLOGICAL PARAMETERS FOR HERSCHEL-BULKLEY DRILLING FLUIDS AND IMPACT ON PRESSURE DROP, VELOCITY PROFILES AND PENETRATION RATES DURING DRILLING, J. PETROL. SCI. ENG., 53, 203-224.
 - KELESSIDIS V.C., R. MAGLIONE, 2006. MODELING RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF BENTONITE SUSPENSIONS AS CASSON AND ROBERTSON-STIFF FLUIDS USING NEWTONIAN AND TRUE SHEAR RATES IN COUETTE VISCOMETRY, POWDER TECHN., 168, 137
 - KELESSIDIS V.C., R. MAGLIONE, 2008. YIELD STRESS OF WATER-BENTONITE DISPERSIONS, COLLOIDS AND SURFACES A, 318, 217
 - LIAO W.A. AND D.R. SIEMS, BAROID DRILLING FLUIDS INC., 1990, ADSORPTION CHARACTERISTICS OF PHPA ON FORMATION SOLIDS
 - WAYNE M. SUTHERLAND, MINERALS GEOLOGIST, 2014, WYOMING BENTONITE
-

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ, Β. (2002). ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, ΧΑΝΙΑ.
- ΧΡΗΣΤΙΔΗΣ Γ. (2005). ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, ΧΑΝΙΑ.

ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

- Prime import and export limited company, www.shengli-petroleum.com
- Alibaba, http://hngyoyjs.en.alibaba.com/product/587263224-213867953/high_viscosity_php_a_partial_hydrolyzed_polyacrylamide_msds.html
- http://yxhb.en.alibaba.com/product/1402017313-213395517/High_cost_performance_partially_hydrolyzed_polyacrylamide.html
- Science Direct, <http://www.sciencedirect.com>