



Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επιλογή βέλτιστης δόσης πολυηλεκτρολύτη για βελτίωση της
αφυδατωσιμότητας της ιλύος**

Ελένη Γκρίλλα

Εξεταστική Επιτροπή:

Ευάγγελος Διαμαντόπουλος (Επιβλέπων καθηγητής)

Ξεκουκουλωτάκης Νικόλαος

Βενιέρη Δανάη

Χανιά 2014

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η υλοποίησή της έγινε στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος.

Στην εν λόγω εργασία μελετήθηκε η δυνατότητα βελτίωσης των χαρακτηριστικών αφυδάτωσης της ιλύος με χρήση πολυηλεκτρολύτη. Η αφυδατωσιμότητα της ιλύος εξετάστηκε με βάση πειράματα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στη διήθηση ή Specific Resistance to Filtration (SRF) ή Buchner Funnel Test. Αξιολογήθηκε η ευκολία αφαίρεσης νερού σε παχυμένη ιλύ προερχόμενη από το Βιολογικό Καθαρισμό Βορείου Άξονα των Χανίων, με ταυτόχρονη χρήση πολυηλεκτρολυτών σε ένα εύρος δόσεων. Σκοπός ήταν η εύρεση της βέλτιστης δόσης πολυηλεκτρολύτη προκειμένου η ιλύς να αποκτήσει ικανοποιητικές ιδιότητες αφυδάτωσης.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μετριούνταν καθημερινά στην ιλύ εισροής τα ολικά στερεά, η ειδική αντίσταση της ιλύος και το pH. Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης απαιτείται η γνώση του ιξώδους της ιλύος. Για αυτό το σκοπό μετρήθηκε το ιξώδες για μικρό αριθμό δειγμάτων και στην συνέχεια κατασκευάστηκε καμπύλη συσχέτισης του ιξώδους με τη συγκέντρωση των ολικών στερεών.

Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν κατιοντικοί πολυηλεκτρολύτες, οι οποίοι έχουν σημαντική επίδραση τόσο στο βαθμό αφυδάτωσης της ιλύος όσο και στη βελτίωση των τελικών ιδιοτήτων της. Η δοσολογία του προστιθέμενου κατιοντικού πολυηλεκτρολύτη επηρεάζει άμεσα την ικανότητα αφυδατωσιμότητας της ιλύος. Με αύξηση της προστιθέμενης δόσης πολυηλεκτρολύτη παρατηρείται αντίστοιχη βελτίωση στο βαθμό αφυδάτωσης της ιλύος. Όμως, σε μεγάλες δόσεις πολυηλεκτρολύτη αυξάνεται η αντίσταση στη διήθηση, οπότε και η κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη. Έτσι, απαιτείται ο προσδιορισμός της βέλτιστης δόσης πολυηλεκτρολύτη με την οποία θα υπάρχει μεγαλύτερη βελτίωση στην αφυδατωσιμότητα της ιλύος με τη λιγότερη απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη με τα αντίστοιχα οικονομικά οφέλη.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	2
Πίνακας Περιεχομένων	3
Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή.....	6
Κεφάλαιο 2 ^ο : Θεωρητικό Μέρος.....	7
2.1 Γενικά.....	7
2.2 Επεξεργασία της ιλύος	8
2.2.1 Μείωση του όγκου	8
2.2.2 Καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών	9
2.2.3 Μείωση του ρυπαντικού φορτίου, των οσμών και της προσέλκυσης φορέων μόλυνσης.....	9
2.3 Αφυδάτωση Ιλύος	10
2.4 Βελτίωση της ιλύος.....	11
2.4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη χημική βελτίωση	12
2.4.1.1 Χαρακτηριστικά ιλύος	12
2.4.1.2 Συγκέντρωση Στερεών.....	13
2.4.1.3 pH	13
2.4.1.4 Θερμοκρασία.....	13
2.4.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της αφυδατωσιμότητας της ιλύος.....	13
2.4.2.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση της μεθόδου SRT	14
2.4.2.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση της μεθόδου CST	15
2.4.3 Δοσολογία	15
2.4.4 Ανάμιξη.....	16
2.5 Πολυηλεκτρολύτης.....	17
2.5.1 Επεξεργασία με πολυηλεκτρολύτη	18
Κεφάλαιο 3 ^ο : Πειραματικό μέρος	20
3.1 Περιγραφή πειραματικής διάταξης	20
3.1.1 Διαδικασία προετοιμασίας πειράματος	20
3.1.2 Διαδικασία προετοιμασίας διαλύματος πολυηλεκτρολύτη	20
3.2 Αναλυτικές Μέθοδοι	21
3.2.1 Προσδιορισμός ολικών στερεών (TS).....	21
3.2.2 Προσδιορισμός ειδικής αντίστασης της ιλύος	21
3.2.3 Προσδιορισμός δυναμικού ιξώδους	24

3.2.4 Μέτρηση pH	25
Κεφάλαιο 4 ^ο : Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	26
4.1 Εισαγωγή	26
4.2 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Floram FO 4000SSH.....	26
4.2.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	26
4.2.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	28
4.2.3 Προσδιορισμός ειδικής αντίστασης της επεξεργασμένης ιλύος από την εγκατάσταση του Βιολογικού Καθαρισμού της ΔΕΥΑΒΑ	30
4.3 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Praestol 650 BC.....	31
4.3.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	31
4.3.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	33
4.4 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Praestol 850BC.....	35
4.4.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	35
4.4.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	37
4.5 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Praestol 853BC.....	38
4.5.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	38
4.5.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	40
4.6 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4350SH	41
4.6.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	41
4.6.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	43
4.7 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4400SH	44
4.7.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	44
4.7.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	46
4.8 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4440SH	47
4.8.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	47
4.8.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	49
4.9 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4490SH	51
4.9.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	51
4.9.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	53
4.10 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4700SH	54
4.10.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης	54
4.10.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.....	56
4.13 Ολικά Στερεά	57
4.14 Συγκριτική Αξιολόγηση των Διαφορετικών Τύπων Πολυηλεκτρολυτών	57

Κεφάλαιο 5 ^ο : Συμπεράσματα	59
Κεφάλαιο 6 ^ο : Βιβλιογραφία	60
Παράρτημα.....	61

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

Η μείωση του όγκου της παραγόμενης ιλύος αποτελεί σημαντικό οικονομικό και περιβαλλοντικό παράγοντα όσον αφορά στην ολοκληρωμένη επεξεργασία των λυμάτων. Το κόστος επένδυσης για την επεξεργασία της ιλύος είναι ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού κόστους για την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Έτσι ο καλός σχεδιασμός και η αποτελεσματική λειτουργία του τμήματος επεξεργασίας της ιλύος είναι ζωτική σημασίας.

Στην πραγματικότητα, η βελτίωση της ιλύος αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό του συνολικού κόστους, που συχνά, υπερβαίνει το 50%, πρώτον, εξαιτίας του υψηλού κόστους των μονάδων και δεύτερον, εξ αιτίας των μεγάλων δόσεων πολυηλεκτρολύτη που απαιτείται να προστεθούν στη λάσπη. Η σωστή επιλογή και χρήση των χημικών βελτιωτικών είναι, συνεπώς, το κλειδί για μία οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον διαχείριση της λάσπης. Επιπλέον, η διαφοροποίηση των συγκεντρώσεων, της ροής, των χαρακτηριστικών της λάσπης που πρόκειται να αφυδατωθεί, οδηγούν σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις πολυηλεκτρολύτη, πρόβλημα που μόνο συνεχείς και επισταμένες μελέτες θα μπορούσαν να λύσουν.

Η αφυδάτωση και διαχείριση της λάσπης λαμβάνει χώρα σε όλες τις μονάδες εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, αν και παλαιότερα ερχόταν σε δεύτερη μοίρα. Πρόκειται για τεχνολογίες αφυδάτωσης της λάσπης έτσι ώστε, είτε η λάσπη να είναι διαθέσιμη για επαναχρησιμοποίηση, είτε να μειωθεί το κόστος της επεξεργασίας της.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να προσδιοριστεί η βέλτιστη δόση πολυηλεκτρολύτη για την βελτίωση των χαρακτηριστικών της αφυδάτωσης της ιλύος. Στη συνέχεια, να προσδιοριστεί κατά πόσο είναι ωφέλιμο να εφαρμοστεί και στον βιολογικό καθαρισμό των Χανίων, από όπου προμηθευτήκαμε το λύμα για να πραγματοποιηθούν τα πειράματά μας.

Κεφάλαιο 2ο : Θεωρητικό Μέρος

2.1 Γενικά

Η επεξεργασία αστικών λυμάτων σε μία τυπική εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνει μια σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι οποίες έχουν ως στόχο τη μείωση του οργανικού φορτίου των λυμάτων και επιπρόσθετα, την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών και των θρεπτικών συστατικών, όπως το άζωτο και ο φώσφορος, και τέλος την ασφαλή διάθεση των επεξεργασμένων πλέον λυμάτων σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη.

Ως προς τη μείωση των μικροοργανισμών η επιτυχία της επεξεργασίας εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως τον τύπο της επεξεργασίας, τον αριθμό και τα είδη των παθογόνων μικροοργανισμών, τη θερμοκρασία και τη χημική σύσταση του λύματος. Η φιλοσοφία της βελτίωσης της μικροβιολογικής ποιότητας του λύματος, πριν αποδοθεί στο περιβάλλον, είναι ο μικροβιακός πληθυσμός του λύματος, ο οποίος αποτελείται από μικροοργανισμούς κοπρανώδους προέλευσης, να μετατραπεί και να αποτελείται από μικροοργανισμούς των επιφανειακών νερών.

Κατά τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας δύο είναι τα βασικά κριτήρια για να διατεθούν τα λύματα ή η ιλύς στις καλλιέργειες:

- Να επιτυγχάνεται δραστική μείωση των παθογόνων πριν αυτά έρθουν σε επαφή με τρόφιμα που καταναλώνονται ωμά.
- Πριν τη πρόταση και εφαρμογή οποιασδήποτε νομοθεσίας χρειάζεται προσεκτική μελέτη των τοπικών συνηθειών καλλιέργειας, κτηνοτροφικής δραστηριότητας και διατροφικών συνηθειών.

Η ιλύς, που συλλέγεται από τον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας καθίζησης, είναι ένα παραπροϊόν μιας τυπικής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, το οποίο απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία καθώς παρουσιάζει χαρακτηριστικά, που δεν επιτρέπουν την άμεση διάθεση του. Οι διεργασίες που απαιτούνται για την επεξεργασία της ιλύος έχουν ως στόχο να βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά της και να την καταστήσουν αδρανή για την ασφαλή διάθεσή της.

Η ιλύς που προκύπτει μετά την επεξεργασία της μπορεί να αξιοποιηθεί, ανάλογα με την ποιότητα της, σε διάφορες επωφελείς χρήσεις ή να διατεθεί απλά σε κατάλληλους χώρους (μη επωφελής χρήση). Το οργανικό υλικό και τα θρεπτικά συστατικά που περιέχονται στα στερεά της ιλύος την εμφανίζουν ως μια αξιόλογη πηγή λιπασματικών συστατικών και εδαφοβελτιωτικού υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αγροτικές καλλιέργειες για

βελτίωση οριακής ποιότητας εδαφών, για αποκατάσταση περιοχών απ' όπου έχουν εξορυχθεί υλικά ή μεταλλεύματα, για αύξηση της παραγωγικότητας των δασών και για σταθεροποίηση και αποκατάσταση της βλάστησης σε δασικές εκτάσεις που έχουν ερημωθεί από πυρκαγιές ή από άλλες αιτίες. Επίσης, τα στερεά της ιλύος μπορούν να αξιοποιηθούν για λίπανση σε διαχωριστικές νησίδες δρόμων, καθώς και για καθημερινή κάλυψη ή τελικό κάλυμμα σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Η διάθεση των στερεών της ιλύος με πρακτικές που αντιστοιχούν σε μη επωφελή χρήση μπορεί να γίνεται με τους παρακάτω τρόπους:

- Διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής οι οποίοι προορίζονται αποκλειστικά για ιλύ.
- Διάθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής μαζί με τα οικιακά απορρίμματα.
- Διάθεση επί του εδάφους
- Καύση

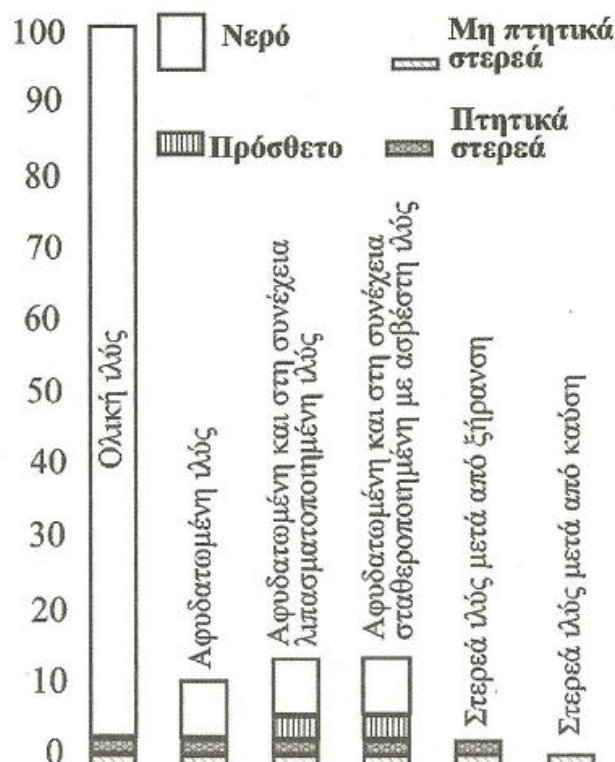
2.2 Επεξεργασία της ιλύος

Η ιλύς που προκύπτει από την επεξεργασία αστικών λυμάτων υποβάλλεται σε επεξεργασία προκειμένου να επιτευχθεί ένας ή περισσότεροι στόχοι από τους παρακάτω (Τσώνης, 2004):

- Μείωση του όγκου
- Καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών
- Μείωση του ρυπαντικού φορτίου, των οσμών και της προσέλευσης φορέων μόλυνσης.

2.2.1 Μείωση του όγκου

Η μείωση του όγκου αντιστοιχεί σε αύξηση της περιεκτικότητας της ιλύος σε στερεά. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι τεχνικές πάχυνσης, αφυδάτωσης, ξήρανσης και καύσης. Η μείωση του όγκου της ιλύος δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα αφού μειώνεται το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς. Στο Σχήμα 1 φαίνεται η μεταβολή του όγκου της ιλύος μετά από επεξεργασίες διαφόρων τύπων, όπως αφυδάτωση, λιπασματοποίηση, σταθεροποίηση με ασβέστη, ξήρανση και καύση.



Σχήμα 1: Μείωση του όγκου της ιλύος για διάφορα στάδια επεξεργασίας

2.2.2 Καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών

Η εξουδετέρωση των μικροοργανισμών γίνεται με φυσικούς (προσρόφηση, καθίζηση), χημικούς (μεταβολή του pH, της σκληρότητας, με τοξικές για τους μικροοργανισμούς ουσίες, μεταβολή της θερμοκρασίας, της συγκέντρωσης της αμμωνίας) και βιολογικούς (έλλειψη θρεπτικών και ορισμένων μεταβολικών ουσιών, ανταγωνισμός με άλλους οργανισμούς) μηχανισμούς. Στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού, ανάλογα με την ποσότητα και το είδος των εισερχόμενων λυμάτων αλλά και τον αποδέκτη του επεξεργασμένου λύματος εφαρμόζεται μία ή περισσότερες τεχνολογίες εν σειρά .

2.2.3 Μείωση του ρυπαντικού φορτίου, των οσμών και της προσέλκυσης φορέων μόλυνσης

Η μείωση του ρυπαντικού φορτίου μπορεί να γίνει με αναερόβια ή αερόβια χώνευση ή ακόμη και με χημική οξείδωση (καύση, οξείδωση υγρής φάσης με αέρα) και έχει ως επακόλουθο τη μείωση της συγκέντρωσης του αποδομούμενου υλικού καθώς και των εκλυόμενων οσμών. Η μείωση των οσμών μπορεί επίσης να επιτευχθεί με θανάτωση των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στους βιολογικούς κύκλους αποδόμησης οργανικού υλικού. Όταν το οργανικό υλικό είναι σταθερό, δεν υπάρχουν οσμές και δεν προσελκύονται φορείς που είναι δυνατόν να μεταδώσουν παθογόνους μικροοργανισμούς. Οι παραπάνω φορείς μπορεί να είναι έντομα, πτηνά ή τρωκτικά.

2.3 Αφυδάτωση Ιλύος

Η αφυδάτωση είναι μια φυσική διεργασία που χρησιμοποιείται για να μειώσει τη περιεχόμενη υγρασία της ιλύος και των βιοστερεών και αποτελεί ένα από τα τελευταία βήματα στη γραμμή επεξεργασίας της ιλύος.

Χρησιμοποιούνται αρκετές τεχνικές για την απομάκρυνση της υγρασίας από τις συσκευές αφυδάτωσης. Μερικές από αυτές τις τεχνικές βασίζονται στη φυσική εξάτμιση και τη διήθηση για την αφυδάτωση των στερεών. Οι πιο συνήθεις μέθοδοι αφυδάτωσης είναι (Σταματέλου, 2010) :

- Φυγοκεντρητές: Ο διαχωρισμός των στερεών από το νερό γίνεται με την επιβολή φυγόκεντρης δύναμης.
- Οι φιλτρώπρεςσες: Αποτελούνται από ένα σύστημα μεταλλικών πλακών που σχηματίζουν εσωτερικές κοιλότητες και καλύπτονται από ειδικό πορώδες ύφασμα που αποτελεί και το μέσο διήθησης.
- Οι ταινιοφιλτρώπρεςσες: Αποτελούνται από δύο μεταφορικές ταινίες από συνθετικές ίνες που βρίσκονται η μία πάνω στην άλλη. Οι ταινίες διέρχονται από ένα σύστημα περιστρεφόμενων κυλίνδρων και επιτελούν ταυτόχρονα λειτουργίες της μεταφοράς, του στραγγίσματος και της συμπίεσης της ιλύος.
- Τα φίλτρα κενού: Αποτελούνται από ένα περιστρεφόμενο τύμπανο μερικώς βυθισμένο σε μία ειδικά διαμορφωμένη δεξαμενή που περιέχει την ιλύ.
- Οι κλίνες ξήρανσης: Η αφυδάτωση επιτυγχάνεται με διήθηση του νερού μέσω της άμμου και των χαλικιών και εξάτμιση από την επιφάνεια.

Πριν την αφυδάτωση, η ιλύς βελτιώνεται προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση της διεργασίας. Η βελτίωση συνίσταται στην προσθήκη ουσιών (συνήθως οργανικών πολυμερών ή ανόργανων χημικών) προκειμένου να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά της ιλύος και να αφαιρεθεί η υγρασία.

Μετά την αφυδάτωση η ιλύς και τα βιοστερεά είναι πιο εύκολα στο χειρισμό τους και η απομάκρυνση της πλεονάζουσας υγρασίας τα κάνει άοσμα και να μην αποσυντίθενται. Τέλος, με την αφυδάτωση επιτυγχάνεται η μείωση παραγωγής στραγγιδίων στους χώρους διάθεσης και κυρίως στους αποκλειστικούς χώρους ταφής τους.

Μερικά κριτήρια για να χαρακτηριστεί επιτυχής η διαδικασία της αφυδάτωσης είναι τα εξής (Πανούση, 2012):

- Συγκεκριμένη τιμή των Ολικών Αιωρούμενων Στερεών στα στραγγίδια, είτε αυτά καταλήγουν σε κάποιον υδάτινο αποδέκτη είτε σε χώρους υγειονομικής ταφής.
- Διατήρηση ενός καθορισμένου ποσοστού στο στερεό υπόλειμμα μετά τη διήθηση
- Ελαχιστοποίηση της ενέργειας και του κόστους ανά μονάδα εισερχόμενης ιλύος προς αφυδάτωση.

2.4 Βελτίωση της ιλύος

Η ιλύς και τα βιοστερεά βελτιώνονται χημικά για να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης. Η χρήση χημικών για τη βελτίωση της ιλύος και των βιοστερεών για την αφυδάτωση είναι οικονομική λόγω της αυξημένης απόδοσης και της μεγαλύτερης ευελιξίας που αποκτάται. Η χημική βελτίωση μπορεί να μειώσει το 90 έως 99% της εισερχόμενης υγρασίας του περιεχομένου στο 65 έως 85%, βάσει της φύσης των στερεών που θα υποστούν επεξεργασία. Η χημική βελτίωση έχει ως αποτέλεσμα τη συσσωμάτωση των στερεών και την απελευθέρωση του απορροφημένου νερού.

Η βελτίωση χρησιμοποιείται σε προηγμένα συστήματα μηχανικής αφυδάτωσης όπως η φυγοκέντρωση, οι ταινιοφιλτρόπρεσσες και οι φιλτρόπρεσσες. Τα χημικά που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τον τριχλωριούχο σίδηρο, την υδράσβεστο, τα άλατα αργιλίου και τα οργανικά πολυμερή. Τα χημικά εφαρμόζονται πιο εύκολα και μετρούνται καλύτερα στην υγρή μορφή. Απαιτούνται δεξαμενές για τη διάλυση εάν τα χημικά παραλαμβάνονται ως ξηρή σκόνη. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις αυτές οι δεξαμενές θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες για την παροχή των χημικών τουλάχιστον για μια μέρα και θα πρέπει να εξοπλίζονται εις διπλούν. Οι δεξαμενές θα πρέπει να κατασκευάζονται ή να μονώνονται με υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση.

Τα βελτιωτικά είναι είτε συνθετικά οργανικά πολυμερή είτε μεταλλικά ιόντα. Γενικά βοηθούν στην εγρήγορση της διαδικασίας της αφυδάτωσης και όχι στην αύξηση των στερεών στο cake (στερεό υπόλειμμα κατά τη διήθηση). Το κόστος της βελτίωσης της ιλύος είναι υψηλό, καθώς και ο κίνδυνος υπερδοσολογίας των βελτιωτικών, έτσι καθίσταται σημαντική η εύρεση της βέλτιστης δόσης κατά τη βελτίωση.

Η εύρεση αυτής της δόσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ιλύος, τη φύση του χρησιμοποιούμενου πολυμερούς, το κόστος και τον επιθυμητό βαθμό αφυδάτωσης. Σε περίπτωση υποδοσολογίας η διαδικασία δεν προχωρά με υψηλό ρυθμό, οπότε δεν έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ σε περίπτωση υπερδοσολογίας υπάρχουν αρνητικές

επιπτώσεις όσον αφορά στο υψηλό κόστος και τη διαδικασία της βελτίωσης (Metcalf & Eddy, 2006).

2.4.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη χημική βελτίωση

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του τύπου και της δόσης των παραγόντων βελτίωσης είναι οι ιδιότητες των στερεών, του τύπου ανάμιξης, καθώς και των συσκευών αφυδάτωσης που χρησιμοποιούνται. Μετά από μια σειρά πειραμάτων καθορίζεται η κατάλληλη μέθοδος με τη βέλτιστη δόση αντιδραστηρίου.

2.4.1.1 Χαρακτηριστικά ιλύος

Τα χαρακτηριστικά της ιλύος εξαρτώνται από το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων, τη μέθοδο επεξεργασίας και το σημείο παραγωγής της. Η ιλύς με βάση το στάδιο επεξεργασίας από το οποίο προέρχεται μπορεί να διαχωριστεί στις εξής κατηγορίες (Σταματέλου, 2010):

- Πρωτοβάθμια ιλύς: Προέρχεται από την πρωτοβάθμια δεξαμενή καθίζησης και περιέχει τις ποσότητες της ιλύος και των επιπλεόντων που παράγονται από αυτήν. Έχει έντονη δυσάρεστη οσμή.
- Χημική ιλύς: Προέρχεται από τη χημική επεξεργασία των λυμάτων με μεταλλικά άλατα. Έχει σκούρο ή ερυθρό χρώμα, περιέχει ποσότητες σιδήρου και δεν προκαλεί έντονα προβλήματα οσμής.
- Ενεργός ιλύς: Έχει πολύ έντονη μυρωδιά. Συνήθως, αν το χρώμα της είναι σκούρο τότε έχουν επέλθει σηπτικές συνθήκες, ενώ αν είναι ανοιχτό έχει υποστεί υποαερισμό.
- Ιλύς βιολογικών φίλτρων: Είναι χουμική ιλύς από βιολογικά φίλτρα με καφέ χρώμα, η οποία χωνεύεται με γρήγορο ρυθμό.
- Επεξεργασμένη ιλύς: Προκύπτει ως τελικό προϊόν μετά από επεξεργασία. Έχει μικρότερο όγκο από την αρχική και είναι σταθεροποιημένη έτσι ώστε να διατεθεί στο περιβάλλον με ασφάλεια.

Ένας σημαντικός παράγοντας για την αφυδατωσιμότητα της ιλύος είναι η ισχύς των κροκίδων. Η απόλυτη ισχύς μετράται στο εσωτερικό της κροκίδας στην οποία ασκείται μια διατμητική ή κανονική δύναμη. Όσον αφορά στην επιρροή της βελτίωσης με κροκιδωτικά, η ισχύς μειώνεται με την αύξηση της δόσης μέχρι μία ελάχιστη τιμή και μετά αυξάνεται ελαφρά, σε αντίθεση με το μέγεθος των κροκίδων, το οποίο αυξάνεται με την αύξηση της δόσης. Διαπιστώνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η κροκίδα, τόσο μικρότερη είναι η πίεση.

Η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων και ιδιαίτερα η ύπαρξη μικρών σωματιδίων είναι ένας από τους θεμελιώδεις παράγοντες που επηρεάζουν την αφυδατωσιμότητα της ιλύος. Τα

μικρά σωματίδια μπορούν να προκαλέσουν πλήρωση του διηθητικού μέσου σε περίπτωση χρήσης πρέσσας, ανεξάρτητα των διαδικασιών από τις οποίες προέρχονται (φυσικές, χημικές, βιολογικές) και κατ' επέκταση να ωθήσουν στην παραγωγή ενός στερεού υπολείμματος με υψηλότερη αντίσταση στη διήθηση.

Η αύξηση του ποσοστού μικρών σωματιδίων αυξάνει ταυτόχρονα εκθετικά το λόγο επιφάνειας/όγκου. Αύξηση της επιφάνειας των σωματιδίων σημαίνει μεγαλύτερη ενυδάτωση, υψηλότερη χημική απαίτηση και μείωση στην αφυδατωσιμότητα. Συνεπώς, η επιφάνεια και ιδιαίτερα το φορτίο της, επιδρά σημαντικά στα χαρακτηριστικά των κροκίδων με δύο διαφορετικούς τρόπους. Πρώτον, το νερό και οι διαλυτές ενώσεις συγκρατούνται στην επιφάνεια του σωματιδίου μέσω της προσρόφησης έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητας και της βαρύτητάς του. Δεύτερον, η επιφάνεια του σωματιδίου τείνει να αποκτήσει ηλεκτρικό φορτίο από την απορρόφηση των ιόντων από τη διάλυση ή τον ιονισμό των ενώσεων.

2.4.1.2 Συγκέντρωση Στερεών

Η συγκέντρωση των στερεών στην ιλύ αποτελεί μια άλλη φυσική παράμετρο και επηρεάζει τη δόση του αντιδραστηρίου που θα χρησιμοποιηθεί κατά την προεπεξεργασία. Όσο μικρότερη είναι η συγκέντρωση των στερεών σε μια ιλύ, τόσο μικρότερη είναι και η δόση του αντιδραστηρίου που θα χρησιμοποιηθεί. Όμως, παρόλο που οι δόσεις εκφράζονται συναρτήσει των στερεών, δεν είναι ανάλογες με τη συγκέντρωση αυτών.

2.4.1.3 pH

Το pH είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων και οι αυξομειώσεις του μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά κάποιες διεργασίες, όπως η επεξεργασία ιλύος, η χημική και βιολογική επεξεργασία, δημιουργώντας προβλήματα.

2.4.1.4 Θερμοκρασία

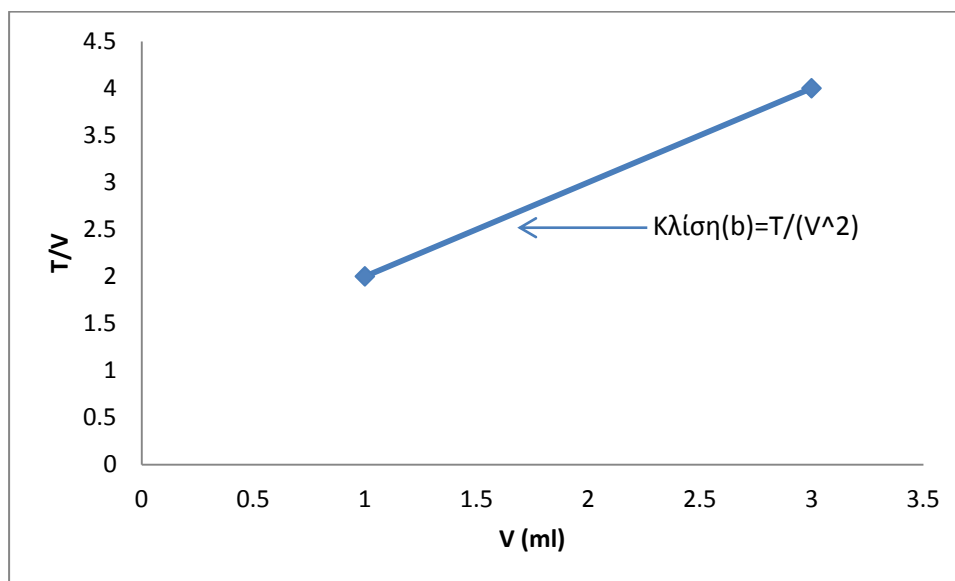
Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι μεγαλύτερη από εκείνη του πόσιμου νερού, διότι επηρεάζεται από τα θερμά απόβλητα κατοικιών. Η θερμοκρασία είναι ρυθμιστικός παράγοντας του χαρακτήρα των αποβλήτων και η αύξησή της μπορεί να επιφέρει προβλήματα.

2.4.2 Μέθοδοι προσδιορισμού της αφυδατωσιμότητας της ιλύος

Για τον προσδιορισμό της αφυδατωσιμότητας της ιλύος μπορεί να πραγματοποιηθούν διάφορες δοκιμές στο εργαστήριο. Οι πιο δημοφιλείς από αυτές τις μεθόδους είναι το SRT (Specific Resistance Testing) και το CST (Capillary Suction Time).

2.4.2.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση της μεθόδου SRT

Η μέτρηση της ειδικής αντίστασης στη διήθηση ή Specific Resistance Testing (SRT) ή Buchner Funnel Test χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αφυδατωσιμότητας της ιλύος. Μια χοάνη Buchner με ένα διηθητικό χαρτί είναι τοποθετημένο πάνω από ένα βαθμονομημένο κύλινδρο. Καθώς προστίθεται το δείγμα ιλύος που εξετάζεται στη χοάνη, καταγράφεται ο όγκος του διηθήματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ώστε να σχεδιαστεί μια γραφική παράσταση του λόγου χρόνος/όγκος διηθήματος συναρτήσει του όγκου του διηθήματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Σχέση Χρόνου/Όγκου διηθήματος – Όγκου διηθήματος

Χρησιμοποιώντας την κλίση αυτή της γραμμής, η ειδική αντίσταση υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$r = \frac{2PA^2b}{\mu C}$$

Όπου,

r : ειδική αντίσταση της ιλύος ανά μονάδα μάζας των ολικών στερεών (m/kg)

P : ασκούμενη πίεση (N/m^2)

A : επιφάνεια διήθησης (m^2)

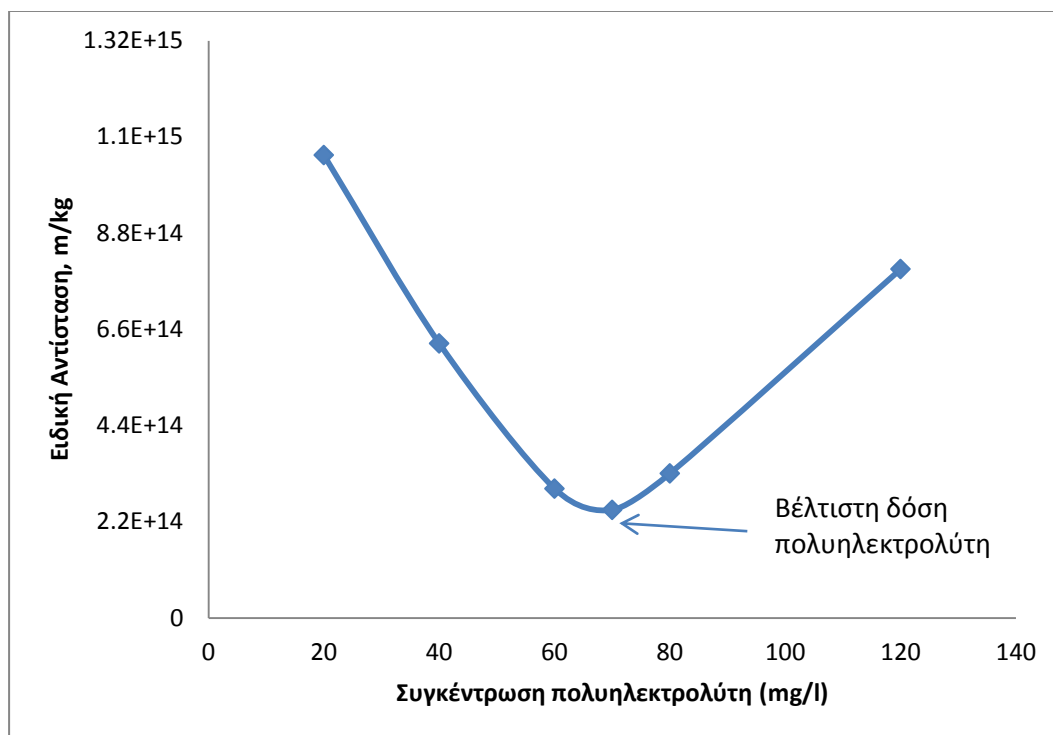
μ : δυναμικό ιξώδες ($N \cdot sec/m^2$)

b : κλίση $\Delta t/\Delta V=f(V)$ (sec/m^6)

C : συγκέντρωση ολικών στερεών μετά την ξήρανση (kg/m^3)

Ο προσδιορισμός της βέλτιστης δόσης του οργανικού πολυμερούς προκύπτει από μια καμπύλη (Σχήμα 3) που σχηματίζεται από γράφημα δόσης πολυμερούς με την ειδική

αντίσταση. Από την καμπύλη αυτή η βέλτιστη δόση αντιστοιχεί στη μικρότερη τιμή της ειδικής αντίστασης.



Σχήμα 3: Χρήση ειδικής αντίστασης για τον προσδιορισμό της βέλτιστης δόσης πολυηλεκτρολύτη

2.4.2.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση της μεθόδου CST

Η μέθοδος CST είναι ένας απλός και εύκολος τρόπος προσδιορισμού της αφυδατωσιμότητας της ιλύος στο εργαστήριο. Στηρίζεται στη βαρύτητα και την τριχοειδή αναρρόφηση ενός τμήματος διηθητικού φίλτρου για να απομακρύνει το νερό από ένα μικρό δείγμα επεξεργασμένης ιλύος. Ο χρόνος που χρειάζεται το νερό της ιλύος σε ένα διηθητικό φίλτρο να περάσει μεταξύ από τα δύο ηλεκτρόδια καταγράφεται ηλεκτρονικά ως τριχοειδής χρόνος απορρόφησης. Η μονάδα μέτρησης του χρόνου είναι τα δευτερόλεπτα (sec). Ένας τυπικός χρόνος που απαιτείται για ανεπεξέργαστη ιλύ είναι 200sec ή και μεγαλύτερος και ο χρόνος αυτός αυξάνει, όσο η ιλύς συγκρατεί σταθερά το νερό της.

2.4.3 Δοσολογία

Η χημική δόση που απαιτείται για κάθε ιλύ προσδιορίζεται στο εργαστήριο. Τα τεστ που χρησιμοποιούνται για την επιλογή της χημικής δοσολογίας περιλαμβάνουν το τεστ της χοάνης (χωνίου) Buchner για τον προσδιορισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος, το τεστ του χρόνου τριχοειδούς αναρρόφησης (capillary suction time, CST) και το τυπικό <<jar>> τεστ. Το τεστ της χοάνης Buchner είναι μια μέθοδος για τη δοκιμή της ικανότητας αποστράγγισης της ιλύος ή των χαρακτηριστικών αφυδάτωσης που χρησιμοποιούν διάφορους παράγοντες βελτίωσης. Το τεστ του χρόνου τριχοειδούς αναρρόφησης βασίζεται στη βαρύτητα και την

τριχοειδή αναρρόφηση ενός κομματιού χοντρού χαρτιού διήθησης για την άντληση του νερού από το μικρό δείγμα της βελτιωμένης ιλύος. Το τυπικό jar τεστ, είναι η ευκολότερη μέθοδος, αποτελείται από πρότυπους όγκους δοκιμής των δειγμάτων της ιλύος με διαφορετικές συγκεντρώσεις βελτιωτικού, που ακολουθείται από γρήγορη ανάμιξη, συσσωμάτωση και ηρεμία (καθίζηση) χρησιμοποιώντας τις ειδικές συσκευές του τυπικού jar τεστ.

Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι τη μεγαλύτερη επίδραση στην ποσότητα του χημικού που απαιτείται την έχει ο τύπος της ιλύος. Οι ιλύες που είναι δύσκολες στην αφυδάτωση απαιτούν μεγαλύτερες δόσεις χημικών και γενικά δεν αποδίδουν τόσο ξηρή ιλύ όσο μια αφυδατωμένη ιλύς, επίσης έχουν φτωχότερη ποιότητα διηθήματος ή προϊόντος φυγοκέντρωσης.

Πίνακας 2.1 Τυπικά επίπεδα προσθήκης πολυμερών για ταινιοφιλτρόπρεσες και φυγοκεντρητές.

Τύπος ιλύος	Συνήθεις μονάδες των ΗΠΑ, lb/ton ξηρών στερεών		Μονάδες SI, kg/mg ξηρών στερεών	
	Ταινιοφιλτρόπρεσσα	Φυγοκέντρωση	Ταινιοφιλτρόπρεσσα	Φυγοκέντρωση
Πρωτοβάθμια	2-8	1-5	1-4	1-2,5
Πρωτοβάθμια και περίσσεια ενεργός ιλύς	4-16	4-10	2-8	2-5
Πρωτοβάθμια και από βιολογικές κλίνες	4-16	-	2-8	-
Περίσσεια ενεργός ιλύς	8-20	10-16	4-10	5-8
Αερόβια χωνεμένη πρωτοβάθμια και αεριζόμενη περίσσεια ενεργός ιλύς	4-16	-	2-8	-

2.4.4 Ανάμιξη

Η τελική προσθήκη και ανάμιξη της ιλύος και του πολυμερούς είναι ουσιαστική για την σωστή βελτίωση. Η ανάμιξη δεν θα πρέπει να σπάει τα συσσωματώματα, αφού έχουν σχηματισθεί, και η παρακράτηση θα πρέπει να διατηρείται στο ελάχιστο, έτσι ώστε η ιλύς να φτάσει στη μονάδα αφυδάτωσης όσο πιο σύντομα μετά την βελτίωση, εάν είναι δυνατόν. Οι απαιτήσεις ανάμιξης θα ποικίλουν με τη μέθοδο αφυδάτωσης που χρησιμοποιείται. Συνήθως παρέχεται μια ξεχωριστή δεξαμενή ανάμιξης και συσσωμάτωσης πριν τις φιλτρόπρεσες ή

μπορεί να προστεθεί το βελτιωτικό απευθείας στη γραμμή τροφοδοσίας της ιλύος στη μονάδα της ταινιοφιλτρώπρεσσας, ενώ στη φυγοκέντρωση χρησιμοποιούνται αναδευτήρες σε σειρά. (Metcalf & Eddy, 2006).

2.5 Πολυηλεκτρολύτης

Ο όρος πολυηλεκτρολύτης αναφέρεται σε όλα τα υδατοδιαλυτά οργανικά πολυμερή που δρουν ως κροκιδωτικά. Τα υδατοδιαλυτά πολυμερή μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το φορτίο, το μοριακό βάρος και τη φύση τους

Σύμφωνα με το φορτίο διακρίνονται ως εξής:

- Ανιοντικά, τα οποία ιονίζονται σε υδατικό διάλυμα για τον σχηματισμό αρνητικά φορτισμένων θέσεων κατά μήκος της πολυμερούς αλυσίδας.
- Κατιοντικά, τα οποία ιονίζονται σε υδατικό διάλυμα για τον σχηματισμό θετικά φορτισμένων θέσεων κατά μήκος της πολυμερούς αλυσίδας.
- Μη-ιοντικά, τα οποία ιονίζονται σε υδατικό διάλυμα για τον σχηματισμό πολύ ελαφρά αρνητικά φορτισμένων θέσεων κατά μήκος της πολυμερούς αλυσίδας.

Η σημασία του φορτίου έγκειται στο γεγονός ότι τα σωματίδια της ιλύος είναι αρνητικά φορτισμένα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ηλεκτροστατικής απώθησης, η οποία αναχαιτίζει τη συσσωμάτωσή τους. Η επιτυχία του προστιθέμενου πολυηλεκτρολύτη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα να εξουδετερώνει αυτό το φορτίο. Τα υψηλού φορτίου πολυμερή αλληλεπιδρούν έντονα με το αρνητικό επιφανειακό φορτίο των σωματιδίων της ιλύος με αποτέλεσμα αυτά να έρχονται πολύ κοντά κατά το σχηματισμό συσσωματωμάτων ώστε να προσφέρεται ισχυρός δεσμός που εμποδίζει τη σχετική κίνηση μεταξύ τους. Για τα αστικά λύματα, τα οποία μελετάμε και εμείς, συνήθως τα βελτιωτικά που χρησιμοποιούνται είναι κατιοντικοί πολυηλεκτρολύτες και η βέλτιστη δόση αυτών βρίσκεται στο σημείο μηδενικού φορτίου της ιλύος. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι τα στερεά που σχετίζονται με την αφυδάτωση είναι αρνητικού φορτίου.

Εκτός από το φορτίο τους, άλλη μια διάκριση των πολυμερών γίνεται με βάση το μοριακό του βάρος (χαμηλό, μέσο και υψηλό μοριακό βάρος). Οι πολυηλεκτρολύτες χαμηλού μοριακού βάρους είναι πιο διαλυτοί, έχουν μικρότερο ιξώδες και μεγαλύτερη πυκνότητα φορτίου στο νερό, ενώ οι μέσου καθώς και οι υψηλού μοριακού βάρους έχουν μεγαλύτερο ιξώδες και χρησιμοποιούνται πιο συχνά στη βελτίωση της αφυδατωσιμότητας της ιλύος.

Τέλος, για να γίνει η σωστή χρήση κατάλληλου πολυηλεκτρολύτη πρέπει να εξετάζονται κάθε φορά τα χαρακτηριστικά της υπό μελέτη ιλύος, καθώς και το σύστημα της

μηχανικής αφυδάτωσης που θα χρησιμοποιηθεί. Η βέλτιστη δόση εξαρτάται επιπλέον από τη δομή της κροκίδας, την ένταση της μίξης και τη δαπάνη. Το πολυμερές που προσδίδει καλύτερη απόδοση στην κροκίδωση με τη χαμηλότερη δόση είναι η ιδανική επιλογή. (Πανούση, 2010)

Η χρήση οργανικών πολυμερών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της χρήσης των ανόργανων κροκιδωτικών:

- Η ποσότητα της ιλύος που παράγεται κατά τη διαύγαση μπορεί να μειωθεί κατά 50-90%.
- Η ιλύς που παράγεται περιέχει λιγότερο χημικά δεσμευμένο νερό και μπορεί να αφυδατωθεί πιο εύκολα.
- Τα πολυμερή δεν επηρεάζουν το pH.
- Τα πολυμερή δεν προστίθενται στη συνολική συγκέντρωση διαλυμένων στερεών.

2.5.1 Επεξεργασία με πολυηλεκτρολύτη

Οι πολυηλεκτρολύτες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στους φυσικούς και στους συνθετικούς. Στους σημαντικούς φυσικούς πολυηλεκτρολύτες περιλαμβάνονται πολυμερή βιολογικής προέλευσης και παράγωγα προϊόντων αμύλου, όπως αλγινικά και παράγωγα κυτταρίνης. Οι συνθετικοί πολυηλεκτρολύτες αποτελούνται από μονομερή που πολυμερίζονται σε ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους. Η δράση των πολυηλεκτρολυτών μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- Εξουδετέρωση φορτίου: Στην πρώτη κατηγορία οι πολυηλεκτρολύτες δρουν ως κροκιδωτικά, που εξουδετερώνουν ή μειώνουν το φορτίο των σωματιδίων του υγρού αποβλήτου. Επειδή τα σωματίδια στα υγρά απόβλητα είναι συνήθως φορτισμένα αρνητικά, χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό κατιοντικοί πολυηλεκτρολύτες. Σε αυτή την εφαρμογή οι κατιοντικοί πολυηλεκτρολύτες θεωρούνται πρωτογενή κροκιδωτικά. Για να επιτευχθεί η εξουδετέρωση του φορτίου, οι πολυηλεκτρολύτες πρέπει να προσροφηθούν στην επιφάνεια των σωματιδίων. Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού των σωματιδίων που απαντώνται στα υγρά απόβλητα, για να επιτευχθεί η προσρόφηση των πολυμερών στα κολλοειδή σωματίδια, πρέπει να είναι επαρκής η ένταση της ανάμιξης. Σε συνθήκες ανεπαρκούς ανάμιξης το πολυμερές θα αναδιπλωθεί και θα περιοριστεί η αποτελεσματικότητά του για τη μείωση του επιφανειακού φορτίου. Επιπλέον, αν ο αριθμός των κολλοειδών σωματιδίων είναι περιορισμένος, η απομάκρυνσή τους με χαμηλές συγκεντρώσεις πολυηλεκτρολύτη θα είναι δύσκολη.

- Δημιουργία γέφυρας πολυμερών: Ο δεύτερος τρόπος δράσης των πολυμερών είναι ο σχηματισμός διασωματιδιακής γέφυρας. Σε αυτή τη περίπτωση, πολυμερή που είναι ανιοντικά και μη-ιοντικά προσκολλώνται σε έναν αριθμό θέσεων προσρόφησης στην επιφάνεια των σωματιδίων που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα. Μια γέφυρα σχηματίζεται όταν δύο ή περισσότερα σωματίδια προσκολλώνται κατά μήκος του ίδιου πολυμερούς. Τα γεφυρωμένα σωματίδια συνδέονται μεταξύ τους κατά τη διεργασία της συσσωμάτωσης. Το μέγεθος των τρισδιάστατων σωματιδίων που προκύπτει, μεγαλώνει ωστόσο να μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα με καθίζηση. Όταν η απομάκρυνση των σωματιδίων πρέπει να γίνει με σχηματισμό γεφυρών σωματιδίου-πολυμερούς, η αρχική ανάμιξη του πολυμερούς και των υγρών αποβλήτων, που περιέχουν τα σωματίδια, πρέπει να γίνει μέσα σε δευτερόλεπτα. Η στιγμιαία αρχική ανάμιξη δεν είναι συνήθως απαραίτητη όταν τα πολυμερή έχουν ήδη σχηματιστεί, κάτι που δεν συμβαίνει στην περίπτωση πολυμερών που σχηματίζονται από μεταλλικά άλατα.
- Εξουδετέρωση φορτίου και σχηματισμός γέφυρας πολυμερούς: Ο τρίτος τρόπος δράσης των πολυηλεκτρολυτών μπορεί να ταξινομηθεί ως το φαινόμενο της εξουδετέρωσης φορτίου και του σχηματισμού γέφυρας, το οποίο προκύπτει από τη χρήση κατιοντικών πολυμερών εξαιρετικά μεγάλου μοριακού βάρους.

Κεφάλαιο 3^ο : Πειραματικό μέρος

3.1 Περιγραφή πειραματικής διάταξης

3.1.1 Διαδικασία προετοιμασίας πειράματος

Τα όργανα, τα γυαλικά καθώς και κάθε σκεύος που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο πρέπει να είναι καθαρά και σε καλή κατάσταση για τη διεξαγωγή των αναλύσεων. Πριν και μετά τη χρήση τους, τα γυαλικά υποβάλλονται στη διαδικασία πλυσίματος με άφθονο νερό και στη συνέχεια με απιονισμένο νερό.

Η ιλύς που χρησιμοποιήθηκε ήταν παχυμένη και προερχόταν από τη μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Βορείου Άξονα των Χανίων (ΔΕΥΑΒΑ). Τα δείγματα συλλέγονταν κάθε 2 μέρες και τοποθετούνταν σε κλειστά πλαστικά δοχεία. Διατηρούνταν για μια μέρα στο ψυγείο σε χαμηλή θερμοκρασία για να μην αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά τους. Τα πειράματα διεξάγονταν καθημερινώς για πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Πριν τη λήψη δείγματος μετά από αποθήκευση στο ψυγείο αναδεύονταν πάρα πολύ καλά το δοχείο ώστε να επέλθει ομοιομορφία και το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό.

3.1.2 Διαδικασία προετοιμασίας διαλύματος πολυηλεκτρολύτη

Χρησιμοποιούνταν διάλυμα περιεκτικότητας 0,2% κατιονικού πολυηλεκτρολύτη. Για την παρασκευή του διαλύματος απαιτούνταν ανάμιξη του πολυηλεκτρολύτη, που βρισκόταν σε μορφή σκόνης, με απιονισμένο νερό και ανάδευση αρχικά για λίγα λεπτά στο μηχάνημα vortex και στη συνέχεια για 45-60 λεπτά σε ταχύτητα 400 rpm. Οι δόσεις του πολυηλεκτρολύτη που προστίθενταν στο δείγμα ήταν 20, 40, 60, 70, 80 και 120mg/l.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν πειράματα με 10 διαφορετικούς πολυηλεκτρολύτες, όπου για τον κάθε πολυηλεκτρολύτη πραγματοποιήθηκαν 6 πειράματα για κάθε διαφορετική δόση καθώς και 3 πειράματα όπου έμενε σταθερή η δόση και άλλαζε η ταχύτητα ανάδευσης. Για τα πρώτα 6 πειράματα, όπου άλλαζε η δόση του πολυηλεκτρολύτη, προστίθενταν το διάλυμα πολυηλεκτρολύτη στο δείγμα και αναδεύονταν μαζί για 1 λεπτό σε ταχύτητα 1000 rpm και στη συνέχεια για 30 sec σε ταχύτητα 300 rpm. Στα άλλα 2 πειράματα, όπου παρέμενε σταθερή η δόση του πολυηλεκτρολύτη αλλά άλλαζε η ταχύτητα, προστίθενταν το διάλυμα πολυηλεκτρολύτη στο δείγμα και αναδεύονταν μαζί για 2 λεπτά και 30 sec σε ταχύτητα 500 rpm και σε ταχύτητα 250 rpm, αντίστοιχα.

Οι πολυηλεκτρολύτες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα με τα χαρακτηριστικά τους.

	Praestol			FO 4000 SSH	FO 4350 SH	FO 4400 SH	FO 4440 SH	FO 4490 SH	FO 4700 SH
	650 BC	850 BC	853 BC						
Cationic charge	High	High	Very High	Very Low	Medium	Medium	Medium	Medium	High
Bulk density, kg/m³	577	577	577	0,80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,68
Approximate Viscosity, cP 10g/l	250-400	-	-	-	1250	1040	1100	1020	1100
Dissolution time in DI water, min	-	-	-	5	4	4	4	4	4

3.2 Αναλυτικές Μέθοδοι

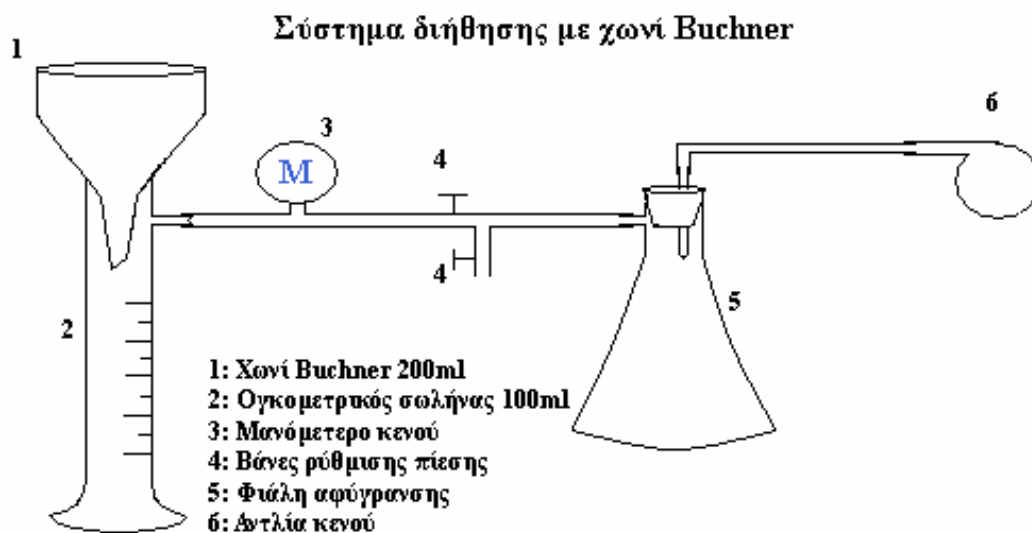
3.2.1 Προσδιορισμός ολικών στερεών (TS)

Η μέτρηση των στερεών στηρίχθηκε στην εφαρμογή της μεθόδου που προτείνεται από την Standard Methods for examination of water and wastewater, 18th edition, 1992. Χρησιμοποιήθηκε ένας αναλυτικός ζυγός ακριβείας, ένας φούρνος 103°C, αλουμινένια σκεύη, ένας ξηραντήρας και ένας ογκομετρικός κύλινδρος. Με τον αναλυτικό ζυγό μετράται το καθαρό βάρος του σκεύους και το μικτό βάρος πριν και μετά τη ξήρανση. Στο σκεύος τοποθετούνται 20 ml δείγματος και εισέρχεται στο φούρνο για 1 μέρα. Έπειτα, τοποθετείται το σκεύος στο ξηραντήρα και στη συνέχεια μετράται το βάρος του. Η συγκέντρωση προσδιορίζεται από τη μάζα των στερεών προς τον όγκο του δείγματος που μετράται και εκφράζεται σε μονάδες g/ml.

3.2.2 Προσδιορισμός ειδικής αντίστασης της ιλύος

Για τη μέτρηση της ειδικής αντίστασης της ιλύος χρησιμοποιήθηκε το σύστημα διήθησης που φαίνεται στο Σχήμα 4. Το σύστημα αποτελείται από ένα χωνί Buchner διαμέτρου 9 cm, έναν ογκομετρικό σωλήνα των 100ml, ένα μανόμετρο και μία αντλία κενού. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στην κατηγορία Filter papers 2 της εταιρείας

Whatman. Για τη μέτρηση, τοποθετούνταν 100ml ιλύος με κενό 0,3 bar. Στη συνέχεια η ποσότητα του διηθήματος καταγραφόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μικρότερα στην αρχή και μεγαλύτερα στη συνέχεια. Η μέτρηση έληγε όταν το διήθημα κυμαινόταν μεταξύ 85-90 ml (Βακόνδιος 2007).



Σχήμα 4: Σύστημα διήθησης με χωνί Buchner για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης.

Το φαινόμενο της διήθησης περιγράφεται από τη σχέση του Darcy:

$$\frac{dV/A}{dT} = \frac{P}{\mu R}$$

Όπου,

V: όγκος του διηθήματος (m³)

A: επιφάνεια διήθησης (m²)

T: χρόνος διήθησης (sec)

P: ασκούμενη πίεση (N/m²)

μ: δυναμικό ιξώδες (N·sec/m²)

R: συνολική αντίσταση της διήθησης

Η συνολική αντίσταση της διήθησης είναι άθροισμα της αντίστασης του μέσου και της αντίστασης της ιλύος, δηλαδή

$$R = r^* \cdot C \cdot \frac{V}{A} + R_m \quad (1)$$

Όπου,

r^* : ειδική αντίσταση της ιλύος ανά μονάδα μάζας των ολικών στερεών (m/kg)

C : συγκέντρωση των ολικών στερεών (kg/m³)

R_m : αντίσταση του μέσου (1/m)

Η αντίσταση του μέσου είναι πολύ μικρή σε σχέση με την αντίσταση της ιλύος και η επίδρασή της είναι υπολογίσιμη μόνο στην αρχή της διήθησης.

Συνεπώς η Εξίσωση (1) μπορεί να μετατραπεί στην

$$\frac{dV/A}{dT} = \frac{P}{\mu \cdot r^* \cdot C \cdot \frac{V}{A}} \Rightarrow \frac{dV}{dT} = \frac{P \cdot A^2}{\mu \cdot r^* \cdot C \cdot V}$$

Ολοκληρώνοντας την παραπάνω σχέση προκύπτει η εξίσωση:

$$\frac{T}{V} = \frac{\mu \cdot r^* \cdot C}{2P \cdot A^2} V \quad (2)$$

Από τις πειραματικές μετρήσεις, κάνοντας το γράφημα του χρόνου/όγκου διηθήματος ως προς τον όγκο του διηθήματος, μπορούμε να υπολογίσουμε την κλίση της εξίσωσης $T/V=f(V)$. Από την Εξίσωση (2) η κλίση b θα είναι ίση με

$$b = \frac{\mu \cdot r^* \cdot C}{2P \cdot A^2}$$

Επομένως, η ειδική αντίσταση δίνεται από τη σχέση:

$$r^* = \frac{2P \cdot b \cdot A^2}{\mu \cdot C}$$

Όπου,

r^* : ειδική αντίσταση της ιλύος ανά μονάδα μάζας των ολικών στερεών (m/kg)

P : ασκούμενη πίεση (N/m²)

A : επιφάνεια διήθησης (m²)

μ : δυναμικό ιξώδες (N·sec/m²)

b : κλίση $\Delta t/\Delta V=f(V)$ (sec/m⁶)

C : συγκέντρωση ολικών στερεών μετά την ξήρανση (kg/m³)

Η αξιοπιστία και η εγκυρότητα της μέτρησης εξαρτώνται από την ακρίβεια των παραμέτρων που την επηρεάζουν. Η επιφάνεια διήθησης τις περισσότερες φορές θεωρείται ίση με την επιφάνεια του χρησιμοποιούμενου φίλτρου. Ωστόσο, μπορεί να είναι διαφορετική ανάλογα με τη συσκευή διήθησης που χρησιμοποιείται.

Θεωρητικά η ειδική αντίσταση στη διήθηση είναι ανεξάρτητη από τη συγκέντρωση των στερεών της ιλύος. Ωστόσο, πειράματα έχουν δείξει ότι υπάρχει μια ελάχιστη συγκέντρωση στερεών κάτω από την οποία η ειδική αντίσταση στη διήθηση επηρεάζεται και μάλιστα αυξάνεται. Αυτό το όριο είναι διαφορετικό για κάθε ιλύ, γι αυτό και πρέπει κάθε φορά να καθορίζεται.

Η ειδική αντίσταση στη διήθηση επηρεάζεται επίσης από το αρχικό στάδιο της διήθησης. Υπάρχει ένα χρονικό διάστημα στο οποίο η σχέση T/V και V δεν είναι παραβολική. Ο χρόνος αυτός σχετίζεται με τον χρόνο, που έκανε το στερεό υπόλειμμα να σχηματιστεί πάνω στο χρησιμοποιούμενο φίλτρο και εξαρτάται από το άνοιγμα των πόρων του επιλεγμένου φίλτρου, τη συγκέντρωση στερεών της ιλύος και από το αν η ιλύς αφυδατώνεται εύκολα ή όχι. Υπάρχουν και άλλες διαδικασίες, που επηρεάζουν τη μέτρηση, όπως η χρονική στιγμή που εφαρμόστηκε η πίεση, το πότε ξεκινούσε η χρονομέτρηση και με πόση ακρίβεια γινόταν η ανάγνωση του διηθούμενου όγκου από τον παρατηρητή. Επομένως, δίνεται μεγάλη σημασία στην ακριβή ανάγνωση του διηθημένου όγκου και στο συγχρονισμό των τιμών του χρόνου και του όγκου που καταγράφεται, διαφορετικά αλλοιώνεται η υπολογιστική τιμή της ειδικής αντίστασης. Μεγαλύτερη επιρροή από τις παραπάνω παραμέτρους αποτελεί το αρχικό στάδιο της διήθησης μέχρι το σχηματισμό του στερεού υπολείμματος. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού είναι η καταγραφή της μεταβολής dT/dV σε σχέση με τον όγκο V , συνεπώς δεν θα χρειάζεται διόρθωση του όγκου.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η μέτρηση της ειδικής αντίστασης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στον προσδιορισμό όλων αυτών των παραμέτρων. Οι μετρούμενες τιμές μελετούνται συγκριτικά και σε κάθε περίπτωση διατηρήθηκαν οι ίδιες συνθήκες (Μαντζιούρας, 2010).

3.2.3 Προσδιορισμός δυναμικού ιξώδους

Το ιξώδες μετρήθηκε με ομοαξονικό κυκλικό περιστροφικό ιξωδόμετρο τύπου Couette. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το ιξωδόμετρο M3500a της Grace Instruments, που διαθέτει το εργαστήριο Τεχνικής Γεωτρήσεων και Ρευστομηχανικής του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης είναι απαραίτητο να υπολογίσουμε και το δυναμικό ιξώδες. Πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων, βάσει των οποίων προέκυψε η γραφική παράσταση (Σχήμα 5) του ιξώδους ως προς την συγκέντρωση των στερεών (Βακόνδιος, 2007)



Σχήμα 5: Δυναμικό Ιξώδες συναρτήσει της συγκέντρωσης των στερεών.

Από την γραφική παράσταση προκύπτει η εξής εξίσωση για την αερόβια χωνευμένη ιλύ:

$$y = 0,258 \exp(82,591x)$$

Όπου x είναι η συγκέντρωση των στερεών επί της εκατό (TS%) και y το δυναμικό ιξώδες (cP)

3.2.4 Μέτρηση pH

Οι μετρήσεις του pH γινόταν σε πεχάμετρο της CRISON μοντέλο microH2002. Αρχικά γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου χρησιμοποιώντας πρότυπα διαλύματα για pH=4 και pH=7. Μετά από καλή ανάδευση του δείγματος, τοποθετείται το όργανο σε αντιπροσωπευτικό σημείο και αφού σταθεροποιηθεί η τιμή του pH στη συνέχεια καταγράφεται.

Κεφάλαιο 4^ο : Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

4.1 Εισαγωγή

Η ιλύς που παράγεται από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων υπόκειται σε προεπεξεργασία πριν υποστεί μηχανική αφυδάτωση. Η προεπεξεργασία έχει ως στόχο τη βελτίωση της αφυδατωσιμότητας και σε ορισμένες περιπτώσεις τη σταθεροποίηση της ιλύος ταυτόχρονα.

Στη συγκεκριμένη εργασία ασχοληθήκαμε με την βελτίωση των χαρακτηριστικών της παχυμένης ιλύος πριν τη μηχανική αφυδάτωση. Αυτό επιτεύχθηκε με την προσθήκη διαφορετικών πολυηλεκτρολύτων με διαφορετικές δόσεις κάθε φορά, με αποτέλεσμα να βρεθεί η βέλτιστη δόση πολυηλεκτρολύτη.

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Για τον κάθε πολυηλεκτρολύτη έγιναν αρχικά έξι πειράματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις (20, 40, 60, 70, 80, 120 mg/l), με ταχύτητα ανάμιξης σταθερή στα 1000 rpm για 1 min και 500 rpm για 30 sec με σκοπό να βρεθεί η βέλτιστη δόση πολυηλεκτρολύτη. Στη συνέχεια έγιναν τρία πειράματα με διαφορετική ταχύτητα και διάρκεια ανάμιξης. Τα πειράματα περιελάμβαναν τη χρήση του SRF για τη μέτρηση της αφυδατωσιμότητας της ιλύος που είχε προέλευση από τον Βιολογικό καθαρισμό Βορείου Άξονα των Χανίων.

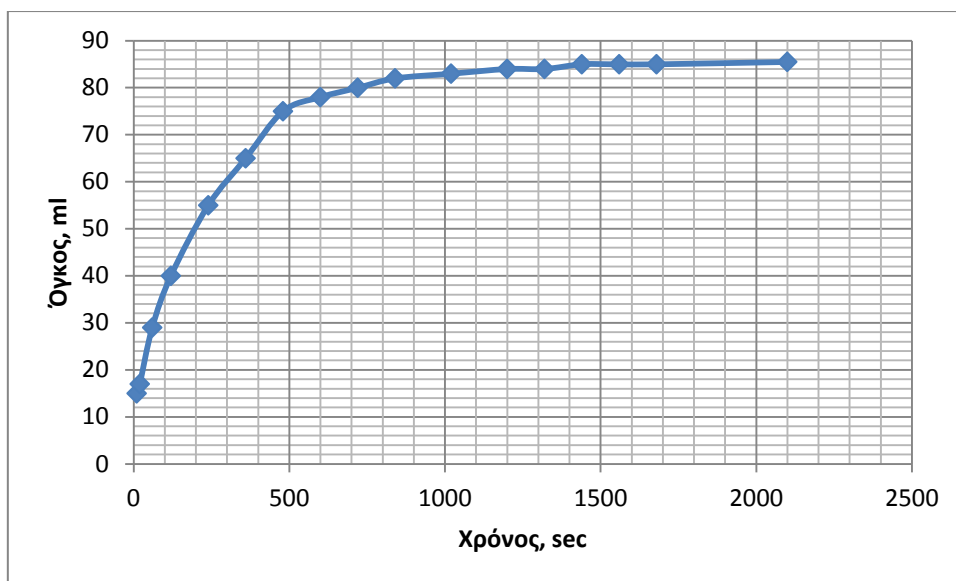
4.2 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Flopam FO

4000SSH

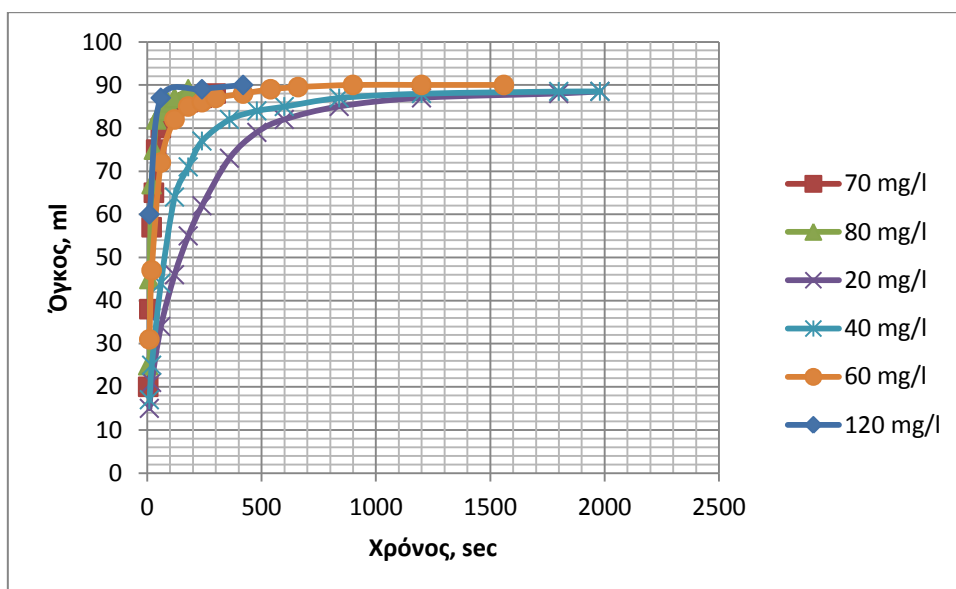
Ο συγκεκριμένος τύπος πολυηλεκτρολύτη χρησιμοποιείται ήδη στην ΕΕΛ του Βορείου Άξονα Χανίων, από όπου λαμβάνονταν τα δείγματα της ιλύος. Η πυκνότητα και το μοριακό του βάρος είναι υψηλά και μπορεί να αποθηκευτεί σε θερμοκρασίες από 0-35 °C.

4.2.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα μέτρησης ειδικής αντίστασης της ιλύος. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η αφυδατωσιμότητα της ιλύος χωρίς την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη και στο σχήμα 7 η αφυδατωσιμότητα της ιλύος με την προσθήκη διαφορετικών δόσεων αλλά με ίδια ταχύτητα ανάμιξης (1000rpm για 1 λεπτό και 300rpm για 30sec).



Σχήμα 6: Σχέση Χρόνου-Όγκου χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη



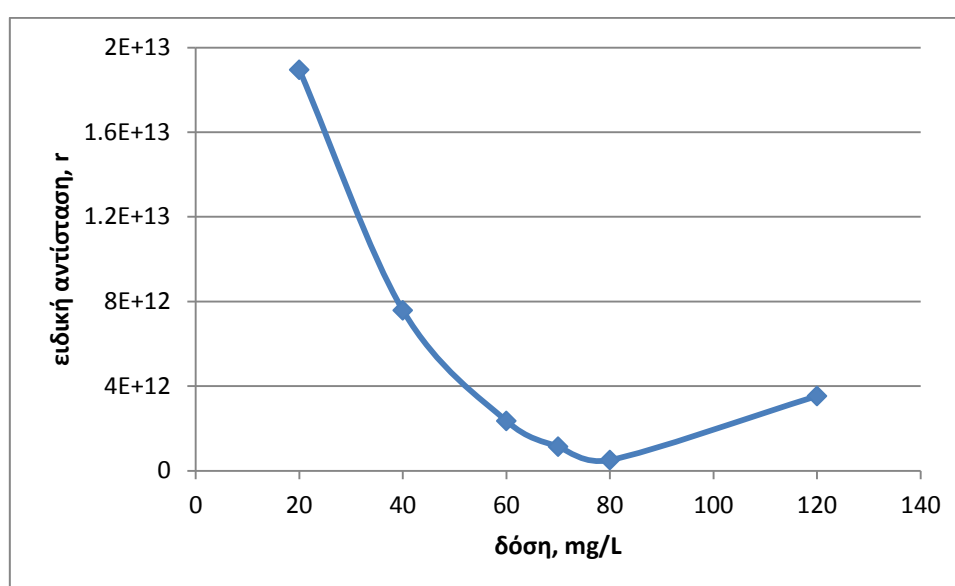
Σχήμα 7: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις

Παρατηρώντας τα δύο παραπάνω σχήματα χωρίς την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη στην ιλύ απαιτείται ο διπλάσιος χρόνος για την αφυδάτωσή της. Κατά συνέπεια, επιβεβαιώνεται η ανάγκη για χρήση πολυηλεκτρολύτη πριν την αφυδάτωση της ιλύος. Επίσης παρατηρούμε ότι όσο αυξάνουμε την δόση του πολυηλεκτρολύτη, τόσο μειώνεται ο χρόνος διήθησης.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η ειδική αντίσταση για κάθε δόση πολυηλεκτρολύτη, η οποία παρουσιάζεται στον Πίνακα 1, ενώ η σχέση αυτών των δύο με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης δόσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.

Πίνακας 1: Αντιστοιχία δόσεων πολυηλεκτρολύτη με την ειδική αντίσταση

Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση, r (m/kg)
20	1,1355E+15
40	4,85017E+14
60	1,50541E+14
70	6,69425E+13
80	3,03136E+13
120	2,28164E+14



Σχήμα 8: Σχέση Δόσης-Ειδικής Αντίστασης

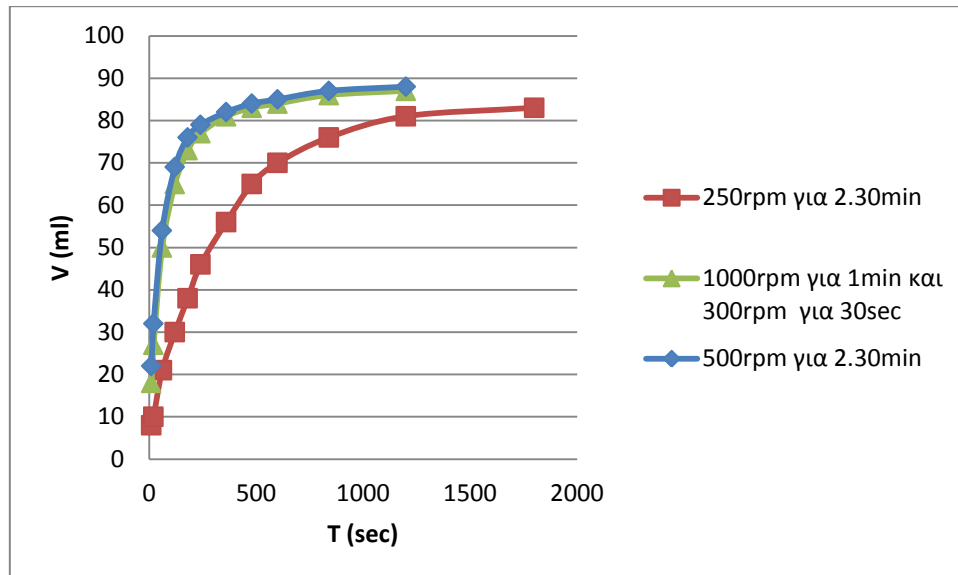
Από το Σχήμα 8 όπου παρουσιάζεται η σχέση της δόσης με την ειδική αντίσταση, παρατηρείται ότι η ειδική αντίσταση είναι μικρότερη για δόση πολυηλεκτρολύτη ίση με 80 mg/l. Επίσης, η διαφορά της ειδικής αντίστασης μεταξύ της δόσης 60 και 80 mg/l είναι πολύ μικρή. Επομένως για οικονομικούς λόγους η βέλτιστη δόση που επιλέγεται είναι 60 mg/l.

Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι καθώς αυξάνεται η δόση του πολυηλεκτρολύτη (πάνω από 80 mg/l), αντί να μειώνει την ειδική αντίσταση αντιθέτως την αυξάνει. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι υπάρχει ένα σημείο λειτουργίας της μηχανικής αφυδάτωσης που από εκεί και πέρα οποιαδήποτε δόση πολυμερούς δεν μπορεί να αφυδατώσει την ιλύ, επομένως δεν προκύπτουν και τα επιθυμητά αποτελέσματα.

4.2.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης.

Αφού βρέθηκε η βέλτιστη δόση πολυηλεκτρολύτη, ώστε να δίνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα για την αφυδατωσιμότητα της ιλύος, πραγματοποιήθηκαν πειράματα

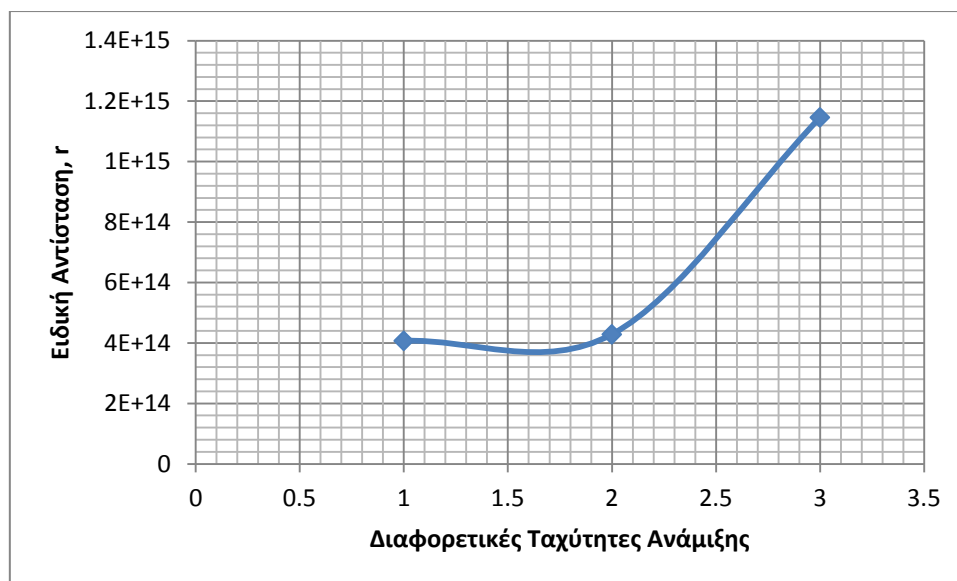
χρησιμοποιώντας αυτή τη δόση, αλλά με διαφορετικές συνθήκες ανάμιξης. Αρχικά πραγματοποιήθηκε πείραμα με ταχύτητα 1000 rpm για 1 min και 300 rpm για 30sec, έπειτα 500rpm για 2,30 min και τέλος 250 rpm για 2.30min. Στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών.



Σχήμα 9: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 2: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση r,m/kg
1000 rpm και 500 rpm	4,07054E+14
500 rpm	4,28478E+14
250 rpm	1,14618E+15

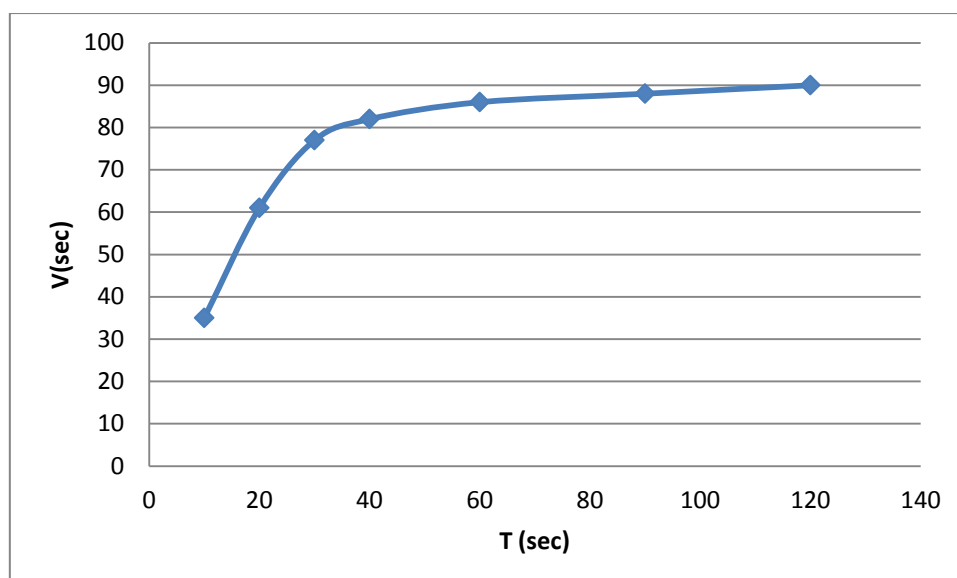


Σχήμα 10: Σχέση ειδικής αντίστασης με διαφορετικές ταχύτητες ανάμιξης

Όπως παρατηρείται από τα Σχήματα 9,10 και τον Πίνακα 2 με τις τιμές της ειδικής αντίστασης σε κάθε περίπτωση η μικρότερη τιμή που προσφέρει καλύτερη αφυδατωσιμότητα είναι αυτή που αντιστοιχεί σε ταχύτητα ανάδευσης 1000rpm για 1min και 300rpm για 30sec.

4.2.3 Προσδιορισμός ειδικής αντίστασης της επεξεργασμένης ιλύος από την εγκατάσταση του Βιολογικού Καθαρισμού της ΔΕΥΑΒΑ

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η συμπεριφορά της ειδικής αντίστασης χρησιμοποιώντας ως δείγμα επεξεργασμένη ιλύ με πολυηλεκτρολύτη που έχει ήδη προστεθεί στην ΕΕΛ του Βορείου Άξονα Χανίων. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται η σχέση του χρόνου με τον όγκο κατά την διήθηση.



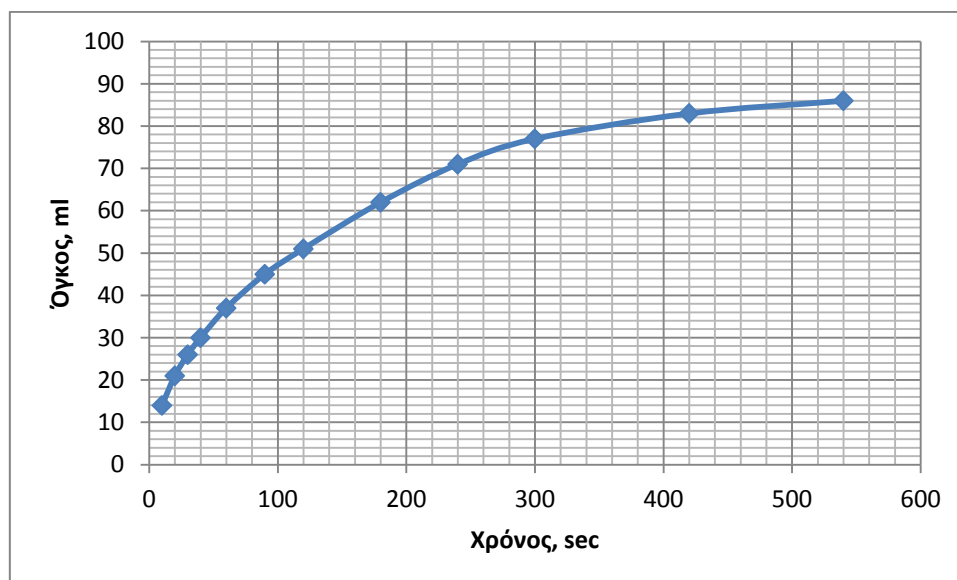
Σχήμα 11: Σχέση όγκου διηθήματος με χρόνο με την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη

Η ειδική αντίσταση, που υπολογίστηκε για την ιλύ που προμηθευτήκαμε από την ΕΕΛ του Βορείου Άξονα Χανίων έχοντας ήδη προσθέσει τη δόση πολυηλεκτρολύτη, είναι ίση με $4,83E+13$. Συγκρίνοντας αυτήν την τιμή με τις τιμές της ειδικής αντίστασης της κάθε δόσης πολυηλεκτρολύτη που προστέθηκε στο κάθε πείραμα, η τιμή αυτή αντιστοιχεί για συγκέντρωση πολυηλεκτρολύτη ανάμεσα στα 70 και 80 mg/l. Συγκρίνοντας το Σχήμα 8, όπου παρουσιάζεται η σχέση της ειδικής αντίστασης με την κάθε δόση πολυηλεκτρολύτη, με τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο παρατηρείται ότι η μικρότερη δόση ήταν αυτή των 80 mg/l. Επομένως, τα εργαστηριακά πειράματα αντιστοιχούν με τις πραγματικές συνθήκες στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων. Όμως, καθαρά για οικονομικούς λόγους θεωρήθηκε ως βέλτιστη δόση πολυηλεκτρολύτη αυτή των 60 mg/l, διότι παρατηρήθηκε ότι η διαφορά των ειδικών αντιστάσεων ήταν μικρή, οπότε δεν υπήρχε κάποιο πρόβλημα.

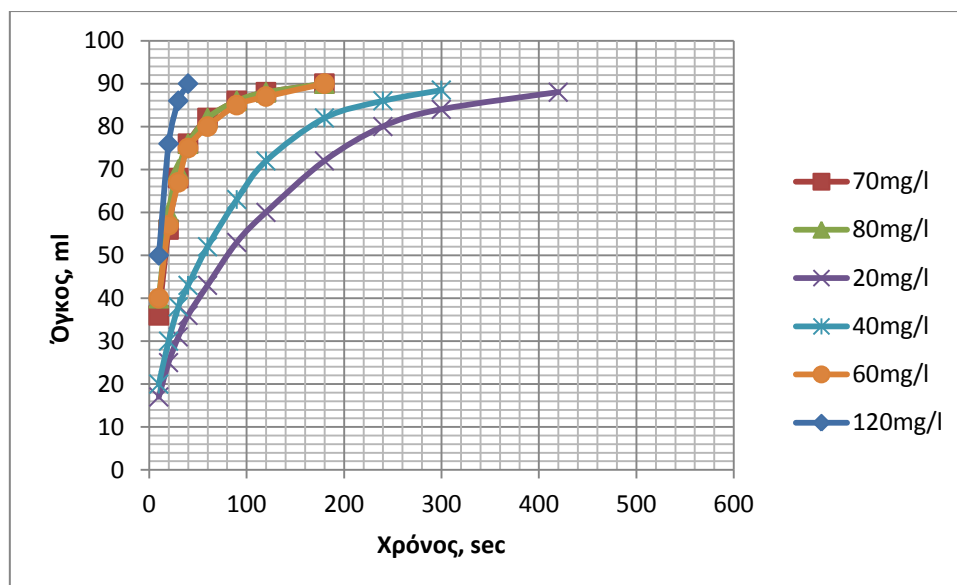
4.3 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Praestol 650 BC

Ο συγκεκριμένος πολυηλεκτρολύτης έχει υψηλό κατιοντικό φορτίο και ένα από τα μειονεκτήματά του είναι ότι είναι επιβλαβής για τους υδρόβιους οργανισμούς, καθώς μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον. Το pH μπορεί να κυμαίνεται από 1-13, μια τυπική τιμή είναι pH=4.

4.3.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 12: Σχέση Χρόνου- Όγκου χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη



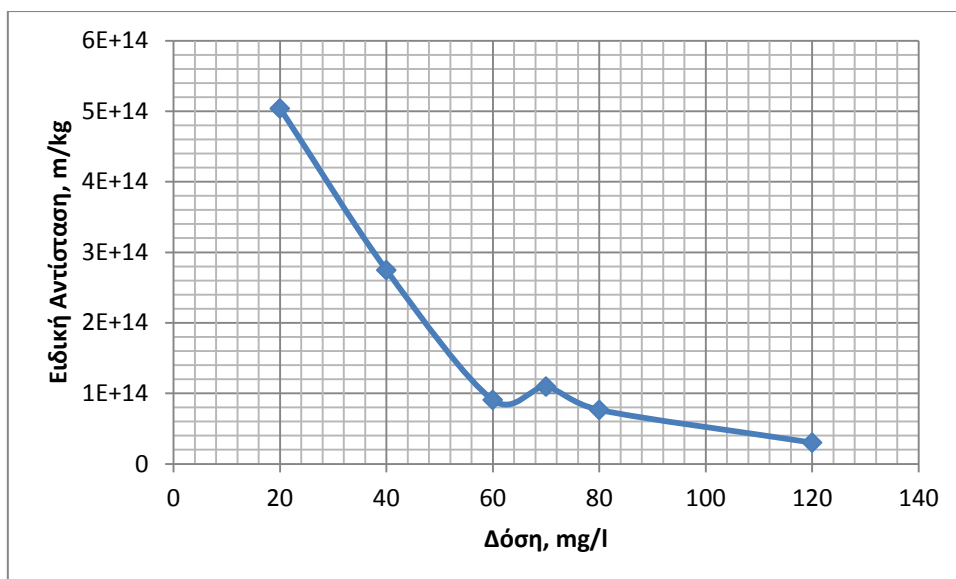
Σχήμα 13: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις αλλά ίδια ταχύτητα ανάδευσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 12, 13 χωρίς την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη στην ιλύ απαιτείται ο διπλάσιος χρόνος για την αφυδάτωση της. Επομένως η ανάγκη για την προσθήκη πολυμερούς είναι βέβαιη. Όσο αυξάνεται η δόση του πολυηλεκτρολύτη τόσο μειώνεται ο χρόνος διήθησης.

Για να βρεθεί η βέλτιστη δόση που χρειάζεται για καλή αφυδατωσιμότητα υπολογίστηκε η ειδική αντίσταση σε κάθε περίπτωση. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι υπολογιστικές τιμές της ειδικής αντίστασης της ιλύος για κάθε δόση πολυηλεκτρολύτη.

Πίνακας 3: Αντιστοιχία Δόσεων με την Ειδική Αντίσταση

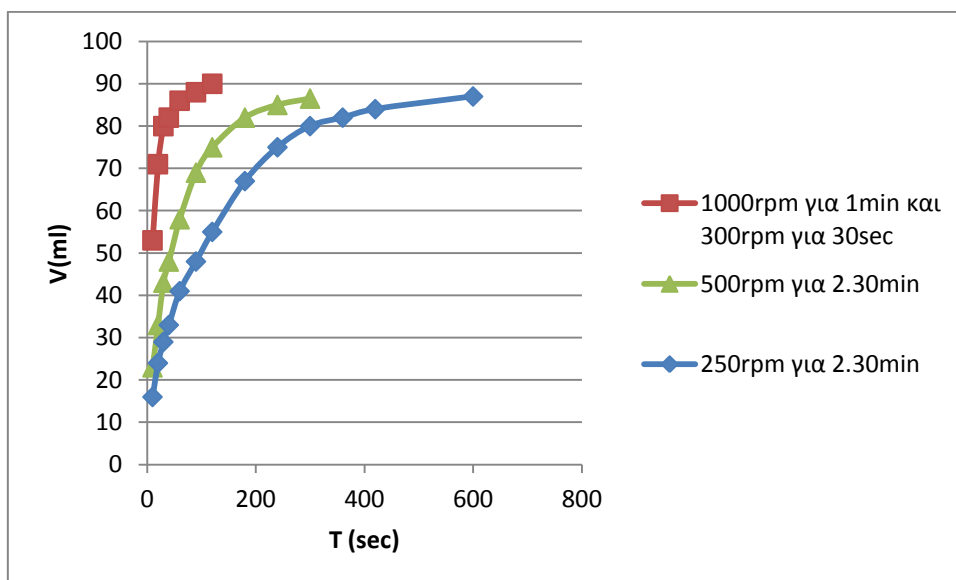
Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση g,m/kg
20	5,03917E+14
40	2,7474E+14
60	9,07398E+13
70	1,09644E+14
80	7,65953E+13
120	3,02466E+13



Σχήμα 14: Σχέση Δόσης- Ειδικής Αντίστασης

Από τα Σχήματα 12,13 και τον Πίνακα 3 με τις διαφορετικές δόσεις προκύπτουν οι αντίστοιχες ειδικές αντιστάσεις. Παρατηρείται ότι μικρότερη ειδική αντίσταση έχουμε για δόση πολυηλεκτρολύτη ίση με 120mg/l. Ο πολυηλεκτρολύτης αυτός όμως επειδή απαιτεί προσθήκη μεγάλης δόσης δεν είναι οικονομικός. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά των τιμών της ειδικής αντίστασης ανάμεσα στις δόσεις 60 έως 120 mg/l είναι πολύ μικρή. Οπότε η βέλτιστη δόση και για οικονομικούς λόγους είναι αυτή των 60 mg/l.

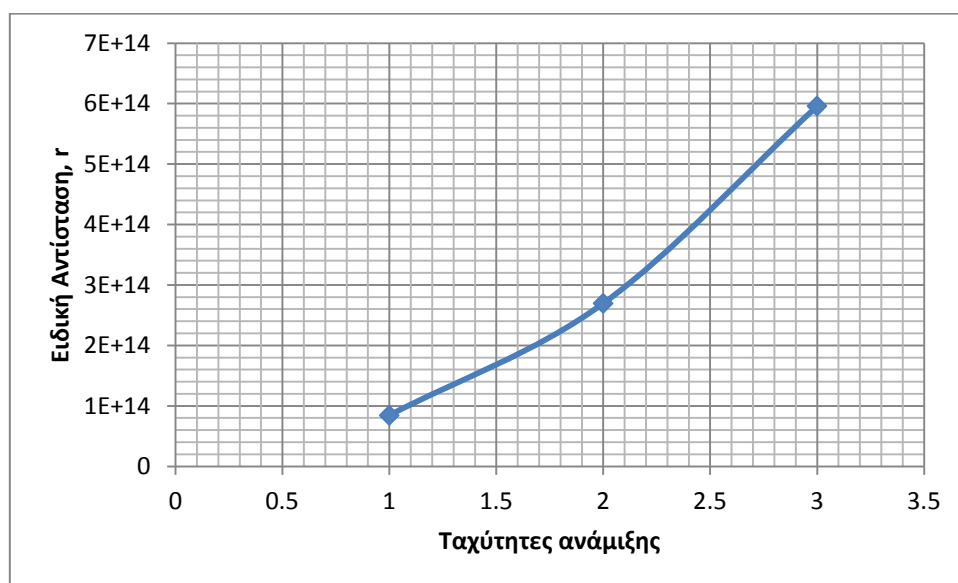
4.3.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης



Σχήμα 15: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 4: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση $r, \text{m/kg}$
1000 rpm και 500 rpm	$8,44384\text{E}+13$
500 rpm	$2,69699\text{E}+14$
250 rpm	$5,9611\text{E}+14$

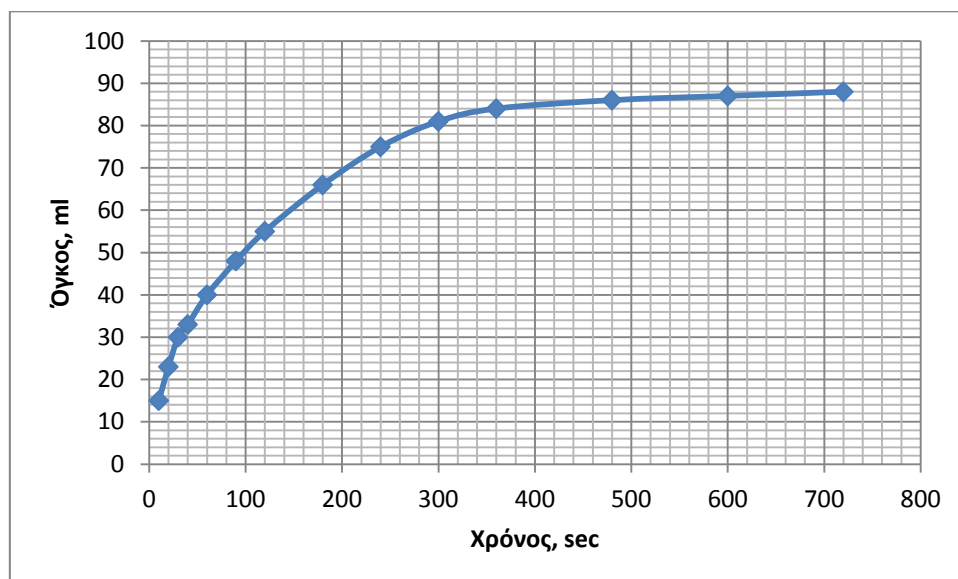


Σχήμα 16: Σχέση ειδικής αντίστασης με διαφορετικές ταχύτητες ανάμιξης

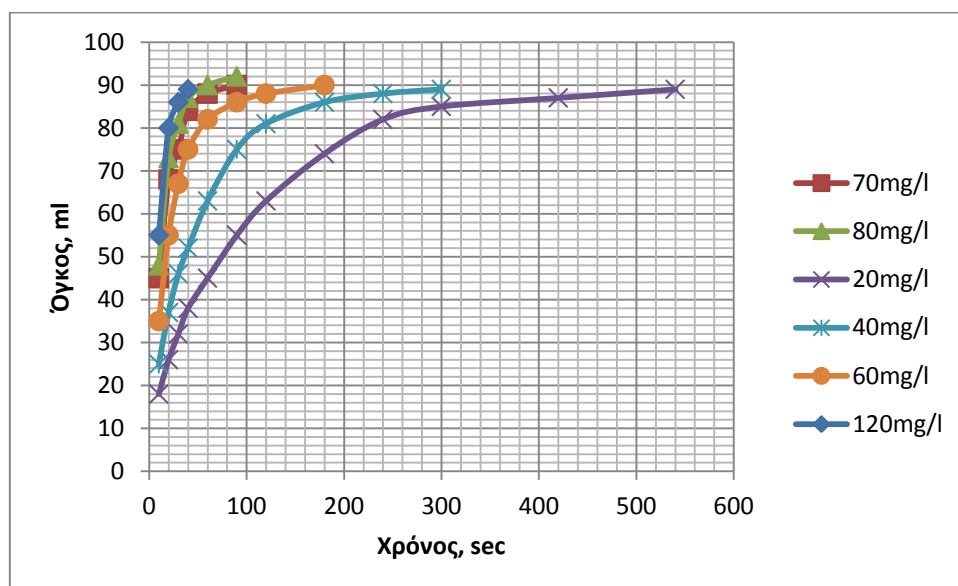
Από το Σχήμα 16 και τον Πίνακα 4 παρατηρείτε ότι η ταχύτητα ανάμιξης που αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση είναι αυτή των 1000rpm για 1 λεπτό και 300 rpm για 30sec.

4.4 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Praestol 850BC

4.4.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 17: Σχέση χρόνου-όγκου χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη

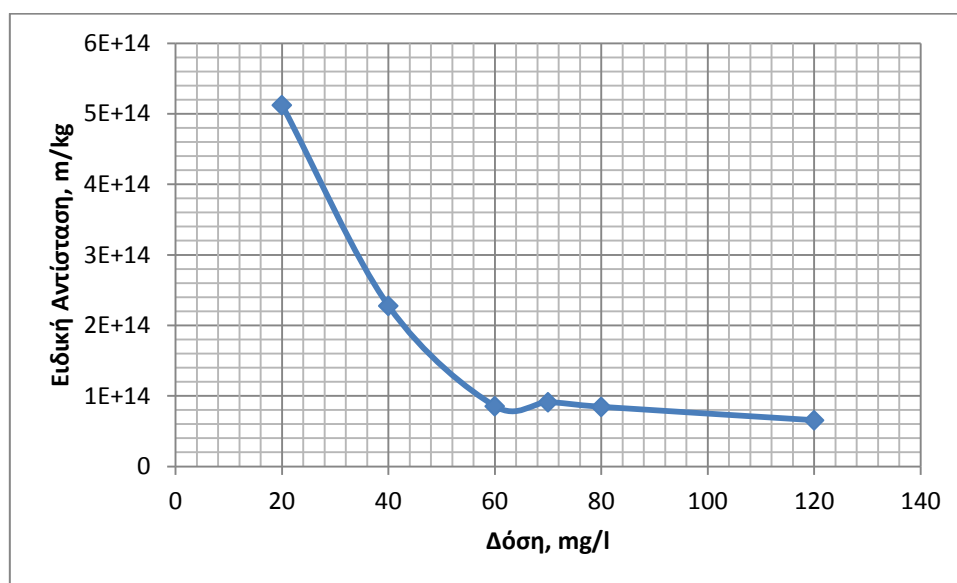


Σχήμα 18: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις αλλά ίδια ταχύτητα ανάδευσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 17,18 χωρίς την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη στην ιλύ απαιτείται ο διπλάσιος χρόνος για την αφυδάτωση της. Όσο αυξάνεται η δόση του πολυηλεκτρολύτη τόσο μειώνεται ο χρόνος διήθησης.

Πίνακας 5: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των δόσεων

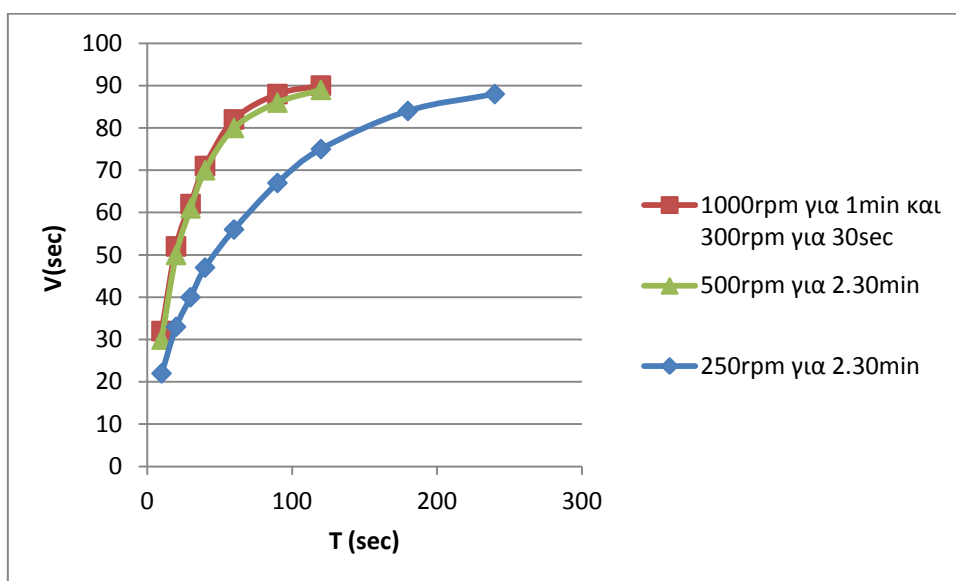
Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση r,m/kg
20	5,12237E+14
40	2,27676E+14
60	8,53783E+13
70	9,10702E+13
80	8,44189E+13
120	6,54567E+13



Σχήμα 19: Σχέση Δόσης-Ειδικής Αντίστασης

Από το Σχήμα 19 και το Πίνακα 5 παρατηρείται ότι η διαφορά μεταξύ των δόσεων 60, 70, 80, 120 mg/l είναι πολύ μικρή. Οπότε επιλέγονται ως βέλτιστη δόση τα 60 mg/l και όσον αφορά την ταχύτητα ανάδευσης παρατηρείται ότι η διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων 1000 rpm και 300 rpm είναι πολύ μικρή. Αντιθέτως, όταν το δείγμα αναδεύεται με 250 rpm για 2.30sec είναι πιο χρονοβόρο.

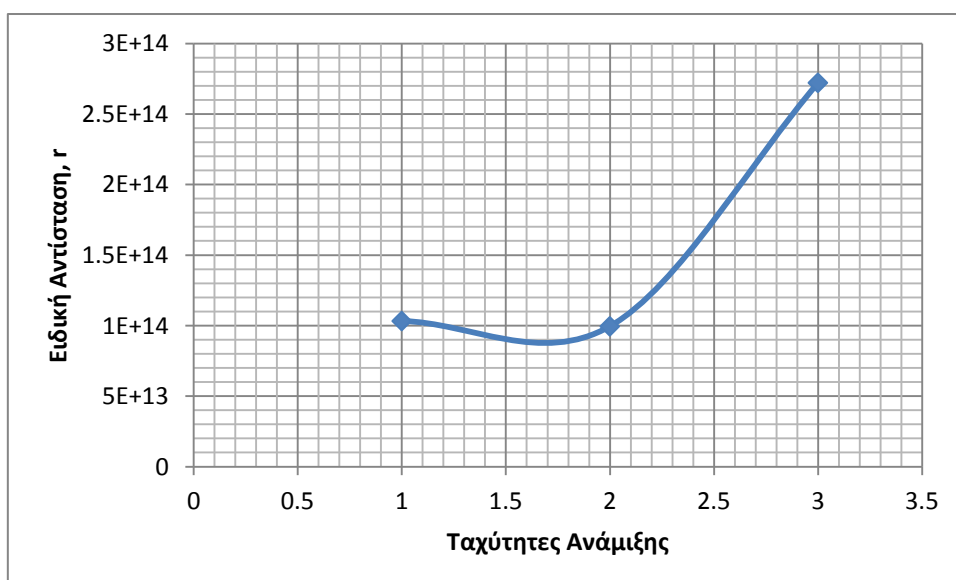
4.4.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης



Σχήμα 20: Σχέση Χρόνου-Όγκου με ίδια δόση αλλά διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 6: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των ταχυτήτων ανάμιξης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση r,m/kg
1000 rpm και 500 rpm	1,03343E+14
500 rpm	9,95617E+13
250 rpm	2,72219E+14

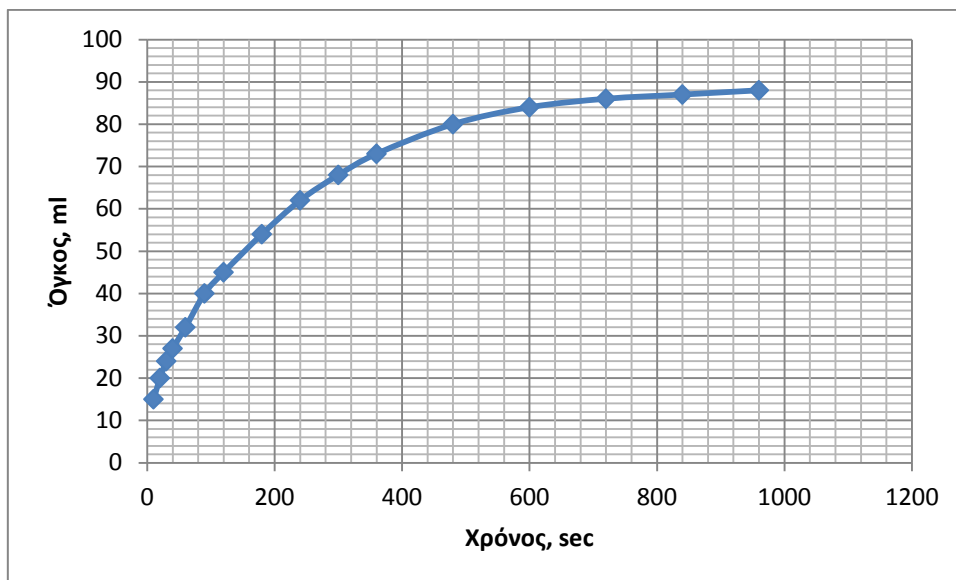


Σχήμα 21: Σχέση ειδικής αντίστασης με ταχύτητες ανάμιξης

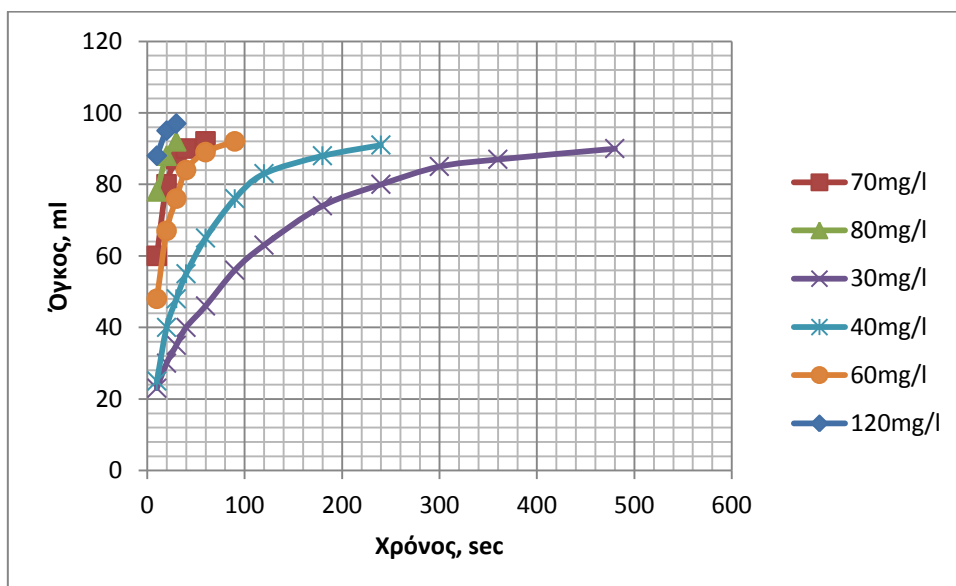
Από τα Σχήματα 20,21 και τον Πίνακα 6 παρατηρείται ότι βέλτιστη συνθήκη ανάμιξης που αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση ώστε να υπάρξει βελτίωση της αφυδατωσιμότητας είναι αυτή των 500rpm για 2,30min.

4.5 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη Praestol 853BC

4.5.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 22: Σχέση Χρόνου-Όγκου χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη

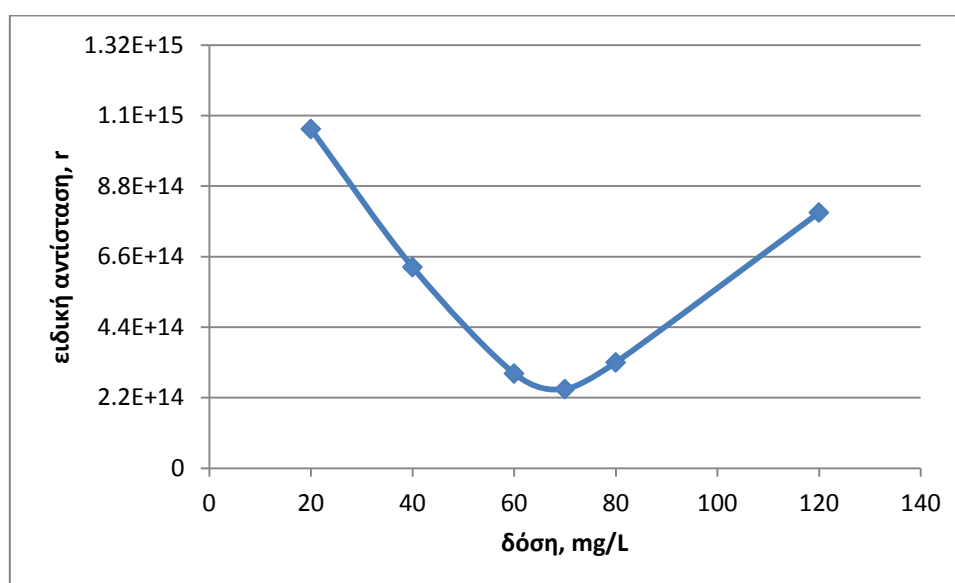


Σχήμα 23: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις

Παρατηρώντας τα Σχήματα 22,23 χωρίς την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη στην ιλύ απαιτείται ο διπλάσιος χρόνος για την αφυδάτωση της. Όσο αυξάνεται η δόση του πολυηλεκτρολύτη Praestol 853BC τόσο μειώνεται ο χρόνος διήθησης.

Πίνακας 7: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης σε σχέση με την δόση του πολυηλεκτρολύτη

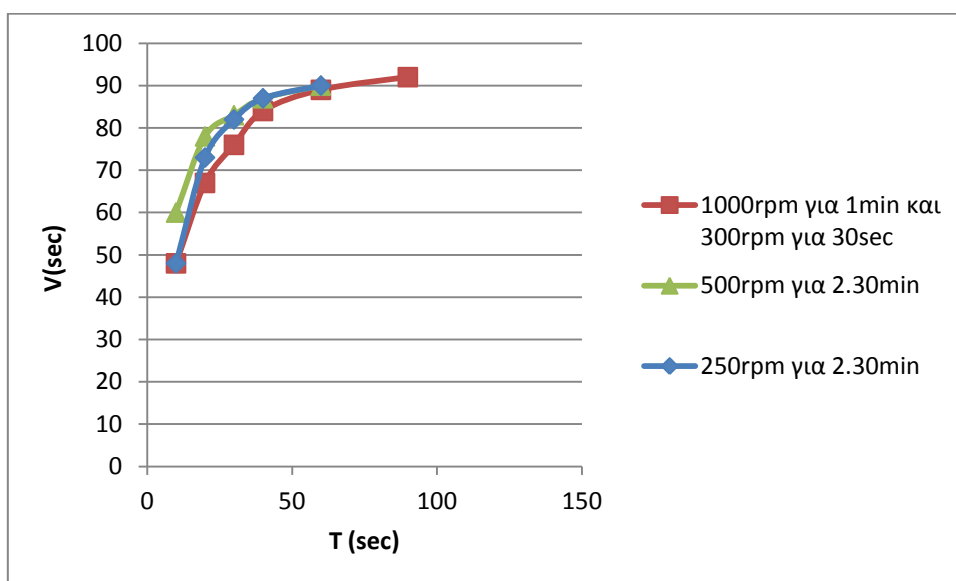
Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση r , m/kg
20	1,05828E+15
40	6,2764E+14
60	2,95598E+14
70	2,47007E+14
80	3,30402E+14
120	7,9771E+14



Σχήμα 24: Σχέση Δόσης-Ειδικής Αντίστασης

Από το Σχήμα 24 και τον Πίνακα 7 με τις υπολογιστικές τιμές της ειδικής αντίστασης παρατηρείται ότι η δόση με την μικρότερη ειδική αντίσταση είναι τα 70mg/l. Επειδή η διαφορά της δόσης των 60 mg/l με των 70 mg/l είναι ελάχιστη, για οικονομικούς λόγους επιλέγεται δόση των 60 mg/l.

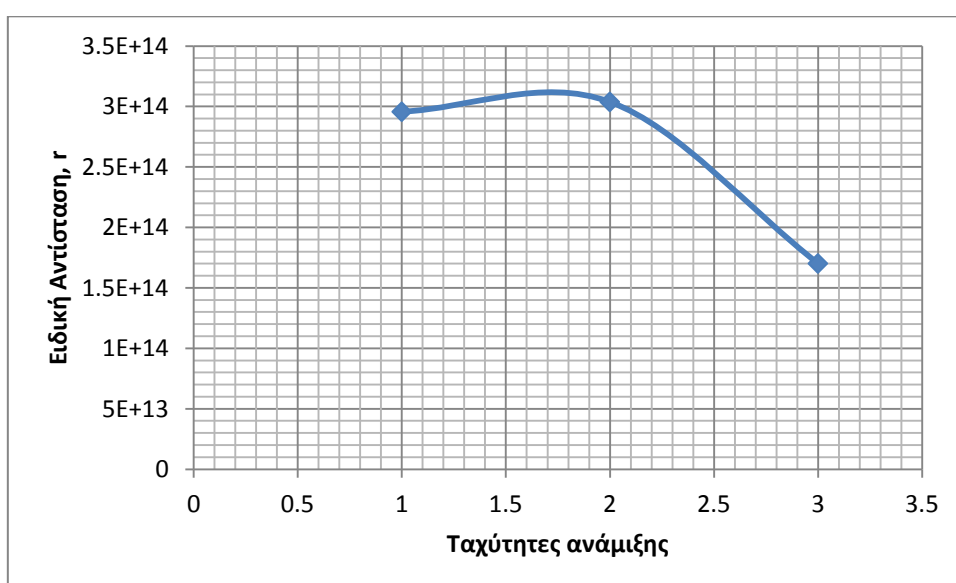
4.5.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης



Σχήμα 25: Σχέση Χρόνου-Όγκου με ίδια δόση αλλά διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 8: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των ταχυτήτων ανάμιξης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση $r, m/kg$
1000 rpm και 500 rpm	2,95598E+14
500 rpm	3,03697E+14
250 rpm	1,7007E+14

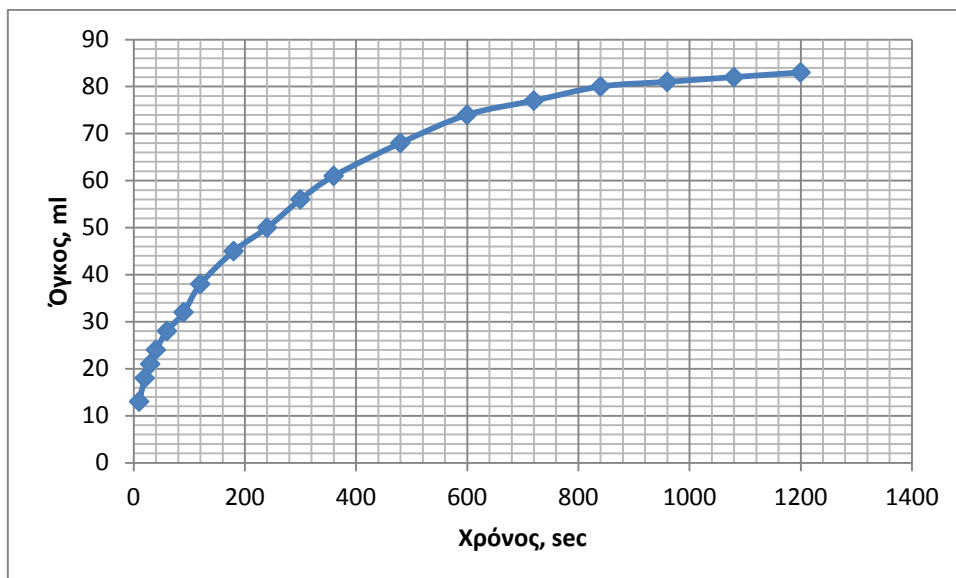


Σχήμα 26: Σχέση ειδικής αντίστασης συναρτήσει με ταχύτητες ανάμιξης

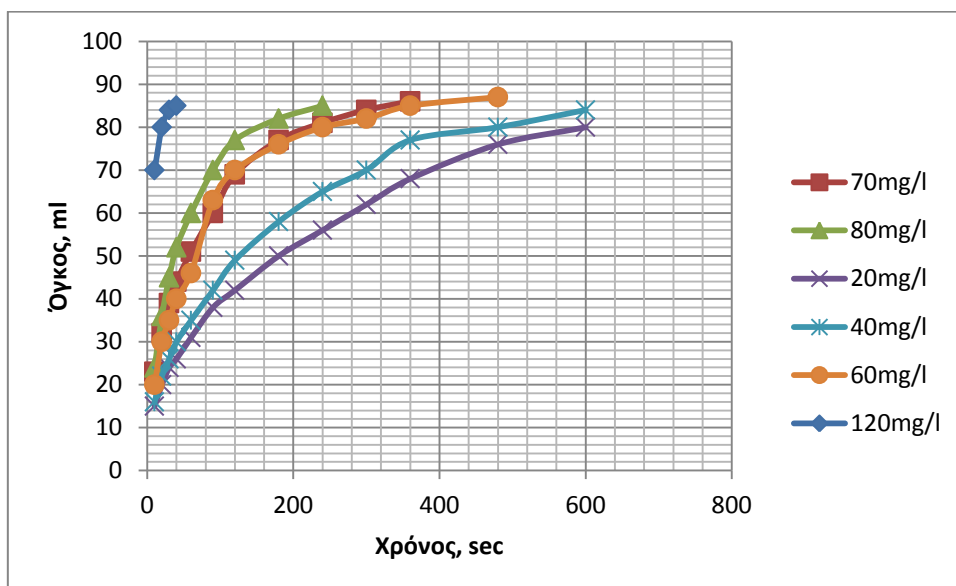
Από τα Σχήματα 25,26 και τον Πίνακα 8 παρατηρείται ότι βέλτιστη συνθήκη ανάμιξης που αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση ώστε να υπάρξει βελτίωση της αφυδατωσιμότητας είναι αυτή των 250 rpm για 2,3 min.

4.6 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4350SH

4.6.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 27: Σχέση χρόνου-Όγκου χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη

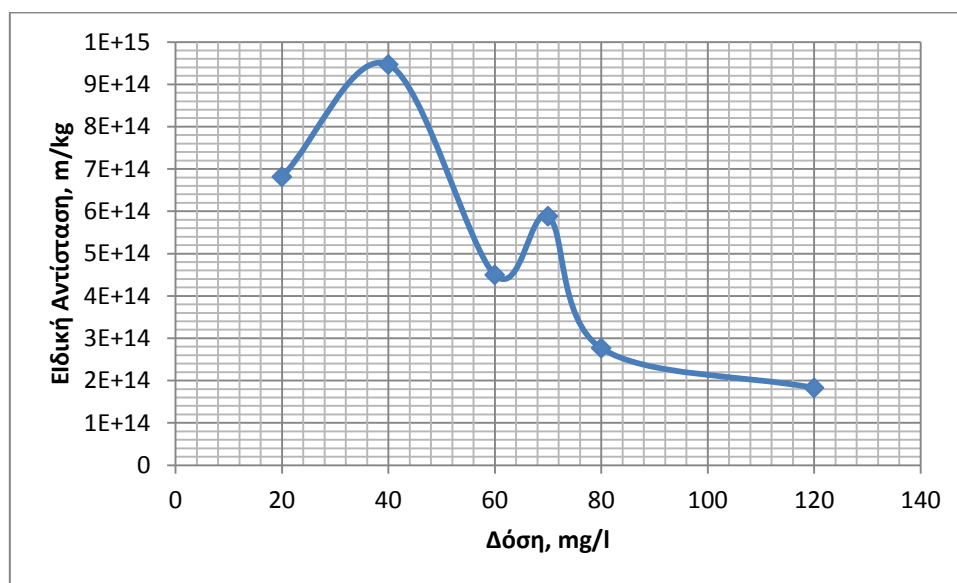


Σχήμα 28: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις αλλά ίδια ταχύτητα ανάδευσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 27,28 χωρίς την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη στην ιλύ απαιτείται ο διπλάσιος χρόνος για την αφυδάτωση της. Όσο αυξάνεται η δόση του πολυηλεκτρολύτη τόσο μειώνεται ο χρόνος διήθησης.

Πίνακας 9: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των δόσεων

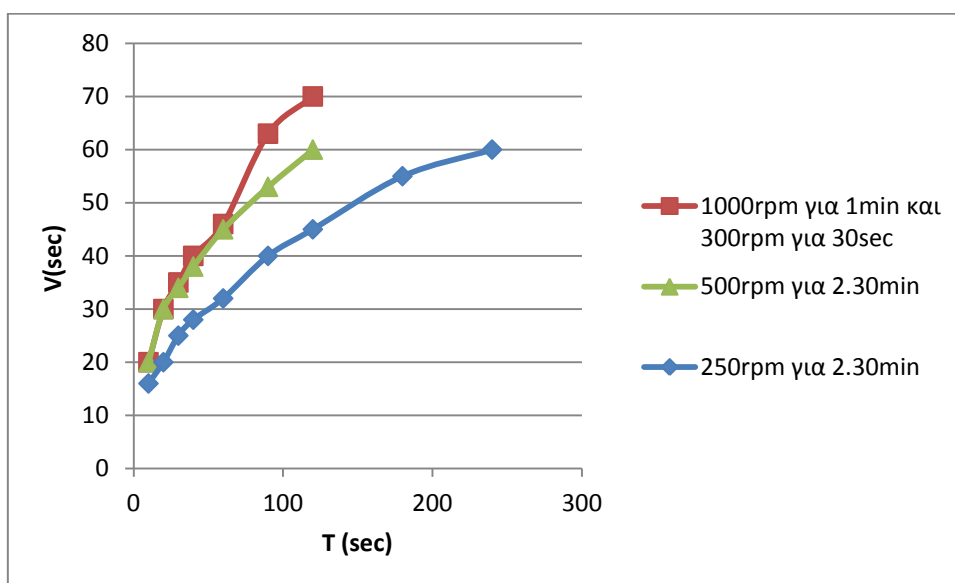
Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση r,m/kg
20	6,81771E+14
40	9,46946E+14
60	4,49958E+14
70	5,88505E+14
80	2,76848E+14
120	1,83034E+14



Σχήμα 29: Σχέση Δόσεων- Ειδικής Αντίστασης

Όπως παρατηρείται από το Σχήμα 29 και τον Πίνακα 9 η μικρότερη ειδική αντίσταση αντιστοιχεί στη δόση πολυηλεκτρολύτη ίση με 120mg/l. Η χρήση όμως του συγκεκριμένου πολυηλεκτρολύτη δεν εξυπηρετεί για οικονομικούς λόγους.

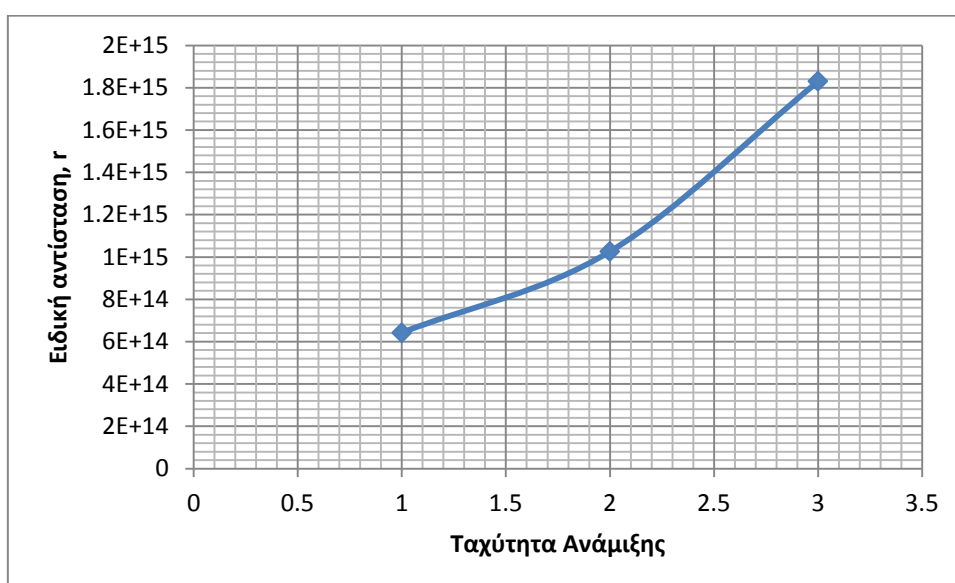
4.6.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης



Σχήμα 30: Σχέση Χρόνου-Όγκου με ίδια δόση αλλά διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 10: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των ταχυτήτων ανάμιξης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση $r, m/kg$
1000 rpm και 500 rpm	6,4154E+14
500 rpm	1,0257E+15
250 rpm	1,8304E+15

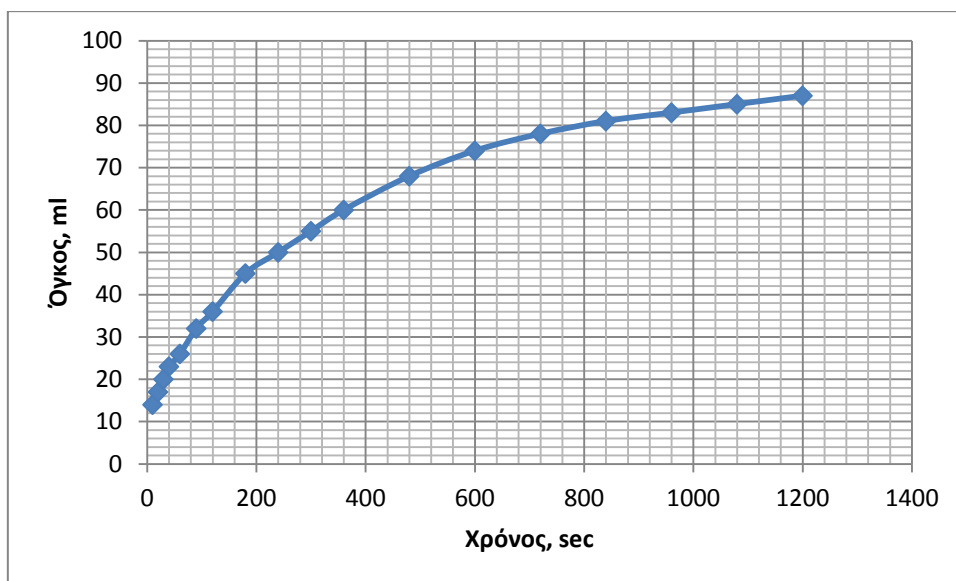


Σχήμα 31: Σχέση ειδικής αντίστασης-ταχύτητας ανάμιξης

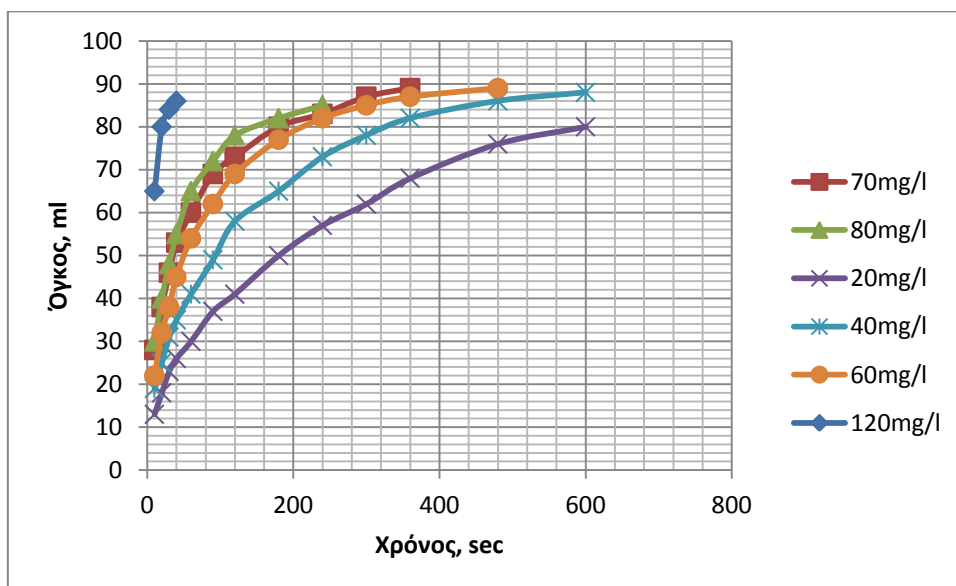
Από τα Σχήματα 30,31 και τον πίνακα 10 παρατηρείται ότι βέλτιστη συνθήκη ανάμιξης που αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση ώστε να υπάρξει βελτίωση της αφυδατωσιμότητας είναι ο συνδυασμός των 1000rpm για 1 λεπτό και 300rpm για 30sec.

4.7 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4400SH

4.7.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 32: Σχέση Χρόνου- Όγκου χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη

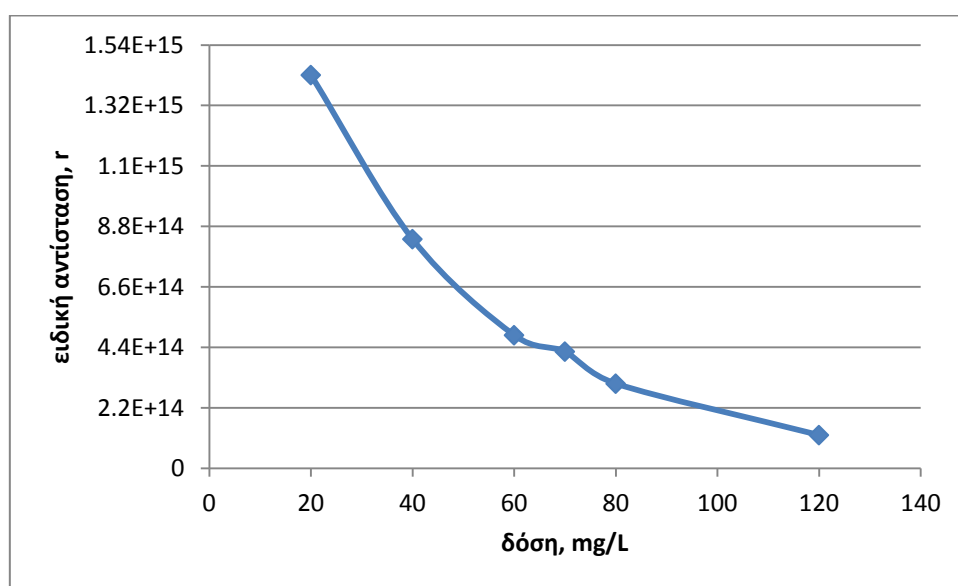


Σχήμα 33: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις αλλά ίδια ταχύτητα ανάδευσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 32,33 χωρίς την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη στην ιλύ απαιτείται ο διπλάσιος χρόνος για την αφυδάτωση της. Όσο αυξάνεται η δόση του πολυηλεκτρολύτη FO 4400SH τόσο μειώνεται ο χρόνος διήθησης.

Πίνακας 11: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των δόσεων

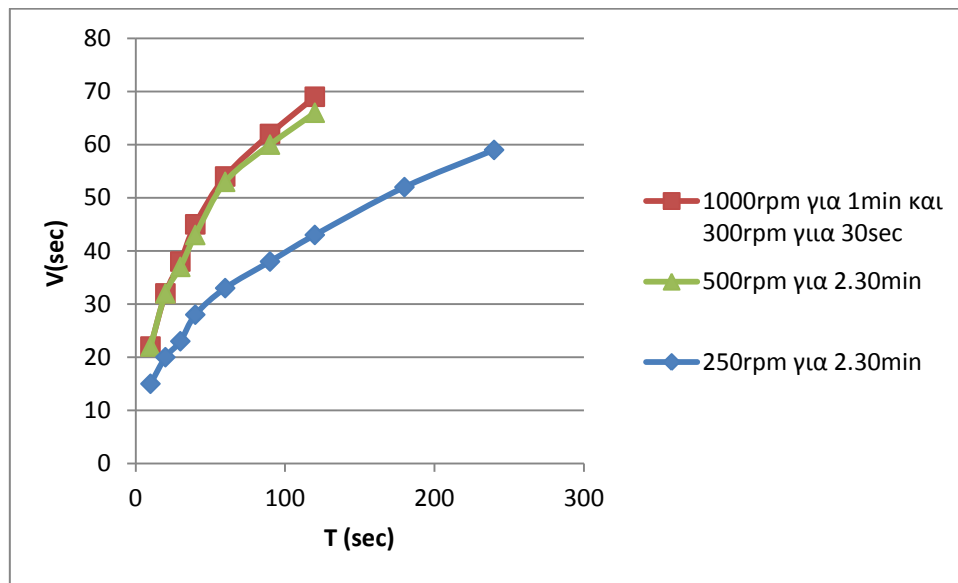
Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση $r, m/kg$
20	1,43081E+15
40	8,33821E+14
60	4,84277E+14
70	4,24537E+14
80	3,07896E+14
120	1,20752E+14



Σχήμα 34: Σχέση Δόσης-Ειδικής Αντίστασης

Από το Σχήμα 34 και τον πίνακα 11 όπου παρουσιάζονται οι υπολογιστικές τιμές των ειδικών αντιστάσεων σε κάθε περίπτωση που εξετάστηκε, παρατηρείται ότι για δόση πολυηλεκτρολύτη ίση με 120mg/l έχουμε την μικρότερη ειδική αντίσταση. Λόγω της αυξημένης δόσης υπάρχει όμως οικονομικό πρόβλημα, αφού τα έξοδα θα είναι αυξημένα εάν χρησιμοποιηθεί ο συγκεκριμένος τύπος πολυηλεκτρολύτη.

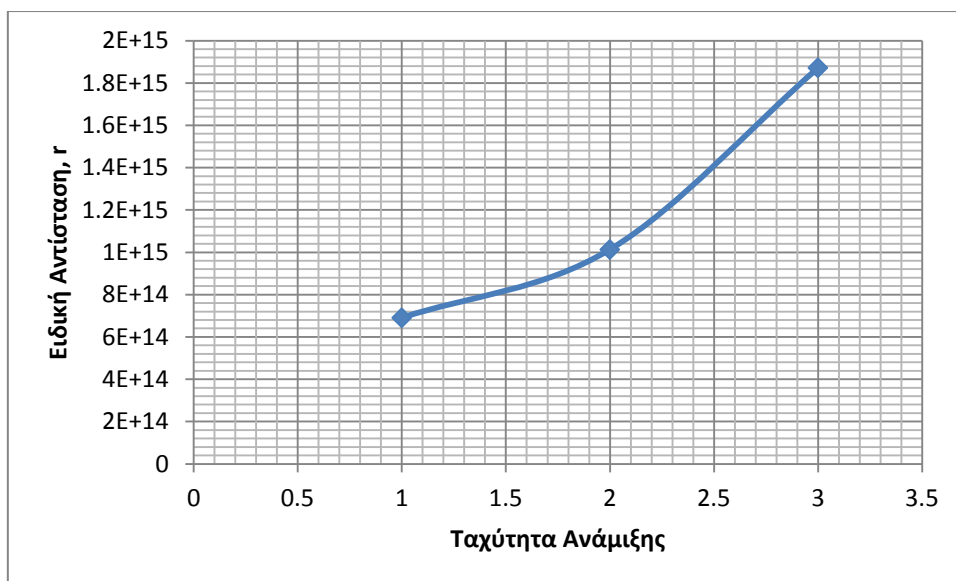
4.7.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμειξης



Σχήμα 35: Σχέση Χρόνου-Όγκου με ίδια δόση αλλά διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 12: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των ταχυτήτων ανάμειξης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση $r, m/kg$
1000 rpm και 500 rpm	6,9047E+14
500 rpm	1,0131E+15
250 rpm	1,8721E+15

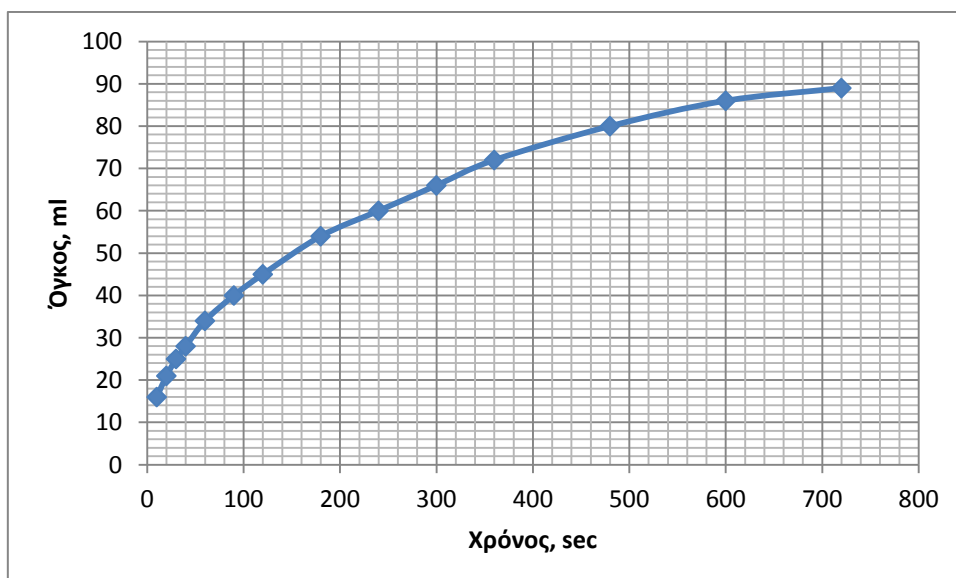


Σχήμα 36: Σχέση ειδικής αντίστασης-ταχύτητας ανάμιξης

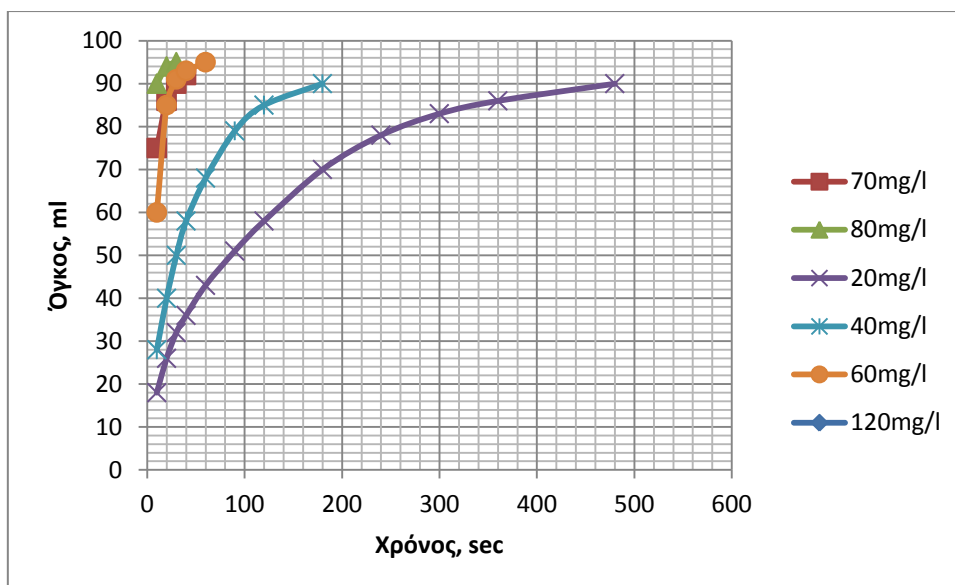
Από τα Σχήματα 35,36 και τον πίνακα 12 παρατηρείται ότι η βέλτιστη ταχύτητα ανάμιξης, η οποία αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση και συνεπώς καταλήγει σε βέλτιστη αφυδατωσιμότητα είναι ο συνδυασμός των 1000 rpm για 1 λεπτό και 300rpm για 30sec.

4.8 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4440SH

4.8.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 37: Σχέση Χρόνου- Όγκου χωρίς προσθήκη δόσης πολυηλεκτρολύτη

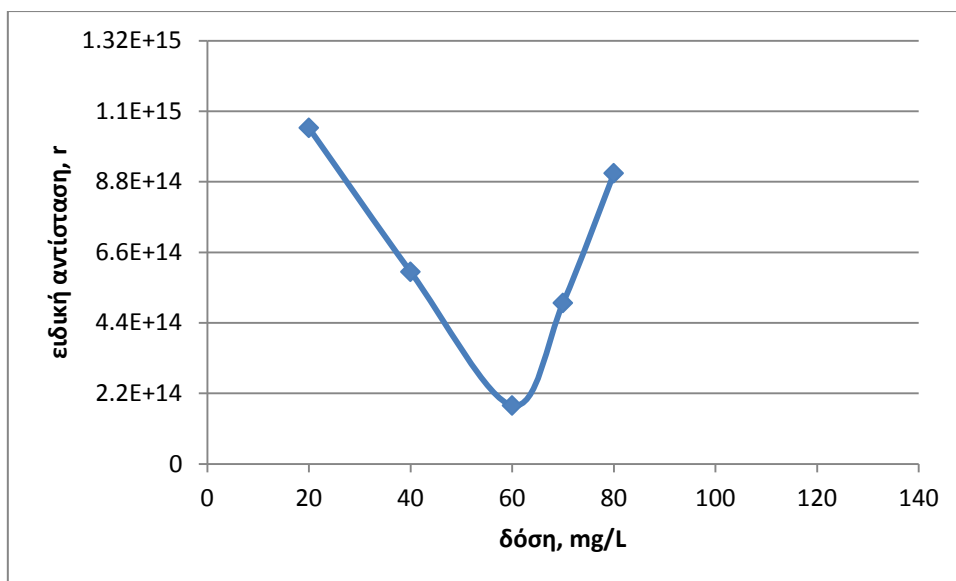


Σχήμα 38: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις αλλά ίδια ταχύτητα ανάδευσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 37,38 χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη η ιλύς για να αφυδατωθεί χρειάζεται την διπλάσια ώρα από αυτή που χρειάζεται η ιλύς όταν προστίθεται μια πολύ μικρή δόση του κατιονικού πολυηλεκτρολύτη FO 4440SH. Επίσης, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η προσθήκη της δόσης τόσοι λιγότεροι χρόνος χρειάζεται για την αφυδάτωση της ιλύς.

Πίνακας 13: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των δόσεων

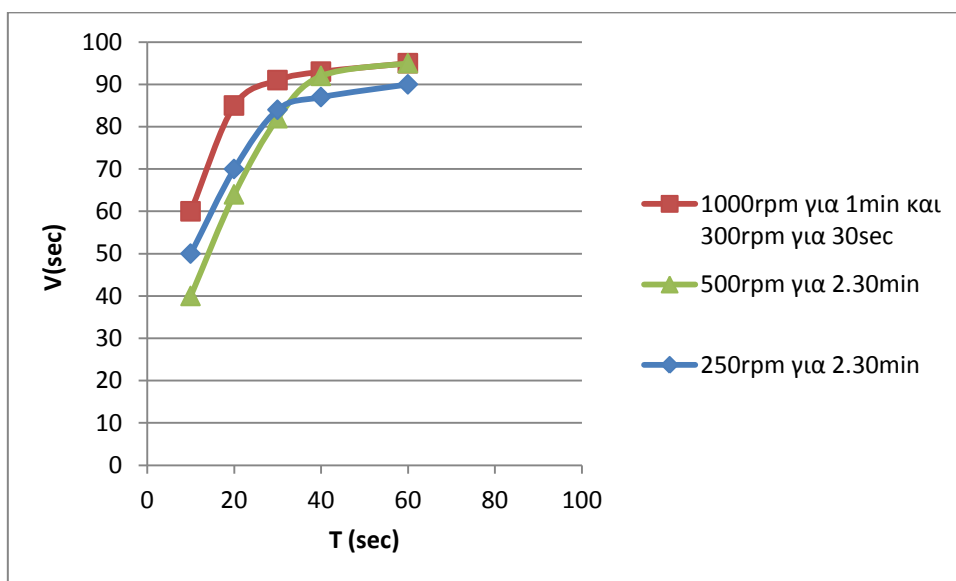
Δόση πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση r,m/kg
20	1,04834E+15
40	5,99295E+14
60	1,82218E+14
70	5,02112E+14
80	9,06743E+14
120	-



Σχήμα 39: Σχέση Δόσης-Ειδικής Αντίστασης

Από το Σχήμα 39 και τον πίνακα 13 είναι εμφανές ότι για αυτόν τον τύπο πολυηλεκτρολύτη η βέλτιστη δόση με διαφορά είναι αυτή των 60 mg/l.

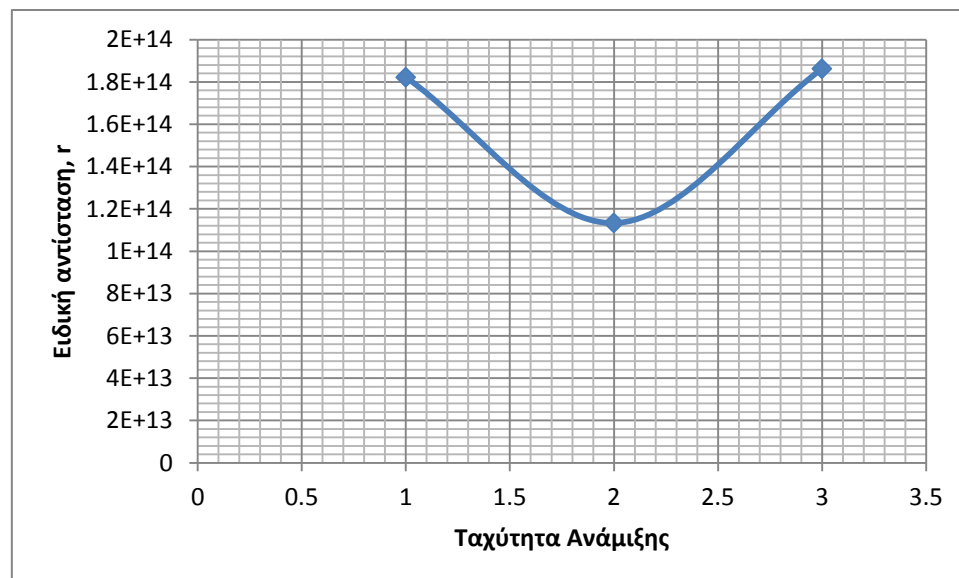
4.8.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης



Σχήμα 40: Σχέση Χρόνου-Όγκου με ίδια δόση αλλά διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 14: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των ταχυτήτων ανάμιξης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση $r, \text{m/kg}$
1000 rpm και 500 rpm	1,82218E+14
500 rpm	1,1338E+14
250 rpm	1,86267E+14

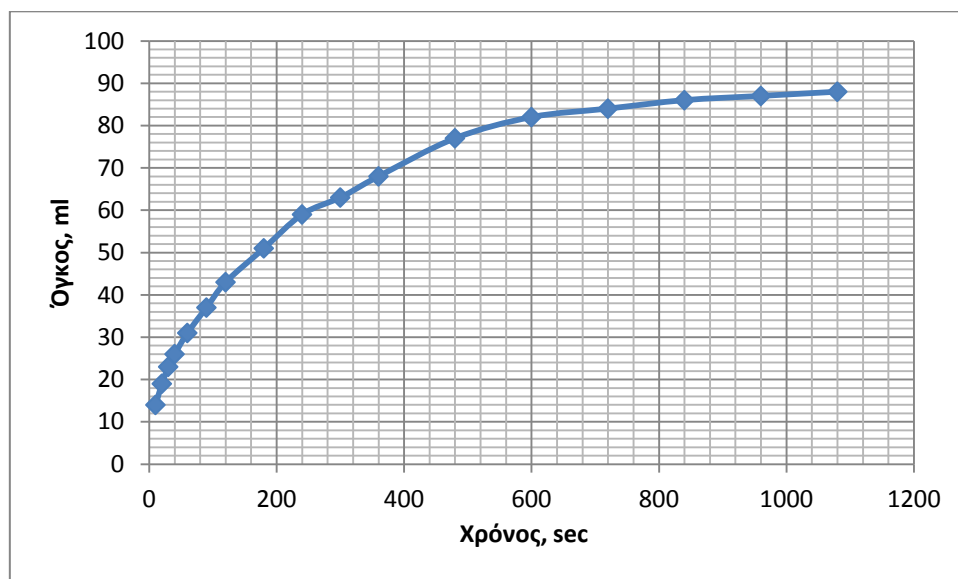


Σχήμα 41: Σχέση ειδικής αντίστασης- ταχύτητας ανάμιξης

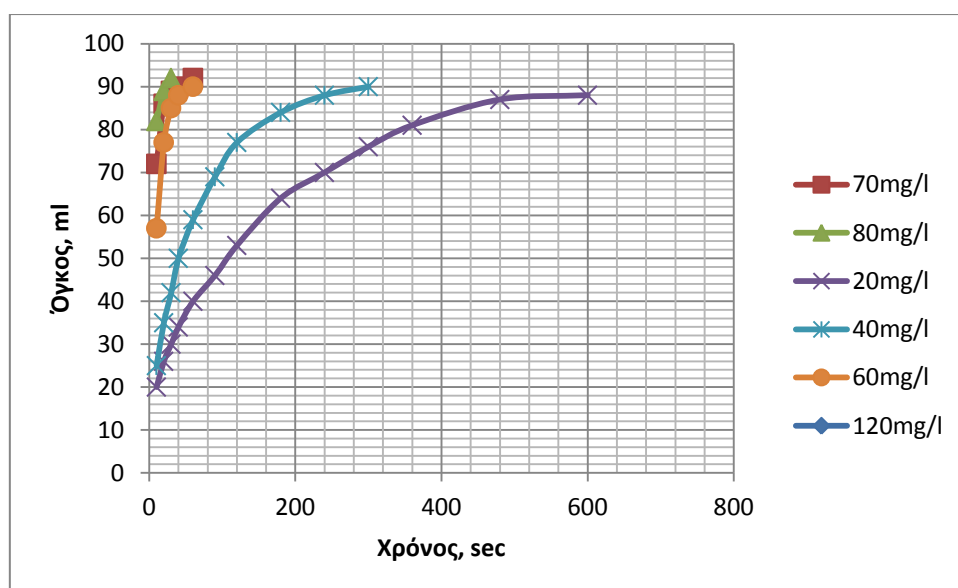
Από τα Σχήματα 40,41 και τον πίνακα 14 παρατηρείται ότι βέλτιστη συνθήκη ανάμιξης που αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση ώστε να υπάρξει βελτίωση της αφυδατωσιμότητας είναι αυτή των 500rpm για 2,30 min.

4.9 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4490SH

4.9.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 42: Σχέση Χρόνου-Όγκου χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη

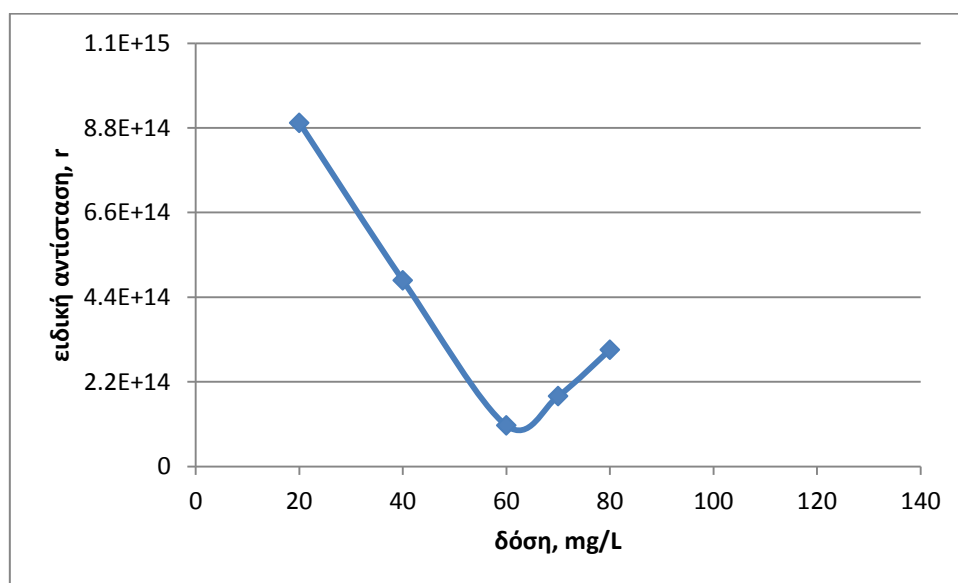


Σχήμα 43: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις αλλά ίδια ταχύτητα ανάδευσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 42,43 χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη η ιλύς για να αφυδατωθεί χρειάζεται την διπλάσια ώρα από αυτή που χρειάζεται η ιλύς όταν προστίθεται μια πολύ μικρή δόση του κατιοντικού πολυηλεκτρολύτη FO 4490SH. Επίσης, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η προσθήκη της δόσης τόσο λιγότερο χρόνος χρειάζεται για την αφυδάτωση της ιλύς.

Πίνακας 15: Υπολογιστικές τιμές της ειδικής αντίστασης συναρτήσει των δόσεων

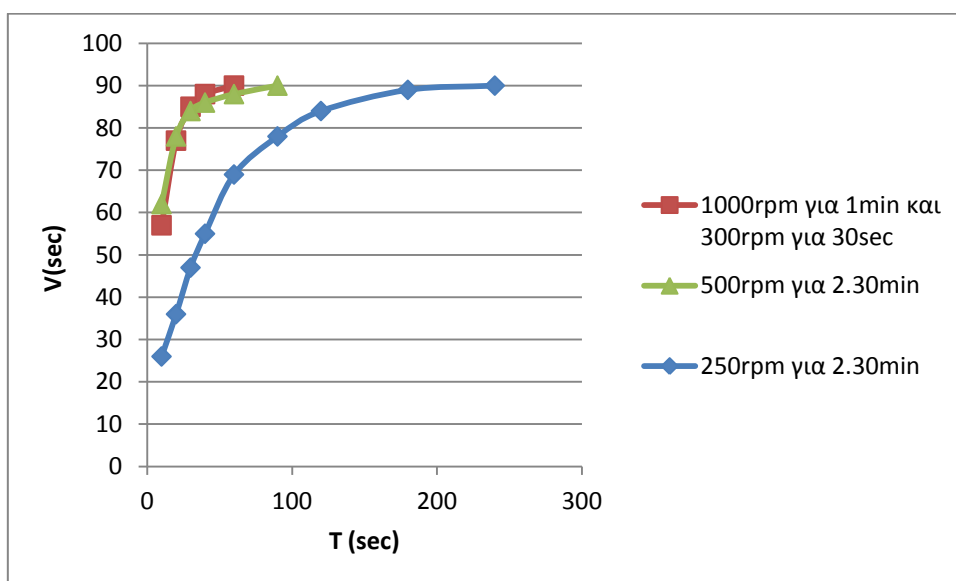
Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση r,m/kg
20	8,93228E+14
40	4,83872E+14
60	1,06923E+14
70	1,83038E+14
80	3,03478E+14
120	-



Σχήμα 44: Σχέση Δόσης- Ειδικής Αντίστασης

Για τον συγκεκριμένο τύπο πολυηλεκτρολύτη από το Σχήμα 44 παρατηρείται ότι η βέλτιστη δόση είναι αυτή των 60 mg/l εφόσον έχει και την μικρότερη ειδική αντίσταση. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη δόση, δηλαδή τα 120mg/l, δεν μπορούσε να μετρηθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα λόγω των μεγάλων συσσωματωμάτων που είχαν δημιουργηθεί στο δείγμα.

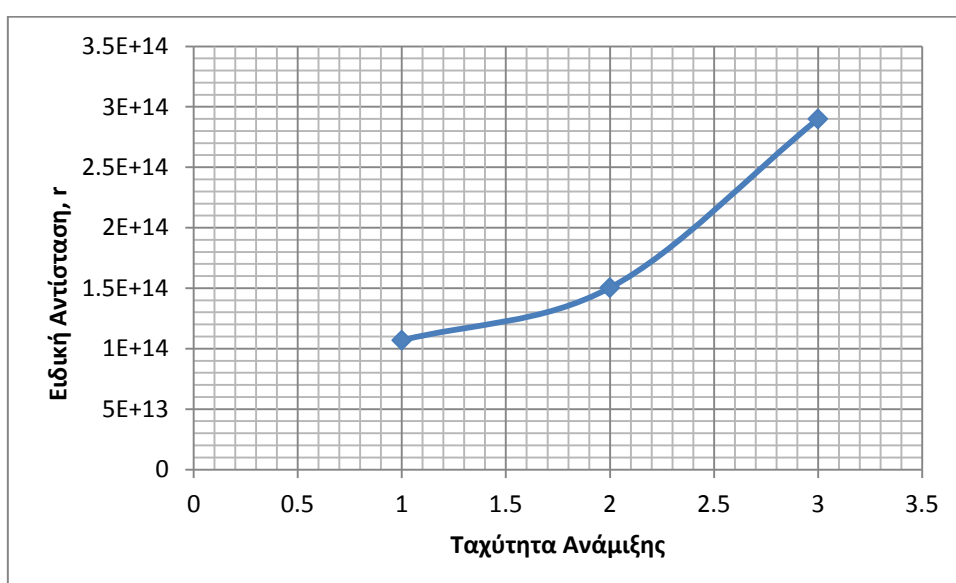
4.9.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης



Σχήμα 45: Σχέση Χρόνου-Όγκου με ίδια δόση αλλά διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 16: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των ταχυτήτων ανάμιξης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση $r, m/kg$
1000 rpm και 500 rpm	1,06923E+14
500 rpm	1,50417E+14
250 rpm	2,89961E+14

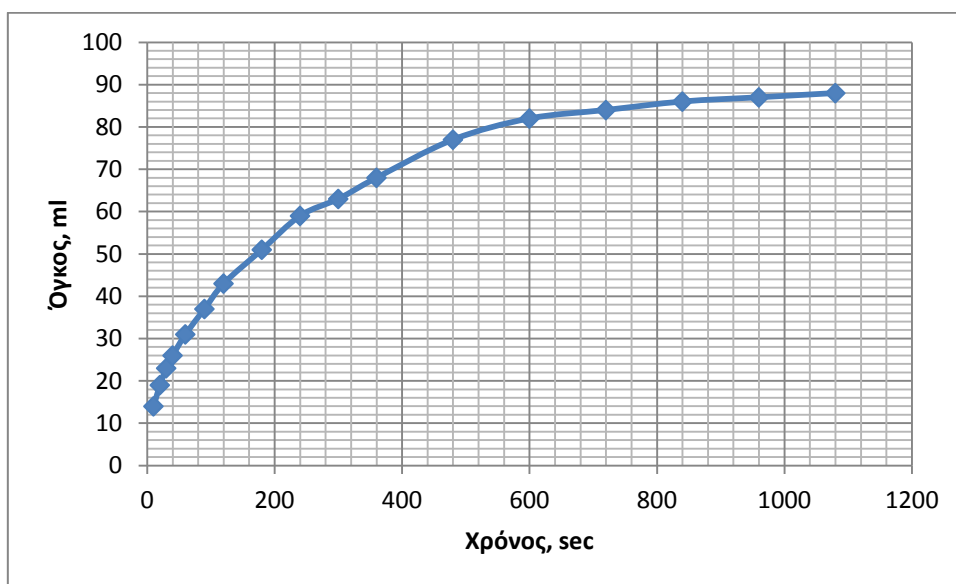


Σχήμα 46: Σχέση ειδικής αντίστασης-ταχύτητας ανάμιξης

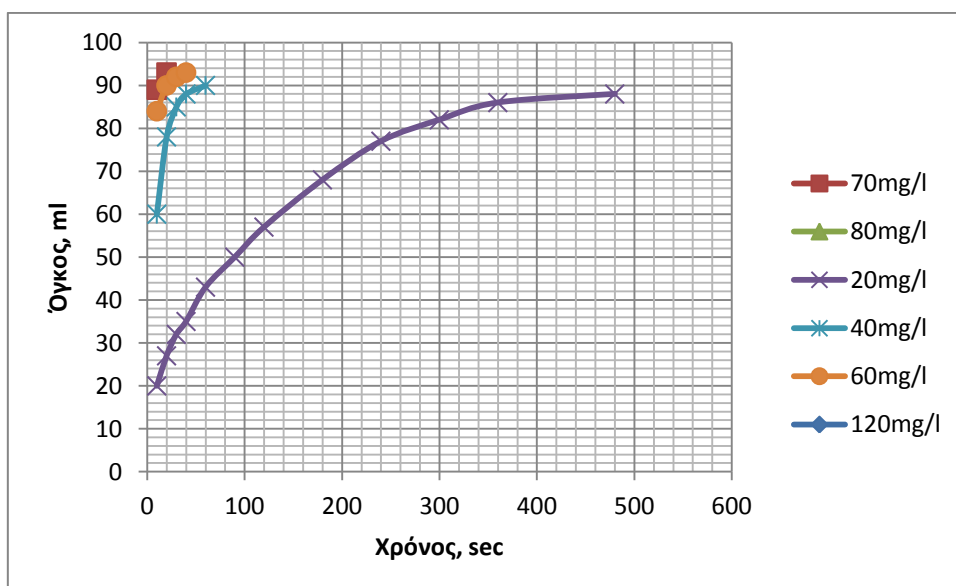
Από τα Σχήματα 45,46 και τον πίνακα 16 παρατηρείται ότι βέλτιστη συνθήκη ανάμιξης που αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση ώστε να υπάρξει βελτίωση της αφυδατωσιμότητας είναι αυτή με συνδυασμό των ταχυτήτων 1000rpm για 1 λεπτό και 300rpm για 30sec.

4.10 Επεξεργασία με κατιοντικό πολυηλεκτρολύτη FO 4700SH

4.10.1 Προσδιορισμός βέλτιστης δόσης



Σχήμα 47: Σχέση χρόνου-όγκου χωρίς δόση πολυηλεκτρολύτη

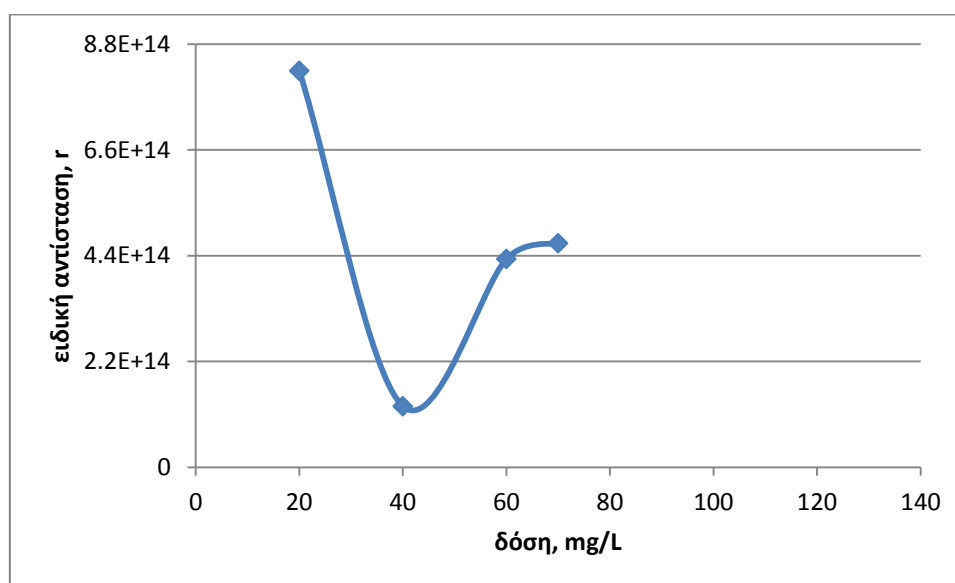


Σχήμα 48: Σχέση Χρόνου-Όγκου με διαφορετικές δόσεις αλλά ίδια ταχύτητα ανάδευσης

Παρατηρώντας τα Σχήματα 47,48 χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολύτη η ιλύς για να αφυδατωθεί χρειάζεται την διπλάσια ώρα από αυτή που χρειάζεται η ιλύς όταν προστίθεται μια πολύ μικρή δόση του κατιονικού πολυηλεκτρολύτη FO 4700SH. Επίσης, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η προσθήκη της δόσης τόσο λιγότερο χρόνος χρειάζεται για την αφυδάτωση της ιλύς.

Πίνακας 17: Υπολογιστικές τιμές της ειδικής αντίστασης συναρτήσει των δόσεων

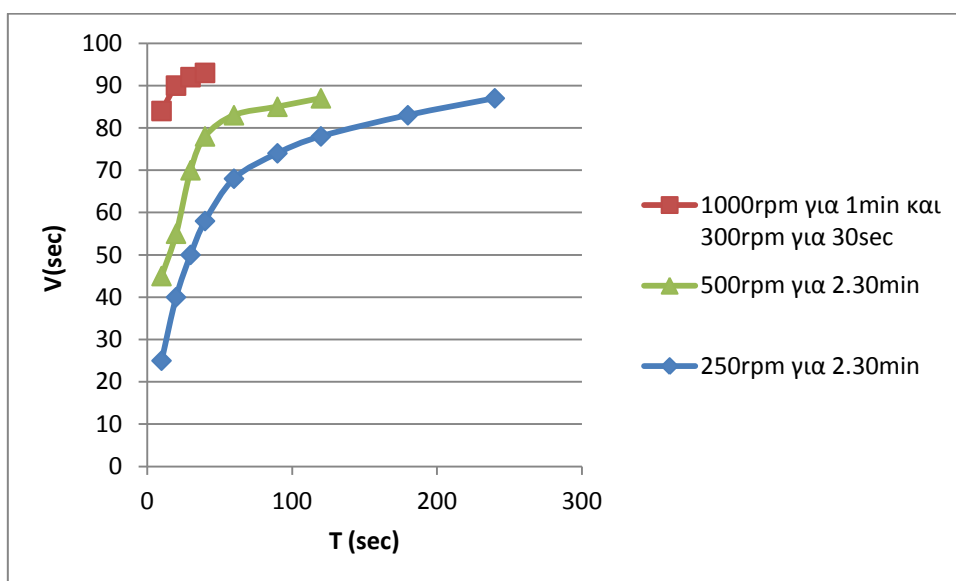
Δόση Πολυηλεκτρολύτη, mg/l	Ειδική Αντίσταση r,m/kg
20	8,24397E+14
40	1,26858E+14
60	4,33129E+14
70	4,6575E+14
80	-
120	-



Σχήμα 49: Σχέση Δόσης- Ειδικής Αντίστασης

Γι αυτό τον τύπο πολυηλεκτρολύτη σύμφωνα με το Σχήμα 49 η δόση με την μικρότερη αντίσταση είναι αυτή των 40 mg/l εφόσον έχει και την μικρότερη ειδική αντίσταση. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πειράματα για τις δόσεις 80 και 120 mg/l δεν μπόρεσαν να πραγματοποιηθούν λόγω των συσσωματωμάτων που είχαν δημιουργηθεί στο δείγμα, επομένως δεν ήταν αντιπροσωπευτικό.

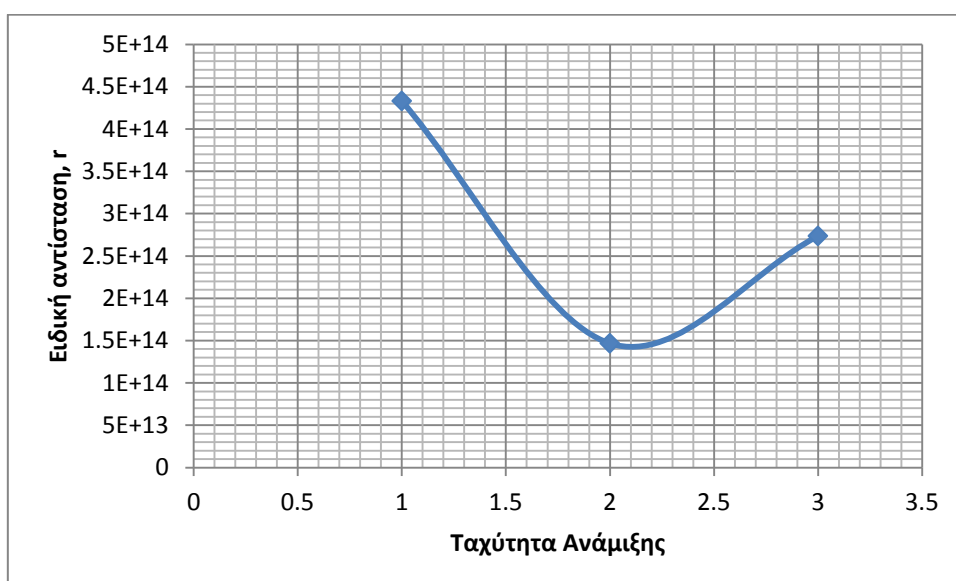
4.10.2 Προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξη



Σχήμα 50: Σχέση Χρόνου-Όγκου με ίδια δόση αλλά διαφορετικές ταχύτητες ανάδευσης

Πίνακας 18: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης συναρτήσει των ταχυτήτων ανάμιξης

Ταχύτητα Ανάδευσης	Ειδική Αντίσταση $r, m/kg$
1000 rpm και 500 rpm	4,33129E+14
500 rpm	1,46793E+14
250 rpm	2,73651E+14

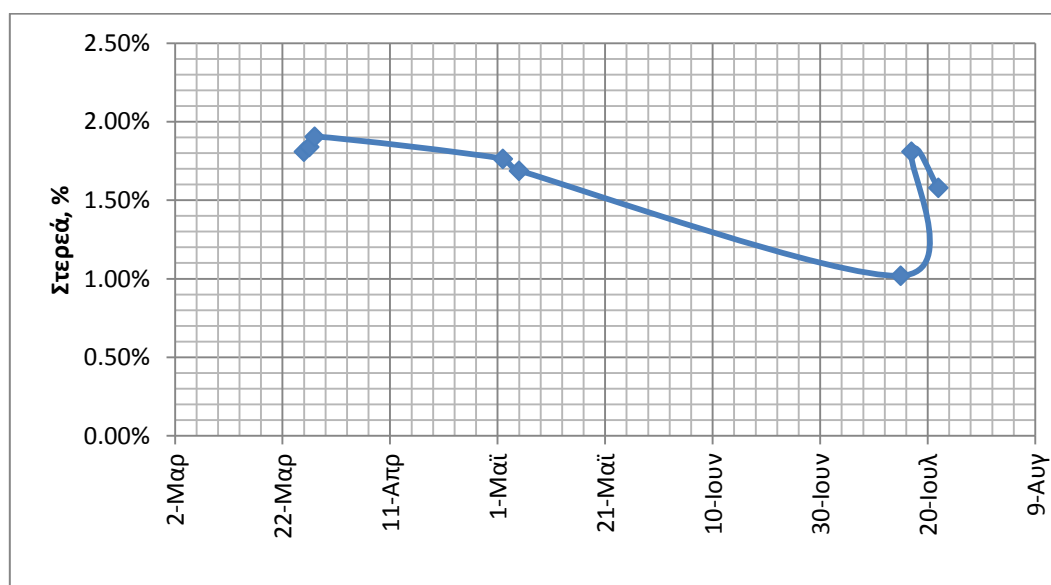


Σχήμα 51: Σχέση ειδικής αντίστασης-ταχύτητας ανάμιξης

Από τα Σχήματα 50,51 και τον πίνακα 18 παρατηρούμε ότι βέλτιστη συνθήκη ανάμιξης που αντιστοιχεί στη μικρότερη ειδική αντίσταση είναι για ταχύτητα ανάμιξης ίση με 500rpm για 2,3 min.

4.13 Ολικά Στερεά

Στο παρακάτω Διάγραμμα παρουσιάζονται τα ολικά στερεά σε σχέση με το χρόνο που τα προμηθευόμασταν από τον Βιολογικό του Βορείου Άξονα των Χανίων.



Σχήμα 52: Σχέση συγκέντρωσης στερεών (%) με το χρόνο προμήθειας της ύλης

4.14 Συγκριτική Αξιολόγηση των Διαφορετικών Τύπων Πολυηλεκτρολυτών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών πειραμάτων που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, η βελτίωση της αφυδατωσιμότητας της ύλης επιτυγχάνεται με την προσθήκη συγκεκριμένης δόσης πολυηλεκτρολύτη με την μικρότερη ειδική αντίσταση. Ένα άλλο στοιχείο που αξίζει να σημειωθεί είναι η επιρροή του μοριακού βάρους του πολυηλεκτρολύτη στην αφυδατωσιμότητα της ύλης. Σε πολύ χαμηλά μοριακά βάρη απαιτείται μεγαλύτερη δόση πολυηλεκτρολύτη για βελτίωση των χαρακτηριστικών της ύλης, αντιθέτως σε πολύ υψηλά ενώ η δόση που απαιτείται είναι πολύ μικρή, η τιμή της ειδικής αντίστασης είναι υψηλή.

Στους πίνακες 19 και 20 παρουσιάζονται συνολικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από πειράματα και κατάλληλους υπολογισμούς για την εύρεση της βέλτιστης δόσης πολυηλεκτρολύτη, ώστε να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά της ύλης.

Πίνακας 19: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης για κάθε διαφορετικό πολυηλεκτρολύτη και διαφορετική συγκέντρωση

Τύπος Πολυηλεκτρολύτη	Ειδική Αντίσταση (r), m/kg					
	Συγκεντρώσεις Πολυηλεκτρολύτη (mg/l)					
	20	40	60	70	80	120
Flopam FO 4000SSH	1,14E+15	4,85E+14	1,51E+14	6,69E+13	3,03E+13	2,28E+14
Praestol 650BC	5,04E+14	2,75E+14	9,07E+13	1,10E+14	7,66E+13	3,03E+13
Praestol 850BC	5,12E+14	2,28E+14	8,54E+13	9,11E+13	8,44E+13	6,55E+13
Praestol 853BC	1,06E+15	6,28E+14	2,96E+14	2,47E+14	3,30E+14	7,98E+14
FO 4350SH	6,82E+14	9,47E+14	4,50E+14	5,89E+14	2,77E+14	1,83E+14
FO 4400SH	1,43E+15	8,34E+14	4,84E+14	4,25E+14	3,08E+14	1,21E+14
FO 4440SH	1,05E+15	5,99E+14	1,82E+14	5,02E+14	9,07E+14	-
FO 4490SH	8,93E+14	4,84E+14	1,07E+14	1,83E+14	3,03E+14	-
FO 4700SH	8,24E+14	1,27E+14	4,33E+14	4,66E+14	-	-

Πίνακας 20: Υπολογιστικές τιμές ειδικής αντίστασης για κάθε διαφορετικό πολυηλεκτρολύτη και διαφορετική συνθήκη ανάμιξης

Τύπος Πολυηλεκτρολύτη	Ειδική Αντίσταση (r), m/kg		
	Συνθήκη Ανάμιξης (mg/l)		
	1000rpm για 1min 300rpm για 30sec	500rpm για 2,30 min	250rpm για 2,30min
Flopam FO 4000SSH	4,07 E+14	4,28 E+14	1,15 E+14
Praestol 650BC	8,44 E+13	2,70 E+14	5,96 E+14
Praestol 850BC	1,03 E+14	9,96 E+13	2,72 E+14
Praestol 853BC	2,96 E+14	3,04 E+14	1,70 E+14
FO 4350SH	6,42 E+14	1,03 E+15	1,83 E+15
FO 4400SH	6,90 E+14	1,01 E+15	1,87 E+15
FO 4440SH	1,82 E+14	1,13 E+14	1,86 E+14
FO 4490SH	1,07 E+14	1,50 E+14	2,9 E+14
FO 4700SH	4,33 E+14	1,47 E+14	2,74 E+14

Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν πειράματα με ιλύ στην οποία προστέθηκαν διαφορετικοί τύποι πολυηλεκτρολυτών κάθε φορά, με σκοπό να εξεταστεί η αφυδατωσιμότητα του δείγματος. Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν για τον κάθε τύπο πολυηλεκτρολύτη είναι οι εξής: α) προσδιορισμός βέλτιστης δόσης πολυηλεκτρολύτη και β) προσδιορισμός βέλτιστων συνθηκών ανάμιξης. Και στις δύο περιπτώσεις τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο SRT ή μέθοδο ειδικής αντίστασης στη διήθηση. Παράλληλα με την εξέταση της αφυδατωσιμότητας προκειμένου να μπορέσει να υπολογιστεί η ειδική αντίσταση με την προσθήκη πολυηλεκτρολυτών, γινόταν συνεχής παρακολούθηση του ποσοστού των ολικών στερεών, καθώς και του pH του δείγματος.

Πιο συγκεκριμένα, σχετικά με τα αποτελέσματα της αφυδατωσιμότητας της ιλύος, προέκυψε ότι η προσθήκη του πολυηλεκτρολύτη βοηθάει στη μείωση της διάρκειας που απαιτείται για την αφαίρεση της μεγαλύτερης ποσότητας νερού του δείγματος που εξετάζαμε. Επίσης, παρατηρήθηκε και πειραματικά ότι όσο μεγαλύτερες συγκεντρώσεις προστίθενται τόσο πιο γρήγορα ολοκληρώνεται η διαδικασία. Όσον αφορά στη βέλτιστη δόση κυμαίνεται στα 80mg/l του κατιοντικού πολυηλεκτρολύτη Flopam 4000SSH, αλλά οικονομικά συμφέρουσα είναι η δόση που κυμαίνεται στα 60 mg/l του πολυηλεκτρολύτη Praestol 850BC, όπου η διαφορά στην ειδική αντίσταση μεταξύ αυτών των δύο συγκεντρώσεων δεν είναι πολύ μεγάλη. Όσον αφορά στις βέλτιστες συνθήκες ανάμιξης παρατηρήθηκε από τα αποτελέσματα ότι καλύτερη ανάμιξη του πολυηλεκτρολύτη με την ιλύ έχουμε για ταχύτητα ίση με 1000rpm για 1 min και 300rpm για 30sec. Επίσης, κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων παρατηρήθηκε ότι σε ταχύτητα 250rpm το μίγμα δεν αναμιγνύοταν σχεδόν καθόλου, παρά ελάχιστα, οπότε το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε στη χοάνη Buchner δεν ήταν ικανοποιητικό.

Όσον αφορά στους διαφορετικούς τύπους πολυηλεκτρολυτών που χρησιμοποιήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι με την προσθήκη πολυηλεκτρολυτών με χαμηλό μοριακό βάρος η διαδικασία της διήθησης γινόταν πιο αργά σε σύγκριση με πολυηλεκτρολύτες μεγάλου μοριακού βάρους. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο πολυηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται στο Βιολογικό Καθαρισμό Βορείου Άξονα των Χανίων είναι χαμηλού μοριακού βάρους οπότε απαιτείται και μεγαλύτερη δόση ώστε να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Επομένως, βελτίωση της αφυδατωσιμότητας της ιλύος επιτυγχάνεται με προσθήκη πολυηλεκτρολύτη δόσης 60 mg/l και υψηλού μοριακού βάρους. Ωστε και η διαδικασία να γίνεται γρήγορα και να έχουμε ικανοποιητικά και οικονομικά αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 6ο : Βιβλιογραφία

Βενιέρη Δανάη, Σημειώσεις Μαθήματος Περιβαλλοντική Μικροβιολογία

Τσώνης Π. Στυλιανός, Επεξεργασία Λυμάτων

Metcalf & Eddy, (2006), Μηχανική Υγρών Αποβλήτων Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, Τέταρτη Έκδοση, Τόμος A&B

Interface Science in Drinking Water Treatment- Theory and Application, volume 10, 2006, pages 63,68

Diamadopoulos E. & Vlachos C., (1996), Coagulation-filtration of a secondary effluent by means of pre-hydrolysed coagulants, Water Science and Technology, Vol. 13, 193-201

Βακόνδιος Νικόλαος- Ιωάννης, (2007), Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση Ιλύος, Διπλωματική Εργασία, Χανιά

Μαντζιούρας Ηλίας, (2010), Βελτιστοποίηση Διβάθμιων Συστημάτων Αναερόβιας Χώνευσης Ιλύος με Προσθήκη Μετάλλων, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα

Πανούση Ελένη, (2012), Χρήση των Ανόργανων Κροκιδωτικών στην Επεξεργασία Λυμάτων και Ιλύος, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα

Σταματέλου Τατιάνα- Ευστρατία, (2010), Διερεύνηση Εναλλακτικών Μεθόδων Βελτίωσης των Ρεολογικών Χαρακτηριστικών του Βιολογικού Αφρού, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αθήνα

http://www.gewater.com/handbook/ext_treatment/ch_5_clarification.jsp

<http://www.demolscorp.com/pdf/CATIONICTechDataSheet.pdf>

Παράρτημα

Αποτελέσματα πειραμάτων με ταχύτητα ανάμειξης ίση με 100rpm για 1 min και 300rpm για 30sec.:

Flopam 4000 SSH			Δόση: 120mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	60	0,166667	1,81%	P (bar)	0,3
60	87	0,689655	0,0179 g/ml	b (sec/ml)	0,0003
240	89	2,696629	Ιξώδες		
420	90	4,666667	1,152292258	r (m/kg)	3,52831E+12

Flopam 4000 SSH			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
5	25	0,2	1,84%	P (bar)	0,3
10	45	0,222222	0,0163 g/ml	b (sec/ml)	0,00004
20	67	0,298507	Ιξώδες		
30	75	0,4	1,178277	r (m/kg)	5,05E+11
40	82	0,487805			
60	84	0,714286			
90	86	1,046512			
120	87	1,37931			
180	89	2,022472			

Flopam 4000 SSH			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
5	20	0,25	1,84%	P (bar)	0,3
10	38	0,263158	0,0163 g/ml	b (sec/ml)	0,00009
20	57	0,350877	Ιξώδες		
30	65	0,461538	1,178276522	r (m/kg)	1,14E+12
40	75	0,533333			
60	80	0,75			
90	83	1,084337			
120	85	1,411765			
180	86	2,093023			
240	87	2,758621			

300	88	3,409091	
-----	----	----------	--

Flopam 4000 SSH			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	31	0,322581	1,81%	P (bar)	0,3
20	47	0,425532	0,0179 g/ml	b (sec/ml)	0,0002
60	72	0,833333	Ιξώδες		
120	82	1,463415	1,152292258	r (m/kg)	2,35E+12
180	85	2,117647			
240	86	2,790698			
300	87	3,448276			
420	88	4,772727			
540	89	6,067416			
660	89,5	7,374302			
900	90	10			
1200	90	13,33333			
1560	90	17,33333			

Flopam 4000 SSH			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	17	0,588235	1,84%	P (bar)	0,3
20	25	0,8	0,0163 g/ml	b (sec/ml)	0,0006
60	44	1,363636	Ιξώδες		
120	64	1,875	1,178276522	r (m/kg)	7,5784E+12
180	71	2,535211			
240	77	3,116883			
360	82	4,390244			
480	84	5,714286			
600	85	7,058824			
840	87	9,655172			
1200	88	13,63636			
1800	88,5	20,33898			
1980	88,5	22,37288			

Flopam 4000 SSH			Δόση: 20mg/l		
-----------------	--	--	--------------	--	--

T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	15	0,666667	1,84%	P (bar)	0,3
20	21	0,952381	0,0163 g/ml	b (sec/ml)	0,0015
60	34	1,764706	Ιξώδες		
120	46	2,608696	1,178276522	r (m/kg)	1,89E+13
180	55	3,272727			
240	62	3,870968			
360	73	4,931507			
480	79	6,075949			
600	82	7,317073			
840	85	9,882353			
1200	87	13,7931			
1800	88	20,45455			
1980	88,5	22,37288			

Πολυηλεκτρολύτης από Βιολογικό				
T(sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	35	0,285714	1,46%	
20	61	0,327869	0,014 g/ml	
30	77	0,38961	A (cm2)	63,585
40	82	0,487805	Ιξώδες	0,861597466
60	86	0,697674	P (bar)	0,3
90	88	1,022727	b(sec/ml)	0,0024
120	90	1,333333	r(m/kg)	4,82658E+13

Praestol 650 BC			Δόση: 120mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	50	0,2	1,764%	P (bar)	0,3
20	76	0,263158	0,01738 g/ml	b (sec/ml)	0,0024
30	86	0,348837	Ιξώδες		
40	90	0,444444	1,107504788	r (m/kg)	3,02466E+13

Praestol 650 BC			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	40	0,25	1,764%	P (bar)	0,3

20	60	0,333333	0,01738 g/ml	b (sec/ml)	0,0057
30	70	0,428571	Ιξώδες		
40	76	0,526316	1,107504788	r (m/kg)	7,66E+13
60	82	0,731707			
90	86	1,046512			
120	88	1,363636			
180	90	2			

Praestol 650 BC			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m²)	63,585
10	36	0,277778	1,764%	P (bar)	0,3
20	56	0,357143	0,01738 g/ml	b (sec/ml)	0,0087
30	68	0,441176	Ιξώδες		
40	76	0,526316	1,107504788	r (m/kg)	1,1E+14
60	82	0,731707			
90	86	1,046512			
120	88	1,363636			
180	90	2			

Praestol 650 BC			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m²)	63,585
10	40	0,25	1,764%	P (bar)	0,3
20	57	0,350877	0,01738 g/ml	b (sec/ml)	0,0072
30	67	0,447761	Ιξώδες		
40	75	0,533333	1,107504788	r (m/kg)	9,07E+13
60	80	0,75			
90	85	1,058824			
120	87	1,37931			
180	90	2			

Praestol 650 BC			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m²)	63,585
10	20	0,5	1,764%	P (bar)	0,3
20	30	0,666667	0,01738 g/ml	b (sec/ml)	0,0218
30	38	0,789474	Ιξώδες		

40	43	0,930233	1,107504788	r (m/kg)	2,7474E+14
60	52	1,153846			
90	63	1,428571			
120	72	1,666667			
180	82	2,195122			
240	86	2,790698			
300	88,5	3,389831			

Praestol 650 BC			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m²)	63,585
10	17	0,588235	1,764%	P (bar)	0,3
20	25	0,8	0,01738 g/ml	b (sec/ml)	0,0375
30	31	0,967742	Ιξώδες		
40	36	1,111111	1,107504788	r (m/kg)	5,04E+14
60	43	1,395349			
90	53	1,698113			
120	60	2			
180	72	2,5			
240	80	3			
300	84	3,571429			
420	88	4,772727			

Praestol 850 BC			Δόση: 120mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m²)	63,585
10	55	0,181818	1,688%	P (bar)	0,3
20	80	0,25	0,01639 g/ml	b (sec/ml)	0,0046
30	86	0,348837	Ιξώδες		
40	89	0,449438	1,040124467	r (m/kg)	6,54567E+13

Praestol 850 BC			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m²)	63,585
10	48	0,208333	1,688%	P (bar)	0,3
20	73	0,273973	0,01639 g/ml	b (sec/ml)	0,0059
30	81	0,37037	Ιξώδες		
40	87	0,45977	1,040124467	r (m/kg)	8,44E+13

60	90	0,666667	
90	92	0,978261	

Praestol 850 BC			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	45	0,222222	1,688%	P (bar)	0,3
20	68	0,294118	0,01639 g/ml	b (sec/ml)	0,0064
30	75	0,4	Ιξώδες		
40	84	0,47619	1,040124467	r (m/kg)	9,11E+13
60	88	0,681818			
90	90	1			

Praestol 850 BC			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	35	0,285714	1,688%	P (bar)	0,3
20	55	0,363636	0,01639 g/ml	b (sec/ml)	0,006
30	67	0,447761	Ιξώδες		
40	75	0,533333	1,040124467	r (m/kg)	8,54E+13
60	82	0,731707			
90	86	1,046512			
120	88	1,363636			
180	90	2			

Praestol 850 BC			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	25	0,4	1,688%	P (bar)	0,3
20	37	0,540541	0,01639 g/ml	b (sec/ml)	0,016
30	46	0,652174	Ιξώδες		
40	52	0,769231	1,040124467	r (m/kg)	2,2768E+14
60	63	0,952381			
90	75	1,2			
120	81	1,481481			
180	86	2,093023			
240	88	2,727273			
300	89	3,370787			

Praestol 850 BC			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	18	0,555556	1,688%	P (bar)	0,3
20	26	0,769231	0,01639 g/ml	b (sec/ml)	0,0358
30	32	0,9375	Ιξώδες		
40	38	1,052632	1,040124467	r (m/kg)	5,12E+14
60	45	1,333333			
90	55	1,636364			
120	63	1,904762			
180	74	2,432432			
240	82	2,926829			
300	85	3,529412			
420	87	4,827586			
540	89	6,067416			

Praestol 853 BC			Δόση: 120mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	88	0,113636	1,020%	P (bar)	0,3
20	95	0,210526	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0197
30	97	0,309278	Ιξώδες		
			0,599075591	r (m/kg)	7,9771E+14

Praestol 853 BC			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	78	0,128205	1,020%	P (bar)	0,3
20	88	0,227273	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0133
30	92	0,326087	Ιξώδες		
			0,599075591	r (m/kg)	3,3E+14

Praestol 853 BC			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	60	0,166667	1,020%	P (bar)	0,3
20	80	0,25	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0061
30	87	0,344828	Ιξώδες		
40	90	0,444444	0,599075591	r (m/kg)	2,47E+14

60	92	0,652174	
----	----	----------	--

Praestol 853 BC			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	48	0,208333	1,020%	P (bar)	0,3
20	67	0,298507	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0073
30	76	0,394737	Ιξώδες		
40	84	0,47619	0,599075591	r (m/kg)	2,96E+14
60	89	0,674157			
90	92	0,978261			

Praestol 853 BC			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	25	0,4	1,020%	P (bar)	0,3
20	40	0,5	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0155
30	48	0,625	Ιξώδες		
40	55	0,727273	0,599075591	r (m/kg)	6,2764E+14
60	65	0,923077			
90	76	1,184211			
120	83	1,445783			
180	88	2,045455			

Praestol 853 BC			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	23	0,434783	1,020%	P (bar)	0,3
20	30	0,666667	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0426
30	35	0,857143	Ιξώδες		
40	40	1	0,599075591	r (m/kg)	1,06E+15
60	46	1,304348			
90	56	1,607143			
120	63	1,904762			
180	74	2,432432			
240	80	3			
300	85	3,529412			
360	87	4,137931			

480	90	5,333333	
-----	----	----------	--

FO 4350 SH			Δόση: 120mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	70	0,142857	1,810%	P (bar)	0,3
20	80	0,25	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0144
30	84	0,357143	Ιξώδες		
40	85	0,470588	1,150390449	r (m/kg)	1,83034E+14
60	88	0,681818			
90	89	1,011236			

FO 4350 SH			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	24	0,416667	1,810%	P (bar)	0,3
20	36	0,555556	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0214
30	45	0,666667	Ιξώδες		
40	52	0,769231	1,150390449	r (m/kg)	2,77E+14
60	60	1			
90	70	1,285714			
120	77	1,558442			
180	82	2,195122			
240	85	2,823529			
300	87	3,448276			
360	88	4,090909			

FO 4350 SH			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	23	0,434783	1,810%	P (bar)	0,3

20	32	0,625	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0463
30	39	0,769231	Ιξώδες		
40	44	0,909091	1,150390449	r (m/kg)	5,88505E+14
60	51	1,176471			
90	60	1,5			
120	69	1,73913			
180	77	2,337662			
240	81	2,962963			
300	84	3,571429			
360	86	4,186047			
480	88	5,454545			

FO 4350 SH			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	20	0,5	1,810%	P (bar)	0,3
20	30	0,666667	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0354
30	35	0,857143	Ιξώδες		
40	40	1	1,150390449	r (m/kg)	4,5E+14
60	46	1,304348			
90	63	1,428571			
120	70	1,714286			
180	76	2,368421			
240	80	3			
300	82	3,658537			
360	85	4,235294			
480	87	5,517241			

FO 4350 SH			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	16	0,625	1,810%	P (bar)	0,3
20	22	0,909091	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0745
30	26	1,153846	Ιξώδες		
40	30	1,333333	1,150390449	r (m/kg)	9,4695E+14
60	35	1,714286			

90	42	2,142857	
120	49	2,44898	
180	58	3,103448	
240	65	3,692308	
300	70	4,285714	
360	77	4,675325	
480	80	6	
600	84	7,142857	
720	85	8,470588	

FO 4350 SH			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	15	0,666667	1,810%	P (bar)	0,3
20	20	1	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0527
30	24	1,25	Ιξώδες		
40	26	1,538462	1,150390449	r (m/kg)	6,82+14
60	31	1,935484			
90	38	2,368421			
120	42	2,857143			
180	50	3,6			
240	56	4,285714			
300	62	4,83871			
360	68	5,294118			
480	76	6,315789			
600	80	7,5			
720	82	8,780488			
840	85	9,882353			
960	86	11,16279			

FO 4400 SH			Δόση: 120mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	65	0,153846	1,810%	P (bar)	0,3
20	80	0,25	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0095
30	84	0,357143	Ιξώδες		
40	86	0,465116	1,150390449	r (m/kg)	1,20752E+14

60	88	0,681818	
90	90	1	

FO 4400 SH			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	30	0,333333	1,810%	P (bar)	0,3
20	40	0,5	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0238
30	48	0,625	Ιξώδες		
40	55	0,727273	1,150390449	r (m/kg)	3,08E+14
60	65	0,923077			
90	72	1,25			
120	78	1,538462			
180	82	2,195122			
240	85	2,823529			
300	88	3,409091			

FO 4400 SH			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	28	0,357143	1,810%	P (bar)	0,3
20	38	0,526316	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0334
30	46	0,652174	Ιξώδες		
40	53	0,754717	1,150390449	r (m/kg)	4,24537E+14
60	60	1			
90	69	1,304348			
120	73	1,643836			
180	80	2,25			
240	83	2,891566			
300	87	3,448276			
360	89	4,044944			

FO 4400 SH			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	22	0,454545	1,810%	P (bar)	0,3
20	32	0,625	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0381
30	38	0,789474	Ιξώδες		

40	45	0,888889	1,150390449	r (m/kg)	4,84 E+14
60	54	1,111111			
90	62	1,451613			
120	69	1,73913			
180	77	2,337662			
240	82	2,926829			
300	85	3,529412			
360	87	4,137931			
480	89	5,393258			

FO 4400 SH			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	19	0,526316	1,810%	P (bar)	0,3
20	25	0,8	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,0656
30	31	0,967742	Ιξώδες		
40	35	1,142857	1,150390449	r (m/kg)	8,3382E+14
60	41	1,463415			
90	49	1,836735			
120	58	2,068966			
180	65	2,769231			
240	73	3,287671			
300	78	3,846154			
360	82	4,390244			
480	86	5,581395			
600	88	6,818182			

FO 4400 SH			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	13	0,769231	1,810%	P (bar)	0,3
20	18	1,111111	0,01659 g/ml	b (sec/ml)	0,1106
30	23	1,304348	Ιξώδες		
40	26	1,538462	1,150390449	r (m/kg)	1,43E+15
60	30	2			
90	37	2,432432			
120	41	2,926829			

180	50	3,6	
240	57	4,210526	
300	62	4,83871	
360	68	5,294118	
480	76	6,315789	
600	80	7,5	
720	83	8,674699	
840	86	9,767442	
960	87	11,03448	
1080	88	12,27273	

FO 4440 SH			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	90	0,111111	1,02%	P (bar)	0,3
20	94	0,212766	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0365
30	95	0,315789	Ιξώδες		
			0,599076	r (m/kg)	9,07E+14

FO 4440 SH			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	75	0,133333	1,02%	P (bar)	0,3
20	86	0,232558	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0124
30	90	0,333333	Ιξώδες		
40	92	0,434783	0,599076	r (m/kg)	5,02E+14

FO 4440 SH			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	60	0,166667	1,02%	P (bar)	0,3
20	85	0,235294	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0045
30	91	0,32967	Ιξώδες		
40	93	0,430108	0,599076	r (m/kg)	1,82E+14
60	95	0,631579			

FO 4440 SH			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585

10	28	0,357143	1,02%	P (bar)	0,3
20	40	0,5	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0148
30	50	0,6	Ιξώδες		
40	58	0,689655	0,599076	r (m/kg)	5,993E+14
60	68	0,882353			
90	79	1,139241			
120	85	1,411765			
180	90	2			

FO 4440 SH			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	18	0,555556	1,02%	P (bar)	0,3
20	26	0,769231	0,01 g/ml	b (sec/ml)	0,0422
30	32	0,9375	Ιξώδες		
40	36	1,111111	0,599076	r (m/kg)	1,05E+15
60	43	1,395349			
90	51	1,764706			
120	58	2,068966			
180	70	2,571429			
240	78	3,076923			
300	83	3,614458			
360	86	4,186047			
480	90	5,333333			

FO 4490 SH			Δόση: 80mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	82	0,121951	1,58%	P (bar)	0,3
20	89	0,224719	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0194
30	92	0,326087	Ιξώδες		
			0,951365	r (m/kg)	3,03E+14

FO 4490 SH			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	72	0,138889	1,58%	P (bar)	0,3
20	86	0,232558	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0101

30	89	0,337079	Ιξώδες		
40	90	0,444444	0,951365	r (m/kg)	1,83038E+14

FO 4490 SH			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	57	0,175439	1,58%	P (bar)	0,3
20	77	0,25974	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0059
30	85	0,352941	Ιξώδες		
40	88	0,454545	0,951365	r (m/kg)	1,07E+14
60	90	0,666667			

FO 4490 SH			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	25	0,4	1,58%	P (bar)	0,3
20	35	0,571429	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0267
30	42	0,714286	Ιξώδες		
40	50	0,8	0,951365	r (m/kg)	4,8387E+14
60	59	1,016949			
90	69	1,304348			
120	77	1,558442			
180	84	2,142857			

FO 4490 SH			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	20	0,5	1,58%	P (bar)	0,3
20	26	0,769231	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0571
30	30	1	Ιξώδες		
40	34	1,176471	0,951365	r (m/kg)	8,93E+14
60	40	1,5			
90	46	1,956522			
120	53	2,264151			
180	64	2,8125			
240	70	3,428571			
300	76	3,947368			
360	81	4,444444			

480	87	5,517241	
-----	----	----------	--

FO 4700 SH			Δόση: 70mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	89	0,11236	1,58%	P (bar)	0,3
20	93	0,215054	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0257
			Ιξώδες		
			0,951365	r (m/kg)	4,6575E+14

FO 4700 SH			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	84	0,119048	1,58%	P (bar)	0,3
20	90	0,222222	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0239
30	92	0,326087	Ιξώδες		
40	93	0,430108	0,951365	r (m/kg)	4,33E+14

FO 4700 SH			Δόση: 60mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	84	0,119048	1,58%	P (bar)	0,3
20	90	0,222222	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0239
30	92	0,326087	Ιξώδες		
40	93	0,430108	0,951365	r (m/kg)	4,33E+14

FO 4700 SH			Δόση: 40mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	60	0,166667	1,58%	P (bar)	0,3
20	78	0,25641	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,007
30	85	0,352941	Ιξώδες		
40	88	0,454545	0,951365	r (m/kg)	1,2686E+14
60	90	0,666667			

FO 4700 SH			Δόση: 20mg/l		
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	A(m ²)	63,585
10	20	0,5	1,58%	P (bar)	0,3
20	27	0,740741	0,01407 g/ml	b (sec/ml)	0,0527

30	32	0,9375	Ιξώδες		
40	35	1,142857	0,951365	r (m/kg)	8,24E+14
60	43	1,395349			
90	50	1,8			
120	57	2,105263			
180	68	2,647059			
240	77	3,116883			
300	82	3,658537			
360	86	4,186047			

Αποτελέσματα πειραμάτων με σταθερή την δόση του πολυηλεκτρολύτη (60mg/l) και μεταβλητή την ταχύτητα ανάμιξης. Οι ταχύτητες που εξετάζουμε είναι οι εξής:

1^ο: 1000 rpm για 1min και 500rpm για 30sec.

2^ο: 500rpm για 2,3 min

3^ο : 250rpm για 2,30 min

Flopam 4000 SSH			1^ο	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	18	0,555556	1,91%	
20	27	0,740741	0,0182g/ml	
60	50	1,2	A (cm2)	63,585
120	65	1,846154	Ιξώδες	1,244287
180	73	2,465753	P (bar)	0,3
240	77	3,116883	r (m/kg)	4,07054E+14
360	81	4,444444		
480	83	5,783133		
600	84	7,142857		
840	86	9,767442		
1200	87	13,7931		

Flopam 4000 SSH			2^ο	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	22	0,454545	1,91%	
20	32	0,625	0,0182g/ml	
60	54	1,111111	A (cm2)	63,585

120	69	1,73913	Ιξώδες	1,244287
180	76	2,368421	P (bar)	0,3
240	79	3,037975	r (m/kg)	4,28478E+14
360	82	4,390244		
480	84	5,714286		
600	85	7,058824		
840	87	9,655172		
1200	88	13,63636		

Flopam 4000 SSH			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	8	1,25	1,91%	
20	10	2	0,0182g/ml	
60	21	2,857143	A (cm2)	63,585
120	30	4	Ιξώδες	1,244287
180	38	4,736842	P (bar)	0,3
240	46	5,217391	r (m/kg)	1,14618E+15
360	56	6,428571		
480	65	7,384615		
600	70	8,571429		
840	76	11,05263		
1200	81	14,81481		
1800	83	21,68675		

Praestol 650 BC			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	53	0,188679	1,76%	
20	71	0,28169	0,01738g/ml	
30	80	0,375	A (cm2)	63,585
40	82	0,487805	Ιξώδες	1,107505
60	86	0,697674	P (bar)	0,3
90	88	1,022727	r (m/kg)	8,44384E+13
120	90	1,333333		

Praestol 650 BC			2°	
------------------------	--	--	-----------	--

T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	23	0,434783	1,76% 0,01738g/ml	
20	33	0,606061		
30	43	0,697674	A (cm2)	63,585
40	48	0,833333	Ιξώδες	1,107505
60	58	1,034483	P (bar)	0,3
90	69	1,304348	r (m/kg)	2,69699E+14
120	75	1,6		
180	82	2,195122		
240	85	2,823529		
300	86,5	3,468208		

Praestol 650 BC			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	16	0,625	1,76% 0,01738g/ml	
20	24	0,833333		
30	29	1,034483	A (cm2)	63,585
40	33	1,212121	Ιξώδες	1,107505
60	41	1,463415	P (bar)	0,3
90	48	1,875	r (m/kg)	5,9611E+14
120	55	2,181818		
180	67	2,686567		
240	75	3,2		
300	80	3,75		
360	82	4,390244		
420	84	5		
600	87	6,896552		

Praestol 850 BC			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	32	0,3125	1,76% 0,01738g/ml	
20	52	0,384615		
30	62	0,483871	A (cm2)	63,585
40	71	0,56338	Ιξώδες	1,107505
60	82	0,731707	P (bar)	0,3

90	88	1,022727	r (m/kg)	1,03343E+14
120	90	1,333333		

Praestol 850 BC			2°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	30	0,333333	1,76% 0,01738g/ml	
20	50	0,4		
30	61	0,491803	A (cm2)	63,585
40	70	0,571429	Ιξώδες	1,107505
60	80	0,75	P (bar)	0,3
90	86	1,046512	r (m/kg)	9,95617E+13
120	89	1,348315		

Praestol 850 BC			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	22	0,454545	1,76% 0,01738g/ml	
20	33	0,606061		
30	40	0,75	A (cm2)	63,585
40	47	0,851064	Ιξώδες	1,107505
60	56	1,071429	P (bar)	0,3
90	67	1,343284	r (m/kg)	2,72219E+14
120	75	1,6		
180	84	2,142857		
240	88	2,727273		

Praestol 853 BC			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	48	0,208333	1,02% 0,01g/ml	
20	67	0,298507		
30	76	0,394737	A (cm2)	63,585
40	84	0,47619	Ιξώδες	0,599076
60	89	0,674157	P (bar)	0,3
90	92	0,978261	r (m/kg)	2,95598E+14

Praestol 853 BC			2°	
------------------------	--	--	-----------	--

T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	60	0,166667	1,02% 0,01g/ml	
20	78	0,25641		
30	83	0,361446	A (cm2)	63,585
40	87	0,45977	Ιξώδες	0,599076
60	90	0,666667	P (bar)	0,3
			r (m/kg)	3,03697E+14

Praestol 853 BC			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	48	0,208333	1,02% 0,01g/ml	
20	73	0,273973		
30	82	0,365854	A (cm2)	63,585
40	87	0,45977	Ιξώδες	0,599076
60	90	0,666667	P (bar)	0,3
			r (m/kg)	1,7007E+14

FO 4350 SH			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	20	0,5	1,58% 0,01407g/ml	
20	30	0,666667		
30	35	0,857143	A (cm2)	63,585
40	40	1	Ιξώδες	0,951365
60	46	1,304348	P (bar)	0,3
90	63	1,428571	r (m/kg)	6,4154E+14
120	70	1,714286		
180	76	2,368421		
240	80	3		
300	82	3,658537		
360	85	4,235294		
480	87	5,517241		

FO 4350 SH			2°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	

10	20	0,5	1,58% 0,01407g/ml	
20	30	0,666667		
30	34	0,882353	A (cm2)	63,585
40	38	1,052632	Ιξώδες	0,951365
60	45	1,333333	P (bar)	0,3
90	53	1,698113	r (m/kg)	1,0257E+15
120	60	2		
180	70	2,571429		
240	76	3,157895		
300	80	3,75		
360	85	4,235294		
480	86	5,581395		

FO 4350 SH			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	16	0,625	1,58% 0,01407g/ml	
20	20	1		
30	25	1,2	A (cm2)	63,585
40	28	1,428571	Ιξώδες	0,951365
60	32	1,875	P (bar)	0,3
90	40	2,25	r (m/kg)	1,8304E+15
120	45	2,666667		
180	55	3,272727		
240	60	4		
300	65	4,615385		
360	71	5,070423		
480	79	6,075949		
600	81	7,407407		
720	84	8,571429		
840	87	9,655172		
960	88	10,90909		

FO 4400 SH			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	22	0,454545	1,58%	

20	32	0,625	0,01407g/ml	
30	38	0,789474	A (cm2)	63,585
40	45	0,888889	Ιξώδες	0,951365
60	54	1,111111	P (bar)	0,3
90	62	1,451613	r (m/kg)	6,9047E+14
120	69	1,73913		
180	77	2,337662		
240	82	2,926829		
300	85	3,529412		
360	87	4,137931		
480	89	5,393258		

FO 4400 SH			2°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	22	0,454545	1,58%	
20	32	0,625	0,01407g/ml	
30	37	0,810811	A (cm2)	63,585
40	43	0,930233	Ιξώδες	0,951365
60	53	1,132075	P (bar)	0,3
90	60	1,5	r (m/kg)	1,0131E+15
120	66	1,818182		
180	70	2,571429		
240	80	3		
300	83	3,614458		
360	85	4,235294		
480	88	5,454545		

FO 4400 SH			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	15	0,666667	1,58%	
20	20	1	0,01407g/ml	
30	23	1,304348	A (cm2)	63,585
40	28	1,428571	Ιξώδες	0,951365
60	33	1,818182	P (bar)	0,3
90	38	2,368421	r (m/kg)	1,8721E+15

120	43	2,790698	
180	52	3,461538	
240	59	4,067797	
300	65	4,615385	
360	70	5,142857	
480	78	6,153846	
600	80	7,5	
720	82	8,780488	
840	85	9,882353	
960	87	11,03448	

FO 4440 SH			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	60	0,166667	1,02%	
20	85	0,235294	0,01g/ml	
30	91	0,32967	A (cm2)	63,585
40	93	0,430108	Ιξώδες	0,599076
60	95	0,631579	P (bar)	0,3
			r (m/kg)	1,82218E+14

FO 4440 SH			2°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	40	0,25	1,02%	
20	64	0,3125	0,01g/ml	
30	82	0,365854	A (cm2)	63,585
40	92	0,434783	Ιξώδες	0,599076
60	95	0,631579	P (bar)	0,3
			r (m/kg)	1,1338E+14

FO 4440 SH			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	50	0,2	1,02%	
20	70	0,285714	0,01g/ml	
30	84	0,357143	A (cm2)	63,585
40	87	0,45977	Ιξώδες	0,599076

60	90	0,666667	P (bar)	0,3
			r (m/kg)	1,86267E+14

FO 4490 SH			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	57	0,175439	1,58% 0,01407g/ml	
20	77	0,25974		
30	85	0,352941	A (cm2)	63,585
40	88	0,454545	Ιξώδες	0,951365
60	90	0,666667	P (bar)	0,3
			r (m/kg)	1,06923E+14

FO 4490 SH			2°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	62	0,16129	1,58% 0,01407g/ml	
20	78	0,25641		
30	84	0,357143	A (cm2)	63,585
40	86	0,465116	Ιξώδες	0,951365
60	88	0,681818	P (bar)	0,3
90	90	1	r (m/kg)	1,50417E+14

FO 4490 SH			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	26	0,384615	1,58% 0,01407g/ml	
20	36	0,555556		
30	47	0,638298	A (cm2)	63,585
40	55	0,727273	Ιξώδες	0,951365
60	69	0,869565	P (bar)	0,3
90	78	1,153846	r (m/kg)	2,89961E+14
120	84	1,428571		
180	89	2,022472		
240	90	2,666667		

FO 4700 SH			1°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	

10	84	0,119048	1,58% 0,01407g/ml	
20	90	0,222222		
30	92	0,326087	A (cm2)	63,585
40	93	0,430108	Ιξώδες	0,951365
			P (bar)	0,3
			r (m/kg)	4,33129E+14

FO 4700 SH			2°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	45	0,222222	1,58% 0,01407g/ml	
20	55	0,363636		
30	70	0,428571	A (cm2)	63,585
40	78	0,512821	Ιξώδες	0,951365
60	83	0,722892	P (bar)	0,3
90	85	1,058824	r (m/kg)	1,46793E+14
120	87	1,37931		
180	89	2,022472		

FO 4700 SH			3°	
T (sec)	V(ml)	T/V	Στερεά	
10	25	0,4	1,58% 0,01407g/ml	
20	40	0,5		
30	50	0,6	A (cm2)	63,585
40	58	0,689655	Ιξώδες	0,951365
60	68	0,882353	P (bar)	0,3
90	74	1,216216	r (m/kg)	2,73651E+14
120	78	1,538462		
180	83	2,168675		
240	87	2,758621		
300	89	3,370787		