



Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Η επίδραση της προεπεξεργασίας στην αερόβια
χώνευση της ιλύος**

Βακόνδιος Νικόλαος – Ιωάννης

Επιβλέπων καθηγητής: Διαμαντόπουλος Ευάγγελος

Χανιά 2009

1. Περίληψη

Στα πλαίσια της εν λόγω μεταπτυχιακής διατριβής μελετήθηκε η δυνατότητα επεξεργασίας ιλύος δευτεροβάθμιας καθίζησης με την μέθοδο της Αερόβιας Χώνευσης ιλύος μετά από προεπεξεργασία με Υπεροξειδίο του Υδρογόνου και Μικροκύματα. Για τον σκοπό αυτό σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν μία εργαστηριακή μονάδα αερόβιας χώνευσης, τεσσάρων δεξαμενών όγκου 12 λίτρων κάθε μία, με σκοπό την ταυτόχρονη μελέτη χώνευσης ιλύος με διαφορετική προεπεξεργασία σε κάθε δεξαμενή σύγκρισης, καθώς και μία πιλοτική μονάδα για επεξεργασία 120 λίτρων ιλύος με χρόνο παραμονής 12 ημερών.

Πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα σύγκρισης στην εργαστηριακή μονάδα στα οποία η μία από τις δεξαμενές λειτουργούσε ως δεξαμενή αναφοράς (δηλαδή χώνευση ιλύος χωρίς κάποια προεπεξεργασία), η δεύτερη με προσθήκη 18ml H_2O_2 50% ανά λίτρο ιλύος, η τρίτη με ιλύ που είχε προεπεξεργαστεί με μικροκύματα έως ότου φτάσει του $70^{\circ}C$, και η τελευταία με ιλύ η οποία δεν είχε προεπεξεργαστεί, αλλά κατά την χώνευση αναδευόταν με περισσότερες στροφές ανά λεπτό. Από τα εν λόγω πειράματα, προέκυψε ότι εμφανίζονται πολύ καλύτερα αποτελέσματα (τόσο όσο αναφορά την μείωση των στερεών όσο και την δυνατότητα αφυδάτωσης της ιλύος) κατά την χώνευση, όταν η ιλύ έχει πρώτα προεπεξεργαστεί με H_2O_2 .

Στην συνέχεια στην πιλοτική μονάδα εφαρμόστηκε η χώνευση με προσθήκη Υπεροξειδίου του Υδρογόνου στην ιλύ εισροής. Η διάρκεια συστηματικής παρακολούθησης της μονάδας ήταν 31 ημέρες.

Η προς επεξεργασία ιλύς προερχόταν από τη μονάδα μηχανικής πάχυνσης (φυγοκέντρισης) της ιλύος που παραγόταν από τη δευτεροβάθμια καθίζηση του βιολογικού καθαρισμού των Χανίων με μέσο όρο συγκέντρωσης των Ολικών Στερεών 4,21% και των Πτητικών Στερεών 2,96%.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος μετριούνταν καθημερινά, στην ιλύ εισροής και εκροής τα Ολικά (μείωση 15%) και τα Πτητικά στερεά (μείωση 15,5%), η ειδική αντίστασή της ιλύος (αύξηση 190% και η δυνατότητα συμπίκνωσής της (αύξηση 125% του απαιτούμενου χρόνου για διπλασιασμό της συγκέντρωσης των στερεών μέσω διήθησης).

Τα αποτελέσματα από την πιλοτική μονάδα, συγκρινόμενα και με βιβλιογραφικά αποτελέσματα, ήταν κατώτερα του αναμενόμενου. Πιθανή αιτία αυτών των αποτελεσμάτων ίσως αποτελεί ο ελλιπής αερισμός της δεξαμενής ή η μη ικανοποιητική μηχανική ανάδευση.

Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος 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 την συγκέντρωση των ολικών στερεών. Από την γραφική παράσταση προέκυψε η εξίσωση συσχέτισης $\mu [cP] = 0,254e^{83,564 \cdot TS}$ για την ιλύ χωρίς προεπεξεργασία ή επεξεργασία με Υπεροξειδίο και $\mu [cP] = 0,5823e^{55,974 \cdot TS}$ για την ιλύ που είχε προεπεξεργαστεί με μικροκύματα.

1. Περίληψη	2
2. Εισαγωγή	5
3. Θεωρητικό μέρος	6
3.1. Ιλύς.....	6
3.1.1. Δομή της ιλύος.....	6
3.1.2. Νερό.....	8
3.1.3. Πολυμερή.....	9
3.1.4. Παθογόνοι μικροοργανισμοί.....	11
3.2. Τελική Διάθεση.....	11
3.3. Επεξεργασία.....	13
3.3.1. Μείωση όγκου.....	13
3.3.2. Σταθεροποίηση	14
3.3.2.1. Βιολογική επεξεργασία.....	14
3.3.2.2. Χημική επεξεργασία	20
3.3.2.3. Φυσική επεξεργασία	20
3.3.3. Προεπεξεργασία.....	22
4. Πειραματικό Μέρος.....	23
4.1. Πιλοτικές μονάδες	23
4.2. Πειραματική διαδικασία	25
4.3. Αναλυτικό μέρος.....	27
5. Αποτελέσματα	33
5.1. Δυναμικό ιξώδες	33
5.2. Εργαστηριακής κλίμακας μονάδα.....	34
5.2.1. 1 ^ο Πείραμα	34
5.2.1.1. Θερμοκρασία	34
5.2.1.2. Στερεά	35
5.2.2. 2 ^ο Πείραμα	37
5.2.2.1. Στερεά	38
5.2.2.2. Ειδική Αντίσταση	40
5.2.2.3. Δυνατότητα Συμπύκνωσης ιλύος.....	41
5.2.2.4. Εικόνες της ιλύος	42
5.2.3. 3 ^ο Πείραμα	44
5.2.3.1. Στερεά	45
5.2.3.2. Ειδική Αντίσταση	46
5.2.3.3. Δυνατότητα Συμπύκνωσης ιλύος.....	47
5.3. Πιλοτικό σύστημα.....	49
5.3.1. Στερεά	49
5.3.2. Ειδική Αντίσταση	52
5.3.3. Δυνατότητα Συμπύκνωσης ιλύος.....	54
6. Συμπεράσματα	56
7. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	57
8. Παράρτημα	58
9. Βιβλιογραφία	60

2. Εισαγωγή

Στις μέρες μας η επιστήμη έχει εξελιχθεί αρκετά στον τομέα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Έχουμε πλέον την δυνατότητα το νερό που προκύπτει από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων να το επαναχρησιμοποιούμε και η ποιότητά του να είναι ικανοποιητική για άρδευση, εμπλουτισμό του υδροφορέα και σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και για πόση. Η έρευνα πλέον εντοπίζεται κυρίως στην βελτίωση της απόδοσης των χρησιμοποιούμενων μεθόδων και την μείωση του κόστους επεξεργασίας των λυμάτων. Αντίθετα όσον αναφορά την παραγόμενη από τους βιολογικούς καθαρισμούς ιλύ, η έρευνα δεν έχει εξελιχθεί αντίστοιχα. Επιπλέον η έρευνα έχει εστιαστεί σε μεθόδους μείωσης του όγκου της ιλύος και όχι τόσο στην πιθανή επαναχρησιμοποίηση της. Λογικό συνακόλουθο είναι και η νομοθεσία για την διάθεση της ιλύος να βρίσκεται σε νηπιακό στάδιο τόσο στην χώρα μας, όσο και στον υπόλοιπο κόσμο. Το μέγεθος του προβλήματος μπορεί να γίνει καλύτερα αντιληπτό αν προσπαθήσουμε να εντοπίσουμε τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό της ιλύος. Η μέθοδος μέτρησης των στερεών στην ιλύ, η οποία αποτελεί μία από τις λίγες γενικά αποδεκτές μεθόδους, τροποποιείται κάθε φορά με βάση την συγκέντρωση των στερεών στην ιλύ. Όσον αναφορά την δυνατότητα αφυδάτωσης της ιλύος- ένα χαρακτηριστικό το οποίο στην ελληνική βιβλιογραφία δεν έχει καν όνομα (στην συγκεκριμένη εργασία θα χρησιμοποιείται η λέξη “αφυδατωσιμότητα”)- δεν υπάρχει μία αποδεκτή μέθοδος χρήσης από την επιστημονική κοινότητα.

Η συγκεκριμένη εργασία αφορά την επεξεργασία της ιλύος με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση της. Συγκεκριμένα θα μελετηθεί η βέλτιστη μέθοδος προεπεξεργασίας της ιλύος, για την καλύτερη μετέπειτα θερμόφιλη αυτόθερμη αερόβια χώνευση της ιλύος. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων θα παρακολουθείται η μείωση των στερεών και η αφυδατωσιμότητα της ιλύος, χαρακτηριστικά που δύναται να κρίνουν την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της ιλύος.

3. Θεωρητικό μέρος

3.1. Ιλύς

Η ιλύς αποτελεί το σύνολο ουσιών που έχουν καθιζάνει στις κατάλληλες διαδικασίες ενός βιολογικού. Συνήθως οι βιολογικοί καθαρισμοί διαθέτουν δύο στάδια καθίζησης. Την πρωτοβάθμια που ακολουθεί την εξάμμιση, και στην οποία καθιζάνουν κυρίως ανόργανα στερεά. Η δεύτερη διαδικασία καθίζησης βρίσκεται μετά την βιολογική επεξεργασία και σε αυτήν καθιζάνουν κυρίως τα συσσωματώματα βιομάζας που έχουν δημιουργηθεί στο προηγούμενο στάδιο. Η συγκεκριμένη ιλύς ονομάζεται και ενεργός ιλύς. Στην πρωτοβάθμια καθίζηση εντοπίζονται κυρίως αναερόβιοι μικροοργανισμοί, ενώ στην δευτεροβάθμια αερόβιοι. Μικρή ποσότητα της ενεργού ιλύος οδηγείται στην δεξαμενή βιολογικής επεξεργασίας για εμπλουτισμό με μικροοργανισμούς. Η υπόλοιπη καθώς και η πρωτοβάθμια οδηγούνται προς περαιτέρω επεξεργασία, πιθανόν με στόχο και την παραγωγή βιοαερίου και απομάκρυνση από τον βιολογικό καθαρισμό.

3.1.1. Δομή της ιλύος

Η πρωτοβάθμια (ή αναερόβια) ιλύς όπως αναφέρθηκε νωρίτερα περιέχει κυρίως αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η συγκέντρωση των στερεών κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4%. Στον βιολογικό καθαρισμό των Χανίων η συγκέντρωσή των πτητικών και ολικών στερεών έχει μετρηθεί περίπου στα 4,5% και αντίστοιχα.

Η δευτεροβάθμια ιλύς αποτελείται κυρίως από συσσωματώματα αερόβιων μικροοργανισμών και η συγκέντρωση των στερεών μετά την καθίζηση βιογραφικά κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,5%, ενώ στον βιολογικό καθαρισμό των Χανίων έχει μετρηθεί περίπου στο 0,7%.

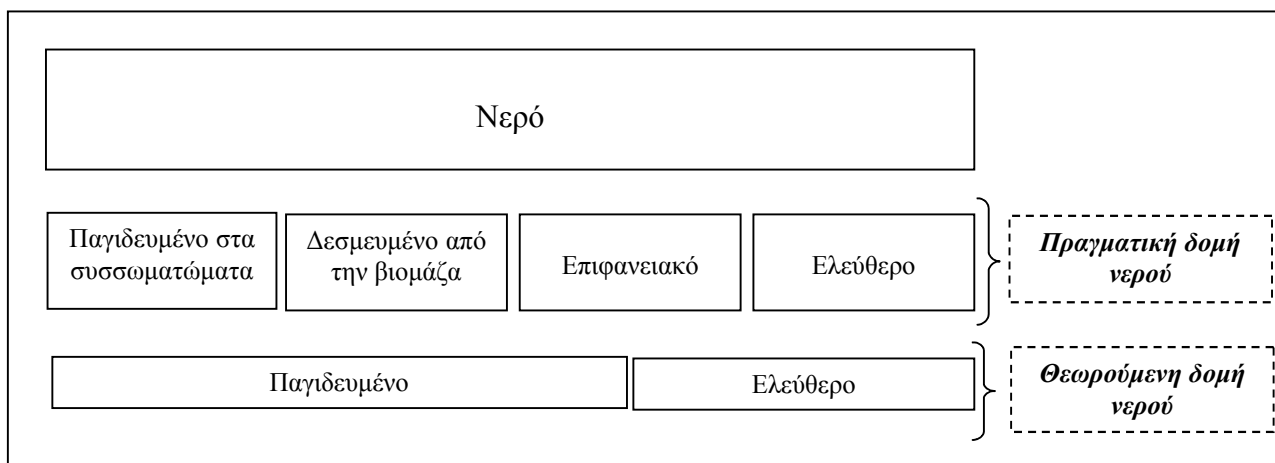
Για την καλύτερη επεξεργασία της ιλύος έχει γίνει σημαντική προσπάθεια προσδιορισμού της δομής της. Βασικό δομικό χαρακτηριστικό της ενεργού ιλύος αποτελούν τα συσσωματώματα. Οι βασικές διεργασίες που πραγματοποιούνται κατά την αερόβια επεξεργασία -δηλαδή: i. η μετατροπή της οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα και κυτταρικό υλικό καθώς και ii. η συσσωμάτωση κολλοειδών υλικών σε στερεά ή σε άλλα κολλοειδή τα οποία δύναται να καθιζάνουν- πραγματοποιούνται μέσα στα συσσωματώματα. Επιπλέον αρκετά από τα προβλήματα που παρουσιάζονται στην ενεργό ιλύ, όπως η μείωση της δυνατότητας αφυδάτωσης ή πάχυνσης της ιλύος, εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο βαθμό από τα συσσωματώματα. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι τα φυσικά χαρακτηριστικά των συσσωματωμάτων, όπως το μέγεθος και η δομή τους, αποτελούν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ιλύος ^[15]. Για αυτόν τον λόγο έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές προσπάθειες προσδιορισμού της επίδρασης του μεγέθους και της δομής των συσσωματωμάτων στα χαρακτηριστικά της ιλύος ^[5].

Ο συνήθης χαρακτηρισμός της ενεργού ιλύος, για λόγους ευκολίας και απλότητας, είναι «νερό και στερεά», όπου με τον όρο «στερεά» εννοούνται κυρίως οι μικροοργανισμοί. Όπως όμως έχει γίνει αντιληπτό, η δομή των συσσωματωμάτων δεν είναι ομοιογενής, και δεν είναι δυνατή η προσομοίωση του συσσωματώματος ως ύλη με σταθερό μέγεθος και πυκνότητα. Η επίδρασή των πολυμερών για παράδειγμα στα συσσωματώματα και συνεπώς στη ενεργό ιλύ, είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Τα συσσωματώματα αποτελούνται κυρίως από την βιομάζα (δηλαδή το σύνολο των μικροοργανισμών), τα πολυμερή, τα οποία συγκρατούν μεταξύ τους διαφορετικές ομάδες βιομάζας δημιουργώντας ουσιαστικά τα συσσωματώματα, από το νερό, τα κολλοειδή και σε μικρότερο βαθμό από κατιόντα. Η συγκρότηση των παραπάνω ουσιών στην ιλύ εμφανίζεται να είναι τελείως τυχαία^[5]. Η δομή όμως των συσσωματωμάτων καθώς και των μικροοργανισμών διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στον αερόβιο αντιδραστήρα. Γενικά όμως εντοπίζονται μικρο-συσσωματώματα διαστάσεων 2,5 μm και δευτερευόντως 16 μm τα οποία δημιουργούν με την επίδραση των εξωκυτταρικών πολυμερών συσσωματώματα διαστάσεων μέχρι και 125 μm . Τα τελευταία αν και λιγότερα, εξαιτίας της μεγάλης διαμέτρου τους, καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό όγκου στην ιλύ (περίπου 10% του συνολικού όγκου της ιλύος) ^[10].

3.1.2. Νερό

Το νερό βρίσκεται στην ενεργό ιλύ σε διάφορες μορφές, οι οποίες δεν έχουν πλήρως προσδιοριστεί. Γενικά έχει γίνει αποδεκτό ότι το νερό εμφανίζεται σε τέσσερεις καταστάσεις ^{[6],[18]}. Η μεγαλύτερη ποσότητα χαρακτηρίζεται ως «ελεύθερο νερό» όπου μπορούμε να πούμε ότι μέσα σε αυτό το νερό υπάρχουν τα συσσωματώματα. Αρκετή ποσότητα νερού βρίσκεται παγιδευμένη μέσα στα συσσωματώματα (στην διεθνή βιβλιογραφία ονομάζεται bound water). Το νερό αυτό παραμένει δεσμευμένο και μπορεί να απομακρυνθεί μόνο με διάσπαση των συσσωματωμάτων. Ο τρίτος τύπος νερού αποτελείται από το νερό που είναι δεσμευμένο από την βιομάζα. Τέλος το νερό που έχει δεσμευτεί στην επιφάνεια των σωματιδίων αποτελεί την τέταρτη ομάδα (στην βιβλιογραφία ονομάζεται Surface ή vicinal water). Γενικά έχει γίνει αποδεκτή, για λόγους διευκόλυνσης της ερευνητικής διαδικασίας, μία πιο γενική διαχώριση του νερού σε ελεύθερο και δεσμευμένο. Το ελεύθερο νερό ορίζεται σαν το νερό το οποίο δύναται να απομακρυνθεί με μηχανικές μεθόδους, και αποτελείται από το ελεύθερο νερό (όπως ορίσαμε αρχικά) και μέρος του επιφανειακά δεσμευμένου νερού. Το δεσμευμένο νερό αποτελείται από τις υπόλοιπες μορφές του νερού. Σχηματικά η κατηγοριοποίηση του νερού φαίνεται στην *Εικόνα 1*.



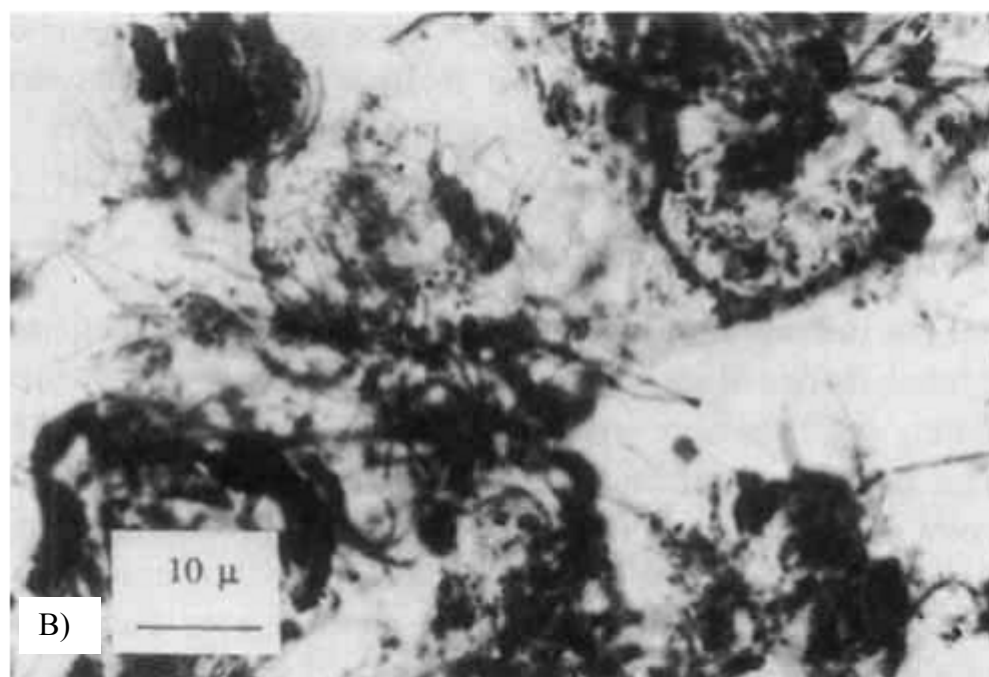
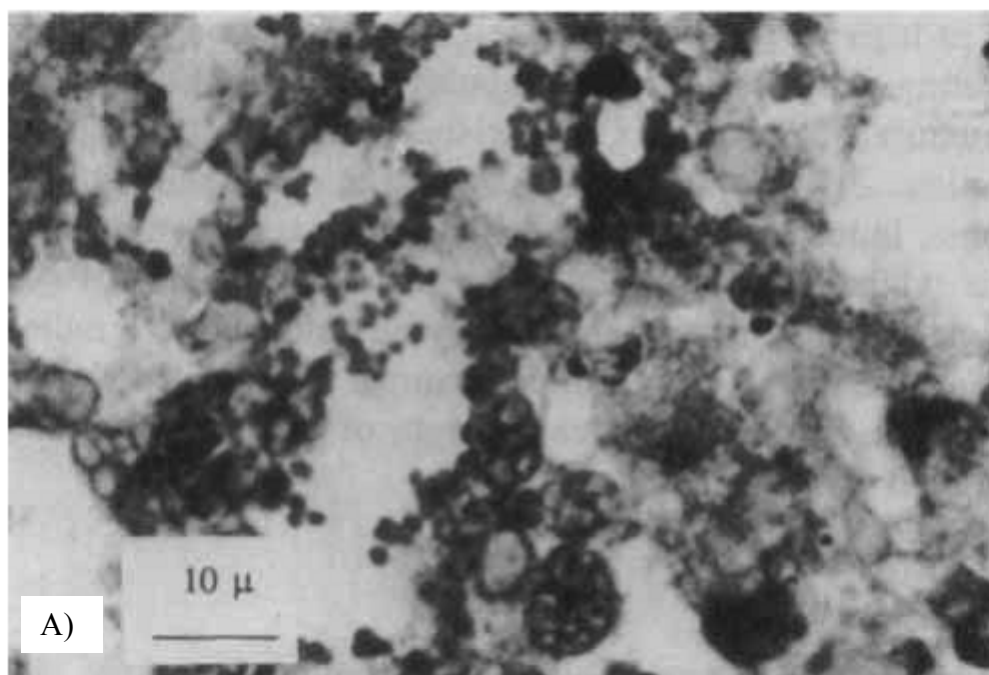
Εικόνα 1: Κατηγοριοποίηση του νερού στην ιλύ

3.1.3. Πολυμερή

Τα Εξωκυτταρικά Πολυμερή (extracellular polymeric substances - ESP) μπορεί να αποτελούν ένα μικρό (κατά βάρος) κομμάτι των συσσωματωμάτων, η επίδρασή τους όμως στην ιλύ είναι σημαντική. Με τον όρο Εξωκυτταρικά Πολυμερή εννοούμε ένα σύνολο οργανικών μακρομορίων όπως πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα και λιπίδια. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, τα πολυμερή αποτελούν τους δεσμούς που συγκρατούν τα συσσωματώματα. Δημιουργούν μία τρισδιάστατη δομή –παρόμοια με υγρό gel- το οποίο σε αρκετές περιπτώσεις είναι και θετικά ή αρνητικά φορτισμένο. Η συνολική μάζα που καταλαμβάνουν τα πολυμερή (περιλαμβάνοντας τις ουσίες και το νερό που έχουν δεσμεύσει εντός τους) μπορεί να φτάσει μέχρι και το 80% της μάζας της ιλύος^[1]. Η επίδραση, όπως αναφέραμε και νωρίτερα, των πολυμερών στην ιλύ είναι σπουδαία. Με την δημιουργία των (πλούσιων σε νερό) συσσωματωμάτων, παρέχουν τις κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών, απαραίτητων για την σταθεροποίηση της ιλύος. Επιπλέον εξαιτίας της ηλεκτρικής φόρτισης των πολυμερών, τα συσσωματώματα έλκουν άλλα ιόντα (όπως μέταλλα) που περιέχονται στο στο νερό, και τα απομακρύνει, οδηγώντας τα στην ιλύ.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα τα πολυμερή αποτελούν το δεσμό μεταξύ της βιομάζας και περιορίζουν με αυτόν τον τρόπο το ποσοστό του ελεύθερου νερού. Συνεπώς τα πολυμερή αποτελούν και βασικό παράγοντα στην δυνατότητα απομάκρυνσης του νερού από την ιλύ. Όπως φαίνεται και από την μελέτη του Da-hong Li ^[5] στην ιλύ με μικρότερη τιμές SVI (περίπου 70ml/gr), παρατηρούνται ξεκάθαρα τα ινώδη πολυμερή (Εικόνα 2). Συγκεκριμένα στην πρώτη εικόνα, η ιλύς προέρχεται από εργαστηριακό αντιδραστήρα συνεχούς τροφοδοσίας οργανικής ύλης σε μορφή φαινολών. Στην δεύτερη εικόνα, το δείγμα προέρχεται από δεξαμενή αερισμού βιολογικού καθαρισμού με προβλήματα υπερβολικού αφρισμού.

Γενικά το φαινόμενο υπερβολικά μεγάλης εμφάνισης πολυμερών, τα οποία “κυκλώνουν” τα συσσωματώματα, είναι υπαρκτό (σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό) στα περισσότερα δείγματα προερχόμενα από βιολογικούς καθαρισμούς. Εξαιρέση αποτελεί συνήθως η ιλύς που έχει αναπτυχθεί κάτω από εργαστηριακές συνθήκες. Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί σε αρκετές μελέτες^[9].



Εικόνα 2: Φωτογραφίες ιλύος . Α) Ιλύς από εργαστηριακό αντιδραστήρα Β)Ιλύς από δεξαμενή αερισμού με προβλήματα αφρισμού

3.1.4. Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Στην ιλύ (τόσο στην αερόβια όσο και στην αναερόβια) εντοπίζονται επίσης μεγάλες ποσότητες μικροοργανισμών παθογόνων και μη, οι οποίοι αποτελούν και έναν από τους παράγοντες που απαγορεύουν την χρήση ως εδαφοβελτιωτικό. Επιπλέον προβλήματα δημιουργούν οι μικρορύποι που καταλήγουν στα υγρά απόβλητα και στην συνέχεια δεσμεύονται από την βιομάζα και καταλήγουν στην ιλύ. Άλλον ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η παραγωγή οσμών από την ιλύ.

3.2. Τελική Διάθεση

Στην Ε.Ε. δεν έχουν οριστεί περιορισμοί για την μετέπειτα χρήση της ιλύος. Αντίθετα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) έχει ορίσει κριτήρια με τα οποία γίνεται εφικτή η κατηγοριοποίηση της ιλύος, και ο καθορισμός της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης αυτής ^[8].

Από την EPA έχουν οριστεί κανόνες και όρια με βάση τα οποία καθορίζεται η δυνατότητα εναπόθεσης της ιλύος.

Η Ε.Ρ.Α. (U.S. Environmental Protection Agency) έχει ορίσει κριτήρια για την ποιότητα της ιλύος, με βάση τα οποία καθορίζεται η δυνατότητα ή όχι χρήσης του προϊόντος της χώνευσης. Έχουν έτσι δημιουργηθεί τέσσερις κατηγορίες:

- 1^η Κατηγορία: **Ιλύς εξαιρετικής ποιότητας**. Η ιλύς στην οποία η συγκέντρωση ρύπων είναι ελάχιστη, έχουν απομακρυνθεί όλοι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί (Ιλύς Α΄ τάξης) και έχει πραγματοποιηθεί επαρκής αποδόμηση της οργανικής ύλης. Η εν λόγω ιλύς δύναται να χρησιμοποιηθεί χωρίς κανέναν περιορισμό.
- 2^η Κατηγορία: **Ιλύς με συγκέντρωση παθογόνων**. Η εν λόγω ιλύς αν και η συγκέντρωση ρύπων είναι κατώτερη των ορίων, δεν έχει πραγματοποιηθεί επαρκής απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών (ιλύς Β΄ τάξης). Η ιλύς 2^{ης} κατηγορίας γίνεται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, με κάποιους όμως περιορισμούς.

- 3^η Κατηγορία: **Ιλύς με αυξημένο ρυπογόνο φορτίο.** Σε αυτήν την περίπτωση η συγκέντρωση ενός τουλάχιστον ρύπου, ξεπερνάει τα όρια της 2^{ης} κατηγορίας. Όσον αφορά την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, η ιλύς πρέπει να ανήκει στην ιλύ Α΄ τάξης. Στην τοποθεσία που θα πραγματοποιηθεί η εναπόθεση της ιλύος, θα πρέπει να πραγματοποιείται παρακολούθηση του ρυπαντικού φορτίου.
- 4^η Κατηγορία: **Ιλύς με ετήσια προστιθέμενου ρυπογόνου φορτίου.** Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τις περιπτώσεις που η ιλύς που εναποτεθεί δέχεται συνεχή ρυπογόνα φορτία. Όσον αφορά την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, η ιλύς πρέπει να ανήκει στην ιλύ Α΄ τάξης.

Στο παράρτημα μπορούμε να δούμε αναλυτικά τα όρια ανά κατηγορία που έχουν οριστεί από την Ε.Ρ.Α.

Οι δύο κατηγοριοποιήσεις που αναφέρθηκαν νωρίτερα με βάση την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών φαίνονται παρακάτω.

- Α΄ Τάξη: Οι ποσότητες των παθογόνων βακτηριδίων της ιλύος που ανήκει στην εν λόγω κατηγορία, βρίσκονται κάτω από το όριο ανίχνευσης. Ένα από τα κριτήρια που εξασφαλίζουν την ποιότητα της ιλύος είναι η Αερόβια χώνευση της ιλύος για 10 τουλάχιστον μέρες σε θερμοκρασίες 55 - 60 °C. Η παραγόμενη ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εδαφοβελτιωτικό.
- Β΄ Τάξη: Οι ποσότητες των παθογόνων βακτηριδίων της ιλύος που ανήκει στην εν λόγω κατηγορία, είναι μεν ανιχνεύσιμες αλλά κάτω από συγκεκριμένα όρια, ώστε να μην αποτελούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία. Η ιλύς που ικανοποιεί τα κριτήρια που έχουν ορισθεί για την συγκεκριμένη κατηγορία, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό με κάποιους όμως περιορισμούς.

3.3. Επεξεργασία

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για να είναι δυνατή η απομάκρυνση της ιλύος από τους βιολογικούς καθαρισμούς, θα πρέπει να καλύπτει κάποιες προϋποθέσεις που έχουν τεθεί είτε από την νομοθεσία είτε από τις απαιτήσεις του υποδοχέα της ιλύος (π.χ. Χ.Υ.Τ.Α.)

Η επεξεργασία της ιλύος επιδιώκει να καλύψει τους παρακάτω στόχους ^[3]:

- 1) την μείωση ή εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών
- 2) την μείωση ενοχλητικών οσμών
- 3) ελαχιστοποίηση της αποδόμησης (την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών)
- 4) μείωση του όγκου

Τις τρεις πρώτες διεργασίες μπορούμε να τις συνοψίσουμε με την λέξη «Σταθεροποίηση» και είναι αυτές που απαιτούνται για την απόρριψη της ιλύος. Εξαιτίας όμως του μεγάλου κόστους επεξεργασίας ή απόρριψης της ιλύος, αποτελεί πλέον βασικότατο στόχο της επεξεργασίας και η μείωση του όγκου της.

3.3.1. Μείωση όγκου

Βασικό στόχος για έναν βιολογικό καθαρισμό, είναι η μείωση του όγκου της ιλύος που οδηγείται προς τελική διάθεση. Βασική αιτία είναι το κόστος διάθεσης της ιλύος καθώς και το κόστος που απαιτείται να δαπανηθεί σε περίπτωση περαιτέρω επεξεργασίας της ιλύος.

Ενώ οι μέθοδοι μείωσης του όγκου της ιλύος έχουν αναπτυχθεί εκτενώς, δεν έχει δώσει ακόμα εφικτός ο προσδιορισμός της βέλτιστης μεθόδου αφυδάτωσης για κάθε ιλύ. Οι μέθοδοι προσδιορισμού της δυνατότητας αφυδάτωσης της ιλύος που έχουν χρησιμοποιηθεί στην βιβλιογραφία είναι με μέτρηση της Ειδικής Αντίστασης της ιλύος ^[19,23], με φυγοκέντρωση ^[7,22] καθώς και άλλες μεθόδους^[2].

Τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει μια προσπάθεια προσδιορισμού της δυνατότητας αφυδάτωσης της ιλύος, έμμεσα, μετρώντας το ποσοστό του Ελεύθερου Νερού στην ιλύ. Ουσιαστικά δεν μετράται η αφυδατωσιμότητα της

ιλύος, αλλά παρέχεται η δυνατότητα στην επεξεργασμένη ιλύ να μετρήσουμε την ποσότητα του ελεύθερου νερού που υπάρχει σε σχέση με το αρχικό μας δείγμα, και να υποθέτοντας ότι μεγαλύτερο ποσοστό ελεύθερου νερού στην ιλύ σημαίνει καλύτερη δυνατότητα αφυδάτωσης, να συγκρίνουμε διάφορες μεθόδους επεξεργασίας.

Η αφυδάτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί με αρκετές τεχνικές. Μερικές από αυτές είναι η ταινιοφιλτροπρεσση, κλίνες ξήρανσης, λίμνες ιλύος, φιλτρόπρεσσες με δίσκους, φυγοκέντριση και άλλες. Κάθε μέθοδος παρουσιάζει διαφορετικά στοιχεία τόσο απόδοσης, αλλά και κόστους και χρόνου παραμονής. Η πλέον συνήθη μέθοδος στην Ελλάδα είναι οι ταινιοφιλτροπρεσσες, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και φυγοκέντριση.

3.3.2. Σταθεροποίηση

Τις διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την σταθεροποίηση της ιλύος θα τις χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες: Την Βιολογική, την Χημική και την Φυσική επεξεργασία της ιλύος. Ο καθορισμός αυτός πραγματοποιείται μόνο για διευκόλυνση της αναφοράς αυτών. Στην πράξη για την σταθεροποίηση της ιλύος χρησιμοποιείται συνδυασμός των παρακάτω μεθόδων.

3.3.2.1. Βιολογική επεξεργασία

Η βιολογική σταθεροποίηση, την οποία και θα μελετήσουμε πιο αναλυτικά, εμφανίζεται σε διάφορες μορφές ανάλογα με τις βασικές παραμέτρους της: την παρουσία οξυγόνου και την θερμοκρασία. Έτσι εμφανίζονται οι δύο βασικές κατηγορίες, η αερόβια και η αναερόβια επεξεργασία. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χωριστούν ανάλογα με την παρατηρούμενη θερμοκρασία σε ψυχρόφιλες (<10°C), μεσόφιλες (15-45°C) και θερμόφιλες (>50°C). Επιπλέον κατηγοριοποιήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, όπως το είδος του παρεχόμενου αερισμού (παροχή αέρα ή καθαρού οξυγόνου) και την πηγή της θερμότητας (αυτόθερμα ή όχι συστήματα). Επιπλέον είναι

πιθανό σε μια μονάδα επεξεργασίας να υπάρχουν δύο τύποι επεξεργασίας σε σειρά (π.χ. αρχικά μία μεσόφιλη αερόβια δεξαμενή και στην συνέχεια μία θερμόφιλη αερόβια δεξαμενή).

Συνηθίζεται πλέον πριν από την χώνευση της ιλύος να πραγματοποιείται κάποια προεπεξεργασία που έχει ως στόχο τόσο την καλύτερη απόδοση της χώνευσης όσο και την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης.

i Αναερόβια

Η αναερόβια διεργασία μπορεί να περιγραφεί συντόμως ως η διαδικασία αποδόμησης, απουσίας οξυγόνου, οργανικής ύλης σε διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και νερό. Η διεργασία αυτή μπορεί χωριστεί σε τρία βασικά στάδια:

- Την υδρόλυση κατά την οποία τα πιο πολύπλοκα οργανικά μόρια διασπώνται σε απλούστερα.
- Την μετατροπή των απλούστερων μορίων σε οργανικά οξέα
- Μετατροπή των οργανικών οξέων σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα

Γίνεται αντιληπτό ότι η αερόβια επεξεργασία προτιμάται για ιλύ προερχόμενη από την πρωτοβάθμια καθίζηση, η οποία βρίσκεται ήδη σε αναερόβια κατάσταση.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αναερόβιας επεξεργασίας (ενός ή δύο σταδίων, ψυχρόφιλες ή μεσόφιλες), με συνέπεια να υπάρχει πληθώρα δεδομένων όσον αφορά την απόδοση των συστημάτων και το χρόνο παραμονής.

Στον Πίνακα 1 μπορούμε να δούμε την μείωση των πτητικών στερεών για διάφορους χρόνους παραμονής για μεσόφιλες συνθήκες χώνευσης (οι οποίες είναι εύκολο να επιτευχθούν αυτόθερμα, λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων που πραγματοποιούνται).

Πίνακας 1: Μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει του χρόνου παραμονής

<i>Χρόνος Παραμονής (μέρες)</i>	<i>Μείωση πτητικών στερεών(%)</i>
30	65,5
20	60
15	56

*WEF (1998)²¹

Βασικό πλεονέκτημα της αναερόβιας επεξεργασίας (πέραν των υψηλών ποσοστών μείωσης των πτητικών στερεών) είναι η παραγωγή του βιοαερίου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Η συνολική παραγόμενη ποσότητα αντιστοιχεί περίπου σε 0,75-1,12 m³/kg πτητικών στερεών που καταστρέφονται^[12].

Βασικό μειονέκτημα είναι οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής και συνεπώς οι μεγάλες εγκαταστάσεις που απαιτούνται καθώς και η επεξεργασία των παραγόμενων αερίων στην περίπτωση που οι ποσότητες δεν είναι αρκετές για εκμετάλλευση.

ii Αερόβια

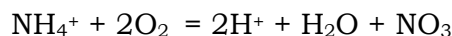
Κατά την αερόβια χώνευση λαμβάνει χώρα οξείδωση του οργανικού υλικού με παράλληλη νιτροποίηση. Το αναγκαίο οξυγόνο παρέχεται στο σύστημα είτε με παροχή καθαρού οξυγόνου (πιο σπάνια) είτε με παροχή αέρα (πιο συχνά). Η αερόβια επεξεργασία πραγματοποιείται κυρίως σε ιλύ προερχόμενη από τη δευτεροβάθμια καθίζηση, επειδή σε αυτήν υπάρχουν ήδη αερόβιοι μικροοργανισμοί. Στην περίπτωση που προστεθεί και ιλύς προερχόμενη από πρωτοβάθμια καθίζηση, πιθανότατα θα πρέπει να αυξηθούν οι χρόνοι παραμονής.

Αν δεχτούμε ως χημικό τύπο της βιομάζας τον C₅H₇NO₂, τότε μπορούμε να περιγράψουμε τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την αερόβια χώνευση με τις ακόλουθες σχέσεις:

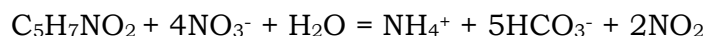
-Αποδόμηση βιομάζας



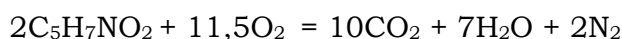
-Νιτροποίηση της αμμωνίας



-Απονιτροποίηση

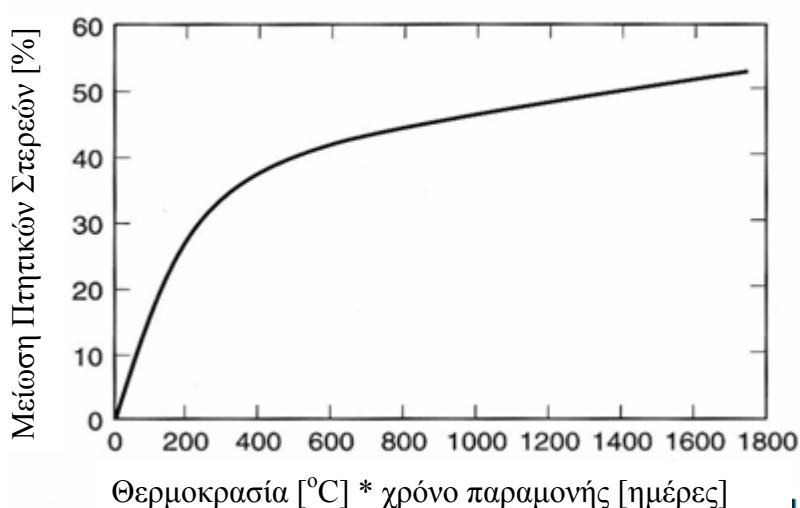


Συνολικά, το σύνολο των αντιδράσεων μπορούν να περιγραφούν με τη σχέση:



Η μείωση των πιητικών στερεών σε ένα αερόβια σύστημα εξαρτάται από τη θερμοκρασία της δεξαμενής και τον χρόνο παραμονής, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3*.

Το Διαλυμένο Οξυγόνο στη δεξαμενή επεξεργασίας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 mg/l, αν και στα συστήματα με υψηλές θερμοκρασίες αυτές οι τιμές είναι σχεδόν αδύνατο να επιτευχθούν.



Εικόνα 3: Μείωση των πιητικών στερεών συναρτήσει του χρόνου παραμονής και της θερμοκρασίας ^[12]

Η περιορισμένη εφαρμογή της αερόβιας χώνευσης αιτιολογείται από το αυξημένο κόστος λειτουργίας (λόγω του αερισμού) και από τις μικρές τιμές απομάκρυνσης των πιητικών στερεών. Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι οι μικρότερες παρατηρούμενες τιμές του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (B.O.D.) και φωσφόρου στο παραγόμενο προϊόν, η έλλειψη οσμών και κινδύνου έκρηξης (λόγω της μη παραγωγής βιοαερίου), καθώς και το μικρότερο αρχικό κόστος εξαιτίας των μικρών χρόνων παραμονής (κυρίως στα μεσόφιλα και θερμοφιλα συστήματα), οι οποίοι μειώνουν τον αιτούμενο όγκο των δεξαμενών.

Απόδοση αερόβιων συστημάτων συναρτήσει θερμοκρασίας

Στην αερόβια επεξεργασία παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στην απόδοση του συστήματος με αύξηση της θερμοκρασίας. Στον *Πίνακα 1* μπορούμε να διακρίνουμε την αύξηση της απομάκρυνσης των πτητικών στερεών συναρτήσει της θερμοκρασίας για χρόνο παραμονής 17 ημερών.

Πίνακας 2: Μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία (°C)	20	37	40	45	50	55
Μείωση πτητικών στερεών (%)	24	49	39	55	62	48

*Milenko (2002)

Από την ίδια πηγή μπορούμε να δούμε τη μείωση των πτητικών στερεών για σταθερή θερμοκρασία 50 °C, στην πάροδο του χρόνου (*Πίνακας 2*).

Πίνακας 3: Μείωση των πτητικών στερεών συναρτήσει του χρόνου

Χρόνος παραμονής (ημέρες)	5	6	7	8	9
Μείωση πτητικών στερεών (%)	30	35	37,5	44	47

*Milenko (2002)

Γίνεται λοιπόν εύκολα αντιληπτό ότι η αερόβια επεξεργασία, όταν πραγματοποιείται σε μεσόφιλες ή θερμόφιλες συνθήκες, μπορεί να επιτύχει υψηλές απομακρύνσεις των πτητικών στερεών σε μικρούς χρόνους παραμονής. Δεδομένου ότι οι πραγματοποιούμενες αντιδράσεις είναι εξώθερμες, είναι δυνατόν να επιτευχθεί Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση Ιλύος (Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion, A.T.A.D.).

Συστήματα Αυτόθερμης Θερμόφιλης Αερόβιας Χώνευσης Ιλύος

Η αερόβια χώνευση της ιλύος, όπως αναφέραμε και νωρίτερα είναι μια εξώθερμη αντίδραση με παραγωγή θερμότητας περίπου 25kcal/lτ ιλύος ή 20.000kJ ανά κιλό πτητικών στερεών που αποδομείται, κάνοντας εφικτή την πραγματοποίηση αυτόθερμων διεργασιών.

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ο αριθμός των βακτηριδίων που συμμετέχουν στην νιτροποίηση μειώνεται σε μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα να μειώνονται κατά 30-40% οι απαιτήσεις σε οξυγόνο, καθώς επίσης και να μην πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις νιτροποίησης. Συνεπώς στα προϊόντα της

επεξεργασίας περιλαμβάνεται και η αμμωνία. Μέρος της αμμωνίας δύναται να μετατραπεί σε Νιτρικά. Συνολικά οι αντιδράσεις που λαμβάνουν μέρος μπορούν να αποδοθούν με την αντίδραση:



Στην πράξη τα συστήματα Α.Τ.Α.Δ. μπορούν να χρησιμοποιούν δύο δεξαμενές συνδεδεμένες στην σειρά, όπου στην πρώτη πραγματοποιείται μεσόφιλη χώνευση και στη δεύτερη η θερμόφιλη. Επίσης έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία συστήματα μίας (θερμόφιλης) φάσης. Το εισερχόμενο υλικό είναι συνήθως δευτεροβάθμια ιλύς, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μίγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, καθώς και λυμάτων προερχόμενων από οικιακούς βόθρους.

Στην βιβλιογραφία εμφανίζεται διάσταση απόψεων σε σχέση με την προτεινόμενη συγκέντρωση των Ολικών Στερεών στην ιλύ εισροής. Έχει επιλεγεί με επιτυχία τροφοδοσία ανάμικτης πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος με λόγο ανάμιξης 1:2 και ολικά στερεά μεταξύ 1,5 και 2%¹⁰. Επιπλέον έχει χρησιμοποιηθεί τροφοδοσία μίγματος αποτελούμενο από πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια καθώς και ιλύ προερχόμενη από οικιακούς βόθρους με συνολικό ποσοστό στερεών 4,7%⁶. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, προτείνεται η τροφοδοσία να έχει συγκέντρωση ολικών στερεών 4-10%^{7,9,11}

Τα βασικότερα σημεία στον σχεδιασμό ενός συστήματος Α.Τ.Α.Δ., αποτελούν η σωστή μόνωση του συστήματος και η κατάλληλη μέθοδος αερισμού (ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συγκέντρωση Διαλυμένου Οξυγόνου (D.O.) με μικρότερες παροχές).

Στην βιβλιογραφία δίνεται ιδιαίτερο βάρος στην παροχή του αέρα. Συνήθως χρησιμοποιούνται συστήματα αερισμού «jet aeration». Η ποσότητα του παρεχόμενου αέρα διαφέρει αρκετά ανά περίπτωση και κυμαίνεται μεταξύ 0,035 και 0,68 lt/min ανά λίτρο ιλύος.

Σημαντική παράμετρος είναι επιπλέον η ανάδευση, η οποία έχει ως στόχο εκτός της δημιουργίας ομοιογενούς μίγματος και την παροχή επιπλέον ενέργειας στο σύστημα που αντιστοιχεί περίπου στο 30% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας του συστήματος^[9]. Σε μεγάλου όγκου συστήματα πρέπει να τοποθετηθεί και σύστημα ελέγχου του παραγόμενου αφρού.

Πλεονεκτήματα των Α.Τ.Α.Δ. αποτελούν:

- ο μικρός χρόνος παραμονής
- η υψηλή απομάκρυνση των πιητικών στερεών
- η απουσία Μεθανίου
- η καλύτερη ποιότητα της παραγόμενης ιλύος
- η εξερχόμενη ιλύς παρουσιάζει βελτιωμένη ανταπόκριση σε επιπλέον πάχυνση
- η θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών

3.3.2.2. Χημική επεξεργασία

i Αλκαλική επεξεργασία

Η αλκαλική επεξεργασία έχει ως στόχο την αύξηση του pH με την προσθήκη των κατάλληλων χημικών ουσιών. Προϋπόθεση για θεωρήσουμε ότι πραγματοποιείται σταθεροποίηση είναι η παραμονή του pH σε τιμές ανώτερες ή ίσες με 12 για τουλάχιστον 72 ώρες. Συνήθως χρησιμοποιείται οξειδίο του ασβεστίου, αλλά και αρκετές άλλες ενώσεις έχουν δοκιμαστεί με επιτυχία. Μερικές από αυτές είναι το FeO_4^{2-} το οποίο με την προσθήκη του παράγει και ποσότητα οξυγόνου, το οποίο επιταχύνει την σταθεροποίηση, καθώς και το μονοξείδιο του ασβεστίου^[3].

ii Οξειδωση

Αρκετά οξειδωτικά έχουν κατά καιρό χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία της ιλύος. Μεταξύ αυτών και τα όζον, ενώσεις υπεροξειδίου, υπεροξείδιο του υδρογόνου, υποχλωριώδες ιόν. Το οξειδωτικό μετά την προσθήκη του στην ιλύ, αντιδρά είτε απευθείας, είτε αφού πρώτα διασπαστεί σε άτομα οξυγόνου ή σε υδροξύλιο με τους ρύπους στην ιλύ. Σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και η προσθήκη καταλυτών όπως ο Σίδηρος.

3.3.2.3. Φυσική επεξεργασία

Οι μέθοδοι φυσικής επεξεργασίας της ιλύος έχουν ως άμεσο στόχο την θανάτωση όλων των μικροοργανισμών που εντοπίζονται σε αυτήν. Χαρακτηριστικό αυτού του συνόλου μεθόδων επεξεργασίας είναι το υψηλό κόστος.

i Θερμική επεξεργασία

Για να σταθεροποιηθεί η ιλύς πρέπει να διατηρηθεί για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα σε κάποια θερμοκρασία. Οι συνδυασμοί θερμοκρασίας – χρόνου που επιτυγχάνουν αυτόν τον στόχο τους ορίζουμε ως «ασφαλή ζώνη». Κάποιες χαρακτηριστικές θερμοκρασίες που μπορούν να επιτύχουν τον στόχο της σταθεροποίησης είναι $>62^{\circ}\text{C}$ για μία ώρα, $>50^{\circ}\text{C}$ για μία μέρα και $>46^{\circ}\text{C}$ για μία βδομάδα.

ii Ξήρανση

Εντοπίζονται δύο τύπου ξήρανσης: Η θερμική ξήρανση και η ξήρανση με αέρα. Η θερμική ξήρανση πραγματοποιείται με χρήση ζεστών αερίων τα οποία περνάνε μέσω της ιλύος. Ο στόχος είναι η υγρασία της ιλύος να μειωθεί στο 10% και να σταθεροποιηθεί σε αυτήν την τιμή. Η ξήρανση με αέρα είναι μία μέθοδος που απαιτεί μεγάλους χρόνους παραμονής και δεν διακρίνεται για τον πλήρη έλεγχο επί των αποτελεσμάτων. Η ιλύς αφήνεται σε ανοικτό χώρο να στεγνώσει φυσικά. Προφανώς βασικός παράγοντας της εν λόγω μεθόδου είναι και η γεωγραφική θέση της εγκατάστασης.

iii Επεξεργασία με ακτινοβολία

Δύο τύποι ραδιενεργής ακτινοβολίας έχουν χρησιμοποιηθεί: με β ακτινοβολία και με γ . Η εν λόγω μέθοδος βρίσκεται σε αρχικά στάδια μελέτης, και είναι δύσκολη η χρήση της εξαιτίας των αρνητικών παραμέτρων που παρουσιάζει η χρήση ραδιενεργής τεχνολογίας. Αποτελέσματα μελετών παρουσιάζουν πλήρη σταθεροποίηση της ιλύος, και επιπλέον βελτιωμένα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης της ιλύος^[3].

Η χρήση μικροκυμάτων για την επεξεργασία της ιλύος είναι μία νεώτερη μέθοδος που μελετάται. Κατά την επεξεργασία το νερό στην ιλύ (και αυτό που εντοπίζεται εντός των κυττάρων) δονείται, προσπαθώντας να φτάσει στην συχνότητα των μικροκυμάτων που χρησιμοποιούνται με αποτέλεσμα να σπάνε οι δομές των κυττάρων. Επιπλέον χαμηλότερες συχνότητες ($<2450\text{MHz}$) έχει παρατηρηθεί ότι καταστρέφουν τις αλυσίδες του DNA.

iv Επεξεργασία με υπερήχους

Κατά την επεξεργασία με υπερήχους έχει παρατηρηθεί σημαντική μείωση του μικροβιολογικού κλάσματος της ιλύος, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών και πίεσης. Η χρήση υπερήχων έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως ως τεχνολογία προεπεξεργασίας της ιλύος πριν από αναερόβια χώνευση, βελτιώνοντας αισθητά την απόδοση της χώνευσης ^[20].

3.3.3. Προεπεξεργασία

Οι περισσότερες από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν νωρίτερα, κυρίως οι χημικές επεξεργασίες, δεν χρησιμοποιούνται ως αυτόνομες διαδικασίες επεξεργασίας της ιλύος, αλλά συνδυάζονται συνήθως με χώνευση (αερόβια ή αναερόβια). Η προεπεξεργασία όμως μπορεί να έχει διπλό στόχο. Να βελτιώσει την διαδικασία της χώνευσης που ακολουθεί, αλλά επιπλέον να βελτιώσει την αφυδατωσιμότητα της ιλύος ή να αυξήσει την παραγωγή μεθανίου κατά την αναερόβια χώνευση.

4. Πειραματικό Μέρος

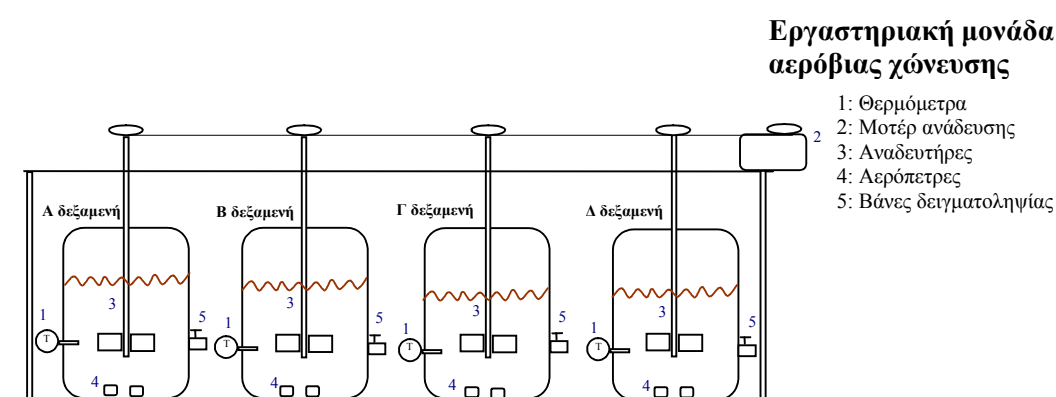
Στόχος αυτής της διπλωματικής είναι ο εντοπισμός της βέλτιστης (τόσο από πλευρά μείωσης των στερεών, όσο και αναφορικά με την αφυδατωσιμότητα της ιλύος) μεθόδου προεπεξεργασίας της ιλύος, ώστε στην συνέχεια να οδηγηθεί προς αερόβια αυτόθερμη θερμόφιλη χώνευση. Στο παρελθόν είχε δοκιμαστεί να πραγματοποιηθεί αερόβια αυτόθερμη θερμόφιλη χώνευση ιλύος χωρίς προεπεξεργασία. Η λειτουργία της δεξαμενής έφτασε μέχρι μεσόφιλες συνθήκες, με πιθανές αιτίες το μικρό οργανικό φορτίο και η ελλιπής ανάδευση.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης, αποφασίστηκε να μελετηθεί η επίδραση των μικροκυμάτων και των υπερήχων στην ιλύ πριν την χώνευση, καθώς και η διαφοροποίηση σε περίπτωση που η αερόβια δεξαμενή περιλάμβανε καλύτερη ανάδευση. Εξαιτίας της αδυναμίας εντοπισμού και χρήσης συστήματος παραγωγής υπερήχων για τους όγκους ιλύος που έπρεπε να προεπεξεργαστούν, δοκιμάστηκε ως εναλλακτική η οζόνωση της ιλύος. Για την οζόνωση χρησιμοποιήθηκε δεξαμενή χωρίς ανάδευση ή με ανάδευση με δευτερεύουσα παροχή αέρα καθώς και κωνική φιάλη μικρού όγκου (1 λίτρου) με μαγνητική ανάδευση. Εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης στερεών στην ιλύ που χρησιμοποιείται, ήταν αδύνατη η ικανοποιητική οζόνωση του δείγματος. Στην συνέχεια δοκιμάστηκε η χρήση του Υπεροξειδίου του Υδρογόνου (H_2O_2) ως οξειδωτικό με θετικά αποτελέσματα.

4.1. Πιλοτικές μονάδες

Στο Πολυτεχνείο Κρήτης σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν μία πολλαπλή μονάδα αερόβιας επεξεργασίας καθώς και ένα πιλοτικό σύστημα με στόχο να εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής της Αερόβιας Χώνευσης ιλύος στην Κρήτη. Η προς επεξεργασία ιλύς προερχόταν από τη μονάδα μηχανικής πάχυνσης (φυγοκέντρισης) της ιλύος που παραγόταν από τη δευτεροβάθμια καθίζηση του βιολογικού καθαρισμού των Χανίων.

Το σύστημα πολλαπλής χώνευσης, αποτελείτο από 4 δεξαμενές των 12 λίτρων για λειτουργία ως συστήματα συνεχής ανάδευσης. Κάθε δεξαμενή μονώθηκε με πετροβάμβακα B-040 της εταιρίας Geolan. Οι δεξαμενές διέθεταν κοινό σύστημα ανάδευσης, με μόνη διάκριση στην 4^η δεξαμενή όπου προστέθηκε μειωτήρας, ώστε να πραγματοποιείται διπλάσιος αριθμός στροφών ανά λεπτό. Ο αερισμός πραγματοποιείτο με αερόπαιρες που τοποθετήθηκαν εντός, ενώ ο αέρας προερχόταν από αεροσυμπιεστή. Τέλος σε κάθε δεξαμενή προστέθηκε και θερμόμετρο. Το εν λόγω σύστημα τοποθετήθηκε σε κλειστό χώρο, στον οποίο κατά την διάρκεια των πειραμάτων, η θερμοκρασία διατηρείτο σταθερή.



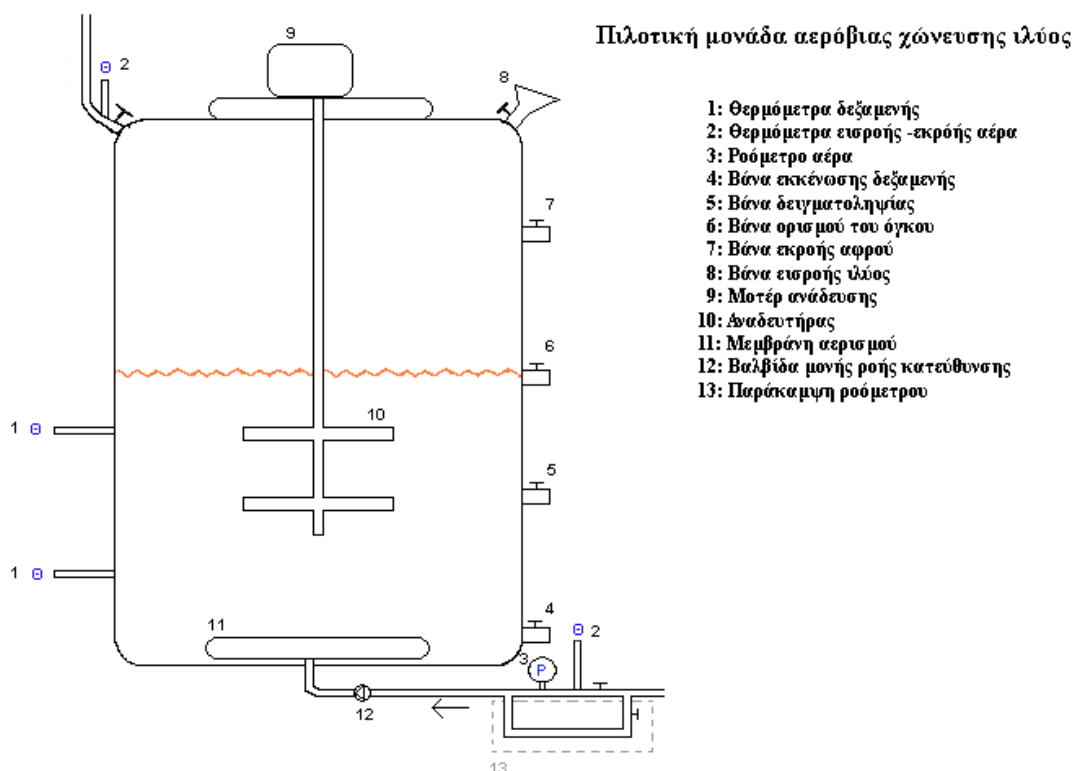
Εικόνα 4: Σκαρίφημα εργαστηριακής μονάδας αερόβιας χώνευσης με 4 δεξαμενές

Η βέλτιστη από τις μεθόδους που προεπεξεργασίας που μελετήθηκαν, δοκιμάστηκαν στον πιλοτικό σύστημα που είχε σχεδιαστεί στο εργαστήριο [12]

Η εν λόγω δεξαμενή σχεδιάστηκε για επεξεργασία 10 λίτρων ιλύος την ημέρα με χρόνο παραμονής 12 ημερών. Ο όγκος της λάσπης στο σύστημα ήταν 120 λίτρα και η συνολική χωρητικότητα της δεξαμενής 240 λίτρα. Η δεξαμενή μονώθηκε με πετροβάμβακα B-040 της εταιρίας Geolan, και στην συνέχεια καλύφθηκε με αλουμινόχαρτο, ώστε να αντανakλάται η ηλιακή ακτινοβολία.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, στη δεξαμενή υπήρχαν δύο θερμόμετρα, σε διαφορετικά ύψη από τον πυθμένα της. Επιπλέον είχαν τοποθετηθεί δύο θερμόμετρα στην είσοδο και έξοδο του αερισμού. Προστέθηκαν οι απαραίτητες βάνες για την εισροή και εκροή της ιλύος, καθώς και ένα ροόμετρο για την μέτρηση της παροχής αέρα στην δεξαμενή. Τέλος, τοποθετήθηκε μία επιπλέον βάνα σε μεγαλύτερο ύψος από την επιφάνεια της ιλύος για αντιμετώπιση πιθανής υπερβολικής αύξησης του παραγόμενου αφρού.

Για τον αερισμό χρησιμοποιήθηκε σύστημα με διάχυση, το οποίο χρησιμοποιείται στις δεξαμενές αερισμού του βιολογικού καθαρισμού του Ρεθύμνου. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει φυσαλίδες μικρής διαμέτρου (και συνεπώς μεγάλης ενεργής επιφάνειας). Η παροχή του αέρα πραγματοποιούνταν με κομπρεσέρ.



Εικόνα 5: Σκαρίφημα πιλοτικής μονάδας αερόβιας χώνευσης 120 λίτρων

4.2. Πειραματική διαδικασία

Στο εργαστηριακό σύστημα σύγκρισης προεπεξεργασίας πραγματοποιήθηκε αρχικά ένα δοκιμαστικό πείραμα διάρκειας 10 ημερών, με σκοπό να προσδιοριστεί ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής, καθώς και να ληφθούν δείγματα των 500ml για την μέτρηση του ιξώδους, που απαιτείται για τον προσδιορισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος. Στο συγκεκριμένο πείραμα επιπλέον παρακολουθείτο η συγκέντρωσή των ολικών και πιητικών στερεών, καθώς και η θερμοκρασία.

Στην συνέχεια ακολούθησαν δύο πειράματα με μικρότερους χρόνους παραμονής (όπως είχαν προσδιοριστεί από το πρώτο πείραμα). Στόχος του δεύτερου πειράματος ήταν να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η μείωση των στερεών σε μικρότερους χρόνους χώνευσης. Επιπλέον μελετήθηκε η αφυδατωσιμότητα της ιλύος, με πειράματα διήθησης. Το τρίτο πείραμα στην εργαστηριακή μονάδα, πραγματοποιήθηκε αφού είχε ξεκινήσει η λειτουργία της πιλοτικής μονάδας με προσθήκη υπεροξειδίου, η οποία δεν είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Σκοπός του ήταν η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων του προηγούμενου πειράματος, καθώς και η παρακολούθηση της συμπεριφοράς της ιλύος μετά από μείωσης του αερισμού στις δεξαμενές.

Σε όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, οι μέθοδοι επεξεργασίας διατηρήθηκαν παρόμοιες. Η πρώτη δεξαμενή χρησιμοποιήθηκε ως δεξαμενή αναφοράς. Η ιλύς στην εν λόγω δεξαμενή δεν δέχτηκε καμία επεξεργασία πριν την χώνευση. Στην δεύτερη δεξαμενή τοποθετήθηκε ιλύς στην οποία είχαν προστεθεί 18ml Υπεροξειδίου του Υδρογόνου συγκέντρωσης 50% ανά λίτρο ιλύος. Στην Τρίτη δεξαμενή προστέθηκε ιλύς αφού πρώτα είχε τοποθετηθεί σε φούρνο μικροκυμάτων μέχρις ότου φτάσει σε θερμοκρασία περίπου 70 βαθμών Celsius. Στην τέταρτη δεξαμενή τοποθετήθηκε ιλύς χωρίς προεπεξεργασία, αλλά η ταχύτητα ανάδευσης στην εν λόγω δεξαμενή ήταν διπλάσια των υπολοίπων δεξαμενών κατά την διάρκεια της χώνευσης.

Η βέλτιστη μέθοδος προεπεξεργασίας, όπως προσδιορίστηκε από τα πειράματα σύγκρισης, δηλαδή η χώνευση με προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου, εφαρμόστηκε στην πιλοτική δεξαμενή χώνευσης.

Πριν την έναρξη των μετρήσεων, υπήρξε μία περίοδος δοκιμαστικής λειτουργίας 14 ημερών. Βασικός σκοπός αυτής της περιόδου ήταν ο προσδιορισμός της κατάλληλης παροχής αέρα, με σκοπό την μέγιστη συγκέντρωση D.O. στην δεξαμενή. Όπως είχε προσδιοριστεί και νωρίτερα, οι βέλτιστες συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου επιτεύχθηκαν με παροχές μικρότερες των 0,5 lt αέρα/sec-lt ιλύος.

Με την πάροδο του χρόνου παρατηρήθηκε ότι ο αερισμός της δεξαμενής δεν ήταν επαρκής. Το συμπέρασμα αυτό προήλθε τόσο από την μυρωδιά της ιλύος, καθώς και από τις τιμές της ειδικής αντίστασης της. Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα του αερισμού προστέθηκε και δεύτερο σύστημα με αερόπαιρες. Η

αλλαγή που παρατηρήθηκε ήταν ελάχιστη, για αυτόν τον λόγο στην συνέχεια (αφού μεταφέρθηκε η ιλύς) πραγματοποιήθηκε χημικός καθαρισμός της μεμβράνης αερισμού.

Η διαδικασία λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας σε καθημερινή βάση ήταν η εξής:

- Αφαίρεση 10 λίτρων ιλύος.
- Καταγραφή των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου στην εν λόγω ιλύ, καθώς και της θερμοκρασίας της.
- Καταγραφή των θερμοκρασιών του συστήματος και της παροχής του αέρα.
- Υπολογισμός ολικών και πτητικών στερεών, ταχύτητα διήθησης και ειδικής αντίστασης της ιλύος εισαγωγής και εξαγωγής.
- Ανάμιξη σε ξεχωριστό δοχείο της ιλύος εισαγωγής με υπεροξείδιο του υδρογόνου, ώστε η συγκέντρωση να είναι 18ml/1 H₂O₂ 50%
- Προσθήκη της αναγκαίας ποσότητας ιλύος στο σύστημα ώστε να φτάσει στα 120 λίτρα.
- Στιγμιαία αύξηση της παροχής αέρα, για απομάκρυνση των στερεών από την μεμβράνη αερισμού.

Στην συνέχεια δοκιμάστηκε μια διαφορετική μέθοδος προσθήκης της ιλύος. Το υπεροξείδιο προσθέτονταν στην δεξαμενή (μετά την προσθήκη της ιλύος) με μία αντλία τροφοδοσίας με την μικρότερη δυνατή παροχή (περίπου 9 ml/min).

Η χρονική διάρκεια συστηματικής παρακολούθησης της πιλοτικής μονάδας ήταν 32 ημέρες.

4.3. Αναλυτικό μέρος

Βασικό πρόβλημα της μελέτης της ενεργού ιλύος, είναι η έλλειψη παραμέτρων οι οποίες δύνανται να προσδιορίσουν την κατάστασή της ιλύος. Μέχρι και για τον προσδιορισμό της σταθεροποίησης ή μη της ιλύος χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός παραμέτρων από τους μελετητές: **Συνολικά Αιωρούμενα Στερεά** (TSS), **Πτητικά αιωρούμενα στερεά** (VSS), **Βιολογικά μειωθέντα Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά** (Biodegradable Volatile Suspended Solids (BVSS)) καθώς και το **Διαλυμένο Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο** (BCOD) στις περιπτώσεις

που η συνολική συγκέντρωση των στερεών είναι μικρή, ή **Ολικά Στερεά** (TS) και **Πτητικά Στερεά** (VS) στην περίπτωση που η συγκέντρωση των στερεών στην ιλύ να είναι τέτοια που να μας δίνει ένα ημι-στερεό υλικό. Ομοίως παρουσιάζεται το ίδιο πρόβλημα και στην προσπάθεια προσδιορισμού της δυνατότητας αφυδάτωσης ή πάχυνσης της ιλύος. Μία μέθοδος προσδιορισμού είναι η μέτρηση **Sludge Volume Index** (SVI) δηλαδή η όγκος της ιλύος που έχει καθιζάνει σε μία ώρα από αρχικό συνολικό όγκο ιλύος ενός λίτρου. Η μέθοδος αυτή σε δείγματα με υψηλή συγκέντρωση στερεών δεν δύναται να παρέχει καμία τιμή, διότι η ιλύς δεν καθιζάνει σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα. Άλλη μία μέθοδος που εφαρμόζεται είναι η **Capillary Suction Time** (CST), η οποία χρησιμοποιείται ως μέτρηση προσδιορισμού της αφυδατοσημότητας της ιλύος. Παρόλο που έχει οριστεί και σαν πρωτόκολλο μέτρησης της εν λόγω παραμέτρου στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ALPHA), η συσχέτιση της εν λόγω μέτρησης με την αφυδατοσημότητα της ιλύος έχει από αρκετές μελέτες επιβεβαιωθεί, αλλά και απορριφτεί από άλλες. Συχνά επίσης χρησιμοποιείται και η μέτρηση της **Ειδικής Αντίστασης της Ιλύος** μία μέθοδος όμως που απαιτεί την γνώση του Ιξώδους της ιλύος.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω κατά την διάρκεια του πειράματος μετριοούνταν καθημερινά οι θερμοκρασίες της δεξαμενής, της ιλύος εκροής, της εισροής και εκροής του αέρα, η θερμοκρασία περιβάλλοντος (από τον μετεωρολογικού σταθμό του Πολυτεχνείου Κρήτης), καθώς και το διαλυμένο οξυγόνο στην ιλύ εκροής. Επιπλέον υπολογίζονταν το ποσοστό των ολικών στερεών, των πτητικών στερεών, η ειδική αντίστασή της λάσπης, και η ταχύτητα διήθησης τόσο της ιλύος εκροής, όσο και της προς εισροή ιλύος. Τέλος επειδή για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος απαιτείται η γνώση του ιξώδους, μετρήθηκε για ένα αριθμό δειγμάτων το δυναμικό ιξώδες, και κατασκευάστηκαν καμπύλες ιξώδους-συγκέντρωση στερεών.

Μέτρηση Ολικών Στερεών (TS) και Πτητικών Στερεών (VS)

Ο υπολογισμός των Στερεών του συστήματος πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την 2540G μέθοδο του «Standard Methods for examination of water and wastewater, 18th edition, 1992»: Ζύγιση του δοχείου ζέσεως, προσθήκη του δείγματος και ζύγισή του (με το δοχείο ζέσεως). Τοποθέτηση του δείγματος σε θερμοκρασία 105°C για 20 λεπτά. Ζύγιση του δοχείου με την ξηραμένη ιλύ. Ανατοποθέτηση του δείγματος στον φούρνο για 20 λεπτά και ζύγιση μετά από 20

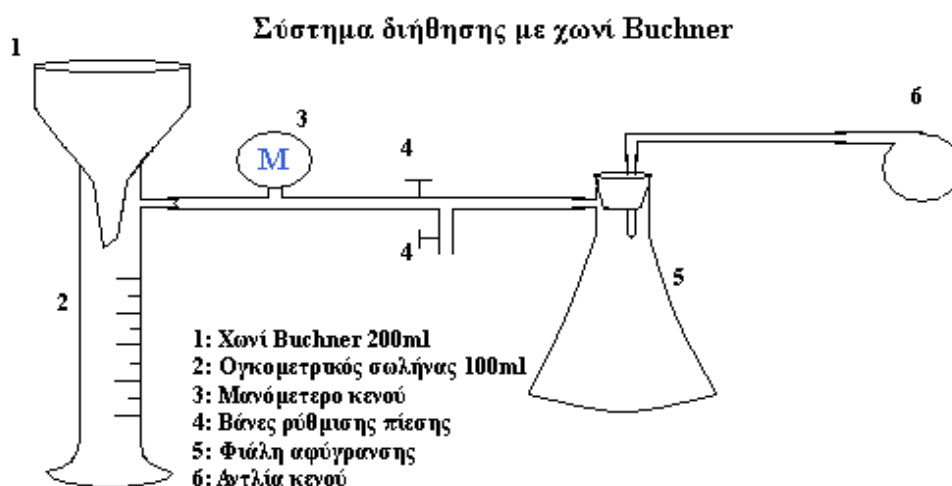
λεπτά. Η ζύγιση επαναλαμβανόταν έως ότου οι τιμές σε δύο συνεχόμενες μετρήσεις να είναι οι ίδιες. Στην συνέχεια για την μέτρηση της συγκέντρωσης των Πτητικών Στερεών, το δείγμα οδηγείτο στους 500°C για 2 ώρες.

Μέτρηση διαλυμένου οξυγόνου (D.O.)

Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου πραγματοποιήθηκε με την συσκευή Oxi 597 και το probe CellOx 325 της εταιρίας CSB.

Προσδιορισμός ειδικών χαρακτηριστικών της αφυδατότητας της ιλύος

Για την μέτρηση της ειδικής αντίστασης της ιλύος και της ταχύτητας διήθησης, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα διήθησης που φαίνεται στο *Σχήμα 3*. Το σύστημα αποτελείται από ένα χωνί Buchner διαμέτρου 9 cm, ένα ογκομετρικό σωλήνα των 100ml, ένα μανόμετρο και μία αντλία κενού. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στην κατηγορία Filter papers 2 της εταιρίας Whatman. Για την μέτρηση, τοποθετούνταν 100ml ιλύος και εφαρμόζοταν κενό 0,5 bar. Στην συνέχεια η ποσότητα του διηθήματος καταγραφόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα, μικρότερα στην αρχή και μεγαλύτερα στην συνέχεια. Η μέτρηση έληγε όταν εμφανιζόντουσαν ρωγμές στον πλακούντα (περίπου όταν το διήθημα κυμαινόταν μεταξύ 60-70ml).



Εικόνα 6: Σκαρίφημα του συστήματος διήθησης με χωνί Buchner για τον προσδιορισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος

Το φαινόμενο της διήθησης περιγράφεται από την σχέση του Darcy:

$$\frac{dV / A}{dT} = \frac{P}{\mu R_T} \quad (1)$$

Όπου

V: ο όγκος του διηθήματος,

A: η επιφάνεια διήθησης

T: χρόνος διήθησης

P: ασκούμενη πίεση

μ: δυναμικό ιξώδες

R_T: η συνολική αντίσταση της διήθησης

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

$$R_T = r^*CV/A + R_m$$

Όπου

r*: Η ειδική αντίσταση της ιλύος ανά μονάδα μάζας των ολικών στερεών του πλακούντα και της επιφάνειας διήθησης.

C: η μάζα των στερεών στο πλακούντα προς τον όγκο του διηθήματος

R_m: Η αντίσταση του μέσου

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 σχέση (1) μπορεί να μετατραπεί στην $\frac{dV/A}{dT} = \frac{P}{\mu r^* CV/A}$.

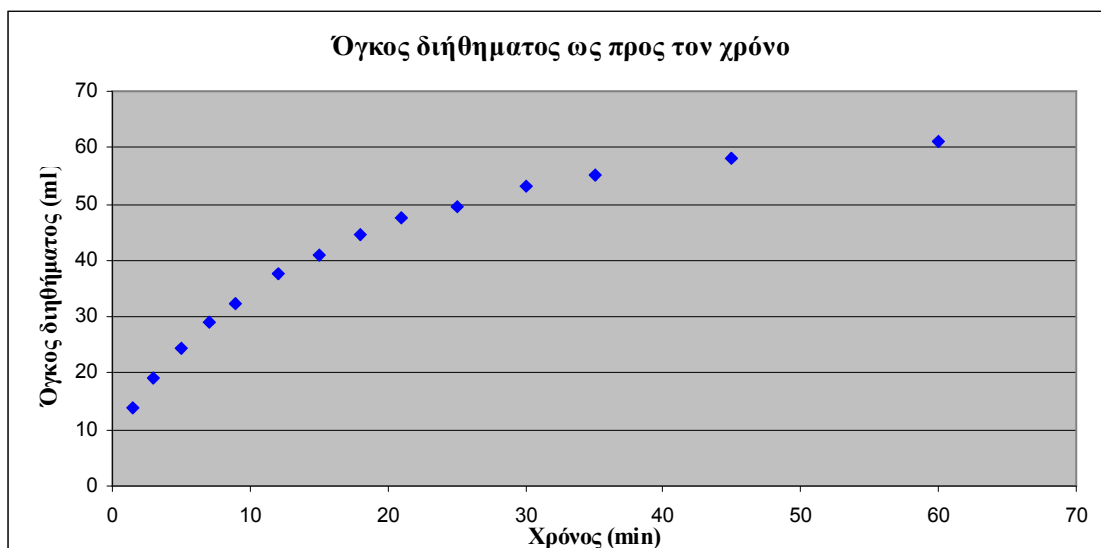
Αφού κατά την διήθηση έχουμε σταθερή επιφάνεια θα έχουμε $\frac{dV}{dT} = \frac{PA^2}{\mu r^* CV}$.

Όπως αναμέναμε η ταχύτητα διήθησης είναι ανάλογη της πίεσης που ασκείται και της επιφάνειας διηθήσεως, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη του ιξώδους, της μάζας των στερεών και της ειδικής αντίστασης.

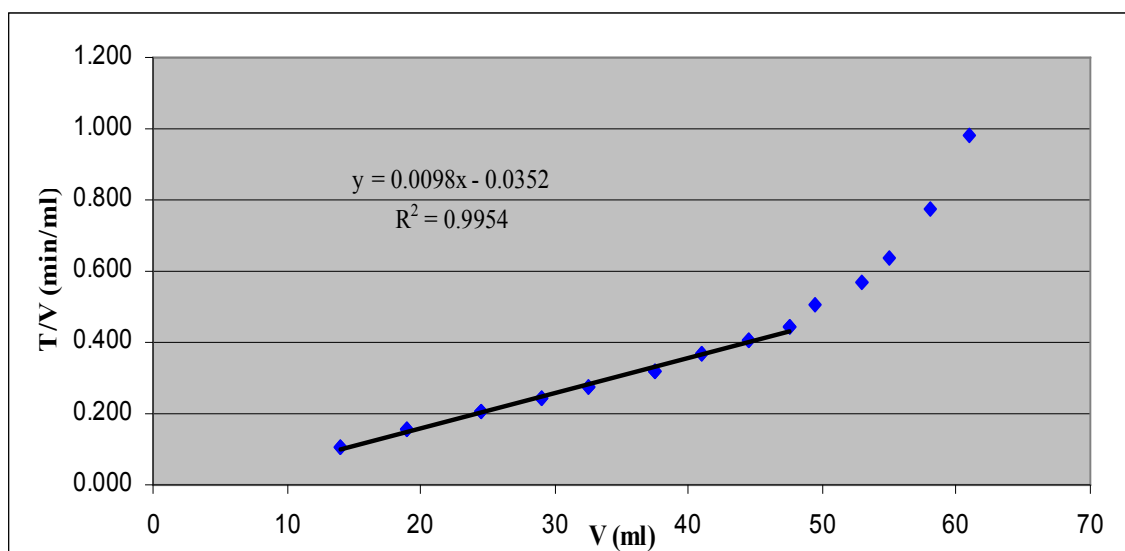
Ολοκληρώνοντας την παραπάνω εξίσωση προκύπτει η σχέση:

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

Από τα πειραματικές μετρήσεις δύναται να υπολογιστεί η κλίση b της εξίσωσης $T/V=f(V)$. Από τα δεδομένα των μετρήσεων προκύπτει το *Σχήμα 4* που μας δείχνει τον όγκο του διηθήματος ως προς τον χρόνο. Από το *Σχήμα 5* μπορεί να υπολογιστεί η κλίση της εξίσωσης $T/V=f(V)$. Για τον υπολογισμό της δεν χρησιμοποιούνταν τα δεδομένα κατά τα πρώτα δευτερόλεπτα, στα οποία η διήθηση επηρεαζόταν και από την αντίσταση του φίλτρου.



Εικόνα 7: Όγκος διηθήματος ως προς τον χρόνο



Εικόνα 8: Χρόνος /Όγκος διηθήματος ως προς τον όγκο διηθήματος

Από την σχέση (2) η κλίση μπορεί να οριστεί ως $b = \frac{\mu r^* C}{2PA^2}$.

Συνεπώς η ειδική αντίσταση της ιλύος δίνεται από την σχέση $r^* = \frac{2bPA^2}{\mu C}$.

Ο υπολογισμός του C, δηλαδή του λόγου της μάζας των στερεών στον πλακούντα προς τον όγκο του διηθήματος, είναι ιδιαίτερα δύσκολος, κυρίως διότι δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη τιμή του όγκου του διηθήματος που μπορεί να θεωρηθεί ως τελική. Αντί αυτού υπολογίζεται η μάζα των στερεών προς τον όγκο του προς διήθηση υλικού (C_1), ουσιαστικά δηλαδή η συγκέντρωση στερεών της ιλύος προς διήθηση.

Από τα ίδια δεδομένα της διήθησης γίνεται εφικτός ο υπολογισμός **του χρόνου που απαιτείται για την συμπύκνωση της ιλύος κατά 100%**, δηλαδή για το διπλασιασμό της συγκέντρωσης των στερεών στο πλακούντα. Υποθέτοντας ότι κατά τη διήθηση περνάει από το φίλτρο αμελητέα ποσότητα στερεών, το χρονικό σημείο που αναζητείται, αντιστοιχεί στη στιγμή που ο όγκο διηθήματος ισούται με τον μισό όγκο της ιλύος που οδηγήσαμε προς διήθηση (στην περίπτωση μας 50ml).

Τέλος δύναται να υπολογιστεί και η **ταχύτητα διήθησης**. Όπως φαίνεται και από το *Σχήμα 4*, η ταχύτητα διήθησης ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου. Συνεπώς θα πρέπει να επιλεγθούν τα χρονικά σημεία τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ταχύτητας. Προφανώς θα πρέπει να συμπεριληφθεί ένα μικρό τμήμα των μετρήσεων, το οποίο θα είναι στην αρχή της διήθησης (ώστε να μην έχει μειωθεί σημαντικά η ταχύτητα διήθησης), αφού πρώτα αγνοηθούν τα πρώτα δευτερόλεπτα στα οποία η διήθηση επηρεάζεται από την αντίσταση του μέσου. Στην περίπτωσή μας θα χρησιμοποιηθούν οι τέσσερις πρώτες μετρήσεις.

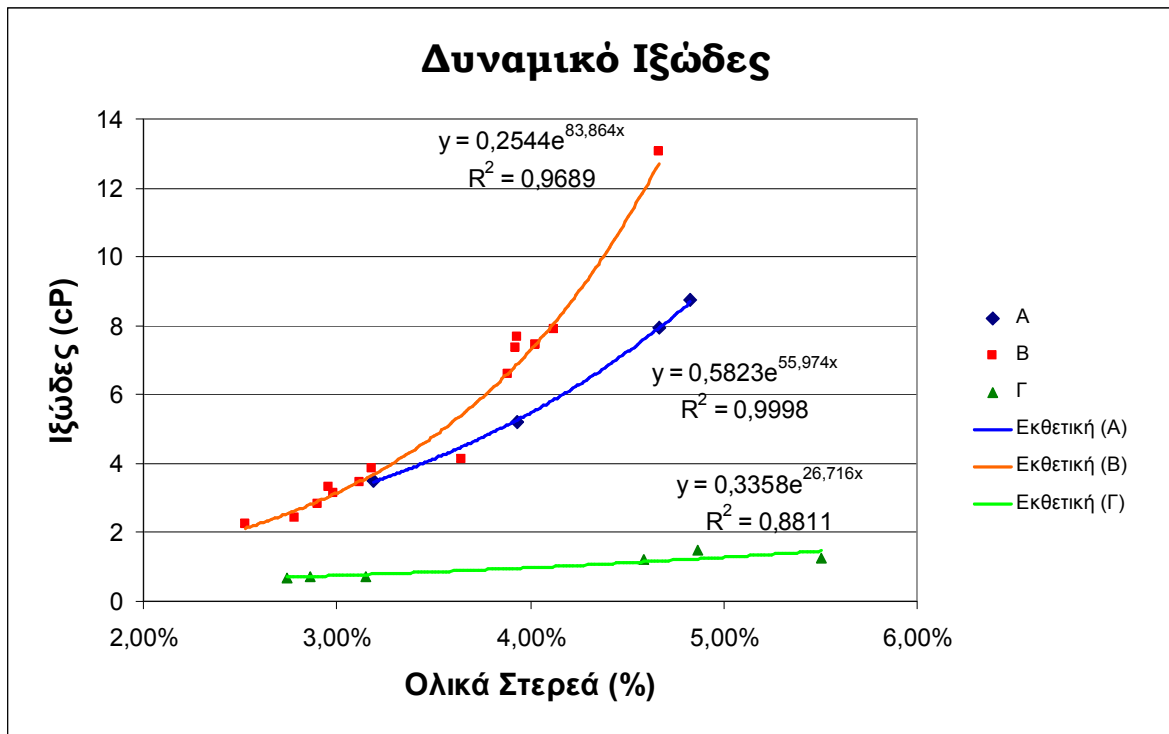
Μέτρηση του δυναμικού ιξώδους

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.

5. Αποτελέσματα

5.1. Δυναμικό ιξώδες

Για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης της ιλύος απαιτείται η γνώση του δυναμικού ιξώδους. Λόγω αδυναμίας καθημερινής μέτρησης του ιξώδους, πραγματοποιήθηκε ένας αριθμός μετρήσεων, βάσει των οποίων προέκυψε η γραφική παράσταση του ιξώδους συναρτήσει της συγκέντρωσης των στερεών (Εικόνα 9). Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τόσο για την αεροβίως, όσο και για την προεπεξεργασμένη κωνεμένη ιλύ. Για την βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα ιξώδους ιλύος από προηγούμενες μετρήσεις^[23]. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι οι τιμές της ιλύος στην οποία είχε προστεθεί υπεροξειδίο του υδρογόνου ταυτίζονταν με αυτές από την ιλύ χωρίς καμία προεπεξεργασία. Αντίθετα η ιλύς που είχε πρώτα περάσει από επεξεργασία με μικροκύματα παρουσίαζε διαφορετικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 9: Τιμή ιξώδους ιλύος ως προς την συγκέντρωση στερεών. Α: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Β: Αερόβια ιλύς. Γ: Αναερόβια ιλύς.

Από τις γραφικές παραστάσεις προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις συσχέτισης της συγκέντρωσης των ολικών στερεών, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν και για τον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης:

Αερόβια ιλύ (με/χωρίς προσθήκη H_2O_2): $\mu [cP] = 0,254e^{83,564 \cdot TS}$

Αναερόβια ιλύ (με προεπεξεργασία MW): $\mu [cP] = 0,5823e^{55,974 \cdot TS}$

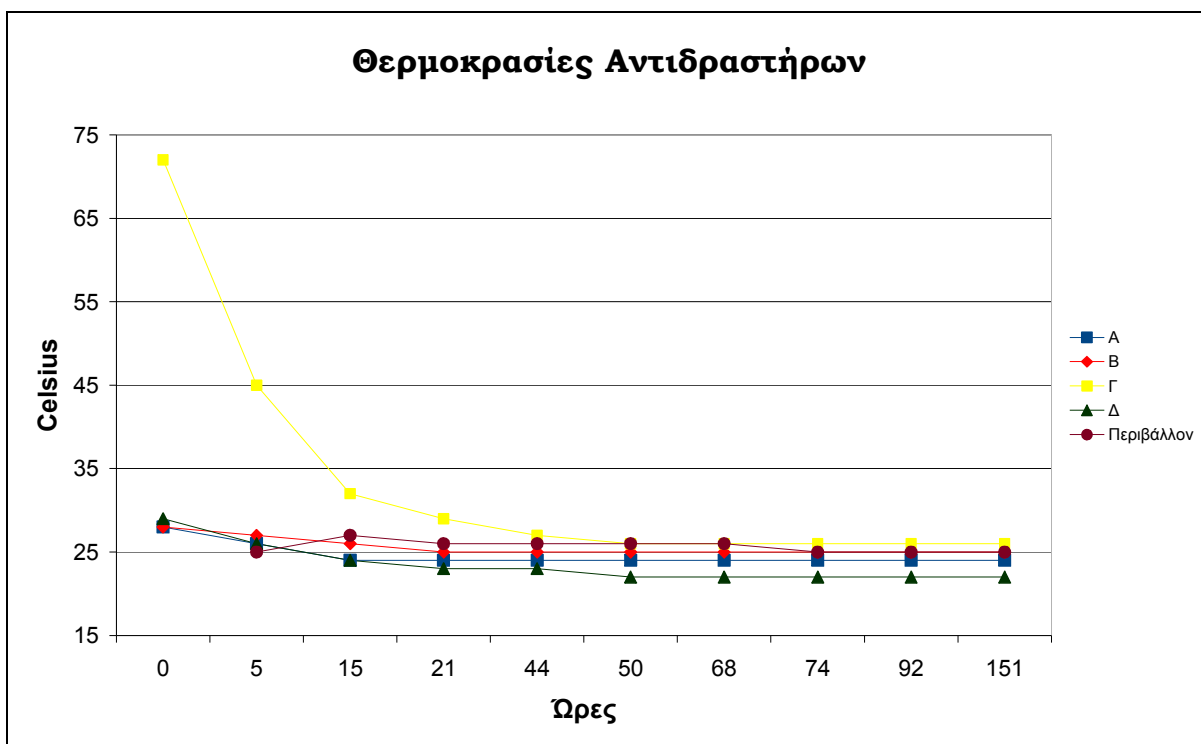
5.2. Εργαστηριακής κλίμακας μονάδα

5.2.1. 1^ο Πείραμα

Όπως αναφέραμε και νωρίτερα το πρώτο από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην μονάδα χώνευσης εργαστηριακής κλίμακας είχε ως στόχο τον προσδιορισμό του χρόνου παραμονής που απαιτείται για την χώνευση της ιλύος, ώστε να ακολουθούσουν πειράματα με καλύτερους χρόνους παραμονής. Επιπλέον μετρήθηκε η θερμοκρασία λειτουργίας των δεξαμενών, με σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος τους 25 βαθμούς Celsius.

5.2.1.1. Θερμοκρασία

Οι θερμοκρασίες όπως μετρήθηκαν κατά το πρώτο πείραμα φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.

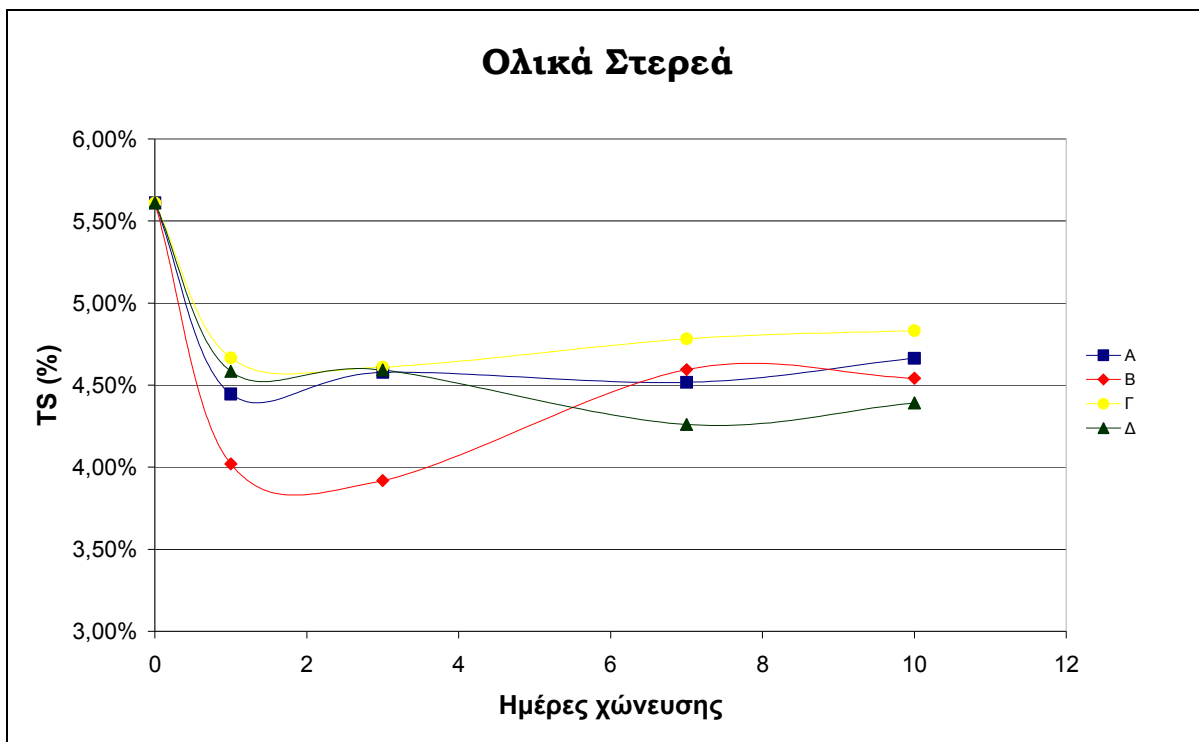


Εικόνα 10: Θερμοκρασίες Δεξαμενών κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

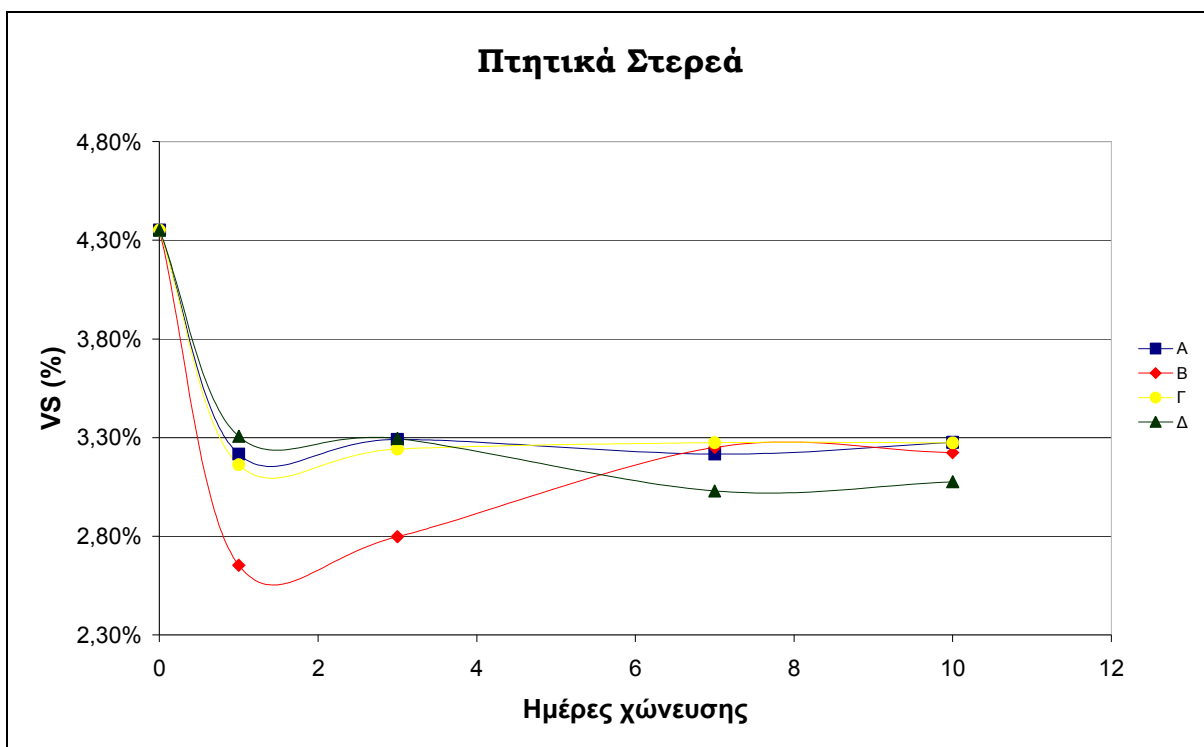
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα σε όλες τις περιπτώσεις η θερμοκρασία στην δεξαμενή τείνει να ταυτιστεί με αυτήν του περιβάλλοντος. Πιθανές αποκλείσεις από την πραγματικότητα είναι πιθανόν να παρατηρήθηκαν εξαιτίας της έλλειψης ακρίβειας των θερμομέτρων. Συνεπώς μπορούμε να απορρίψουμε την άποψη ότι η πραγματοποίηση θερμόφιλης αυτόθερμης αερόβιας χώνευσης, είναι εύκολο να επιτευχθεί σε ιλύς με υψηλή συγκέντρωση στερεών. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η επιπλέον προσθήκη ενέργειας στο σύστημα με εντονότερη ανάδευση, δεν παρουσιάζει κανένα αποτέλεσμα.

5.2.1.2. Στερεά

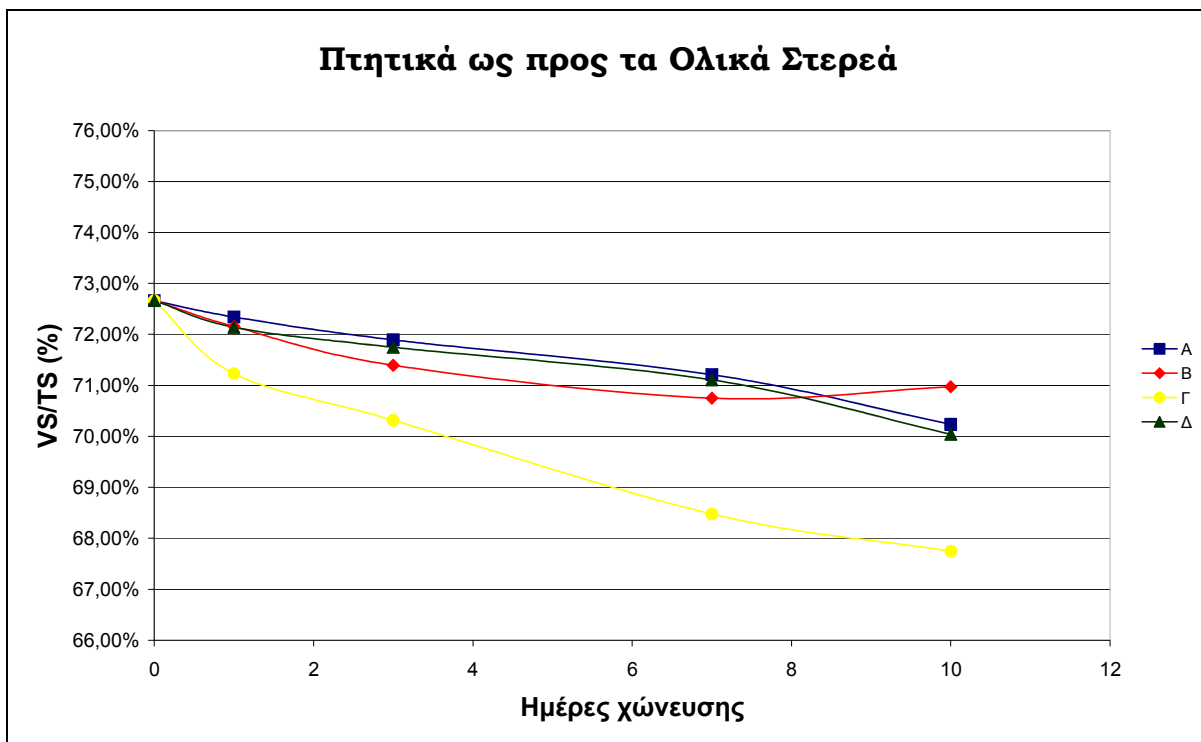
Στα επόμενα τρία διαγράμματα φαίνονται οι συγκεντρώσεις των Ολικών και Πτητικών Στερεών καθώς και το ποσοστό των Πτητικών ως προς τα Ολικά.



Εικόνα 11: Συγκέντρωση των Ολικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.



Εικόνα 12: Συγκέντρωση Πτητικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.



Εικόνα 13: Συγκέντρωση Πτητικών ως προς τα Ολικά Στερεά κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

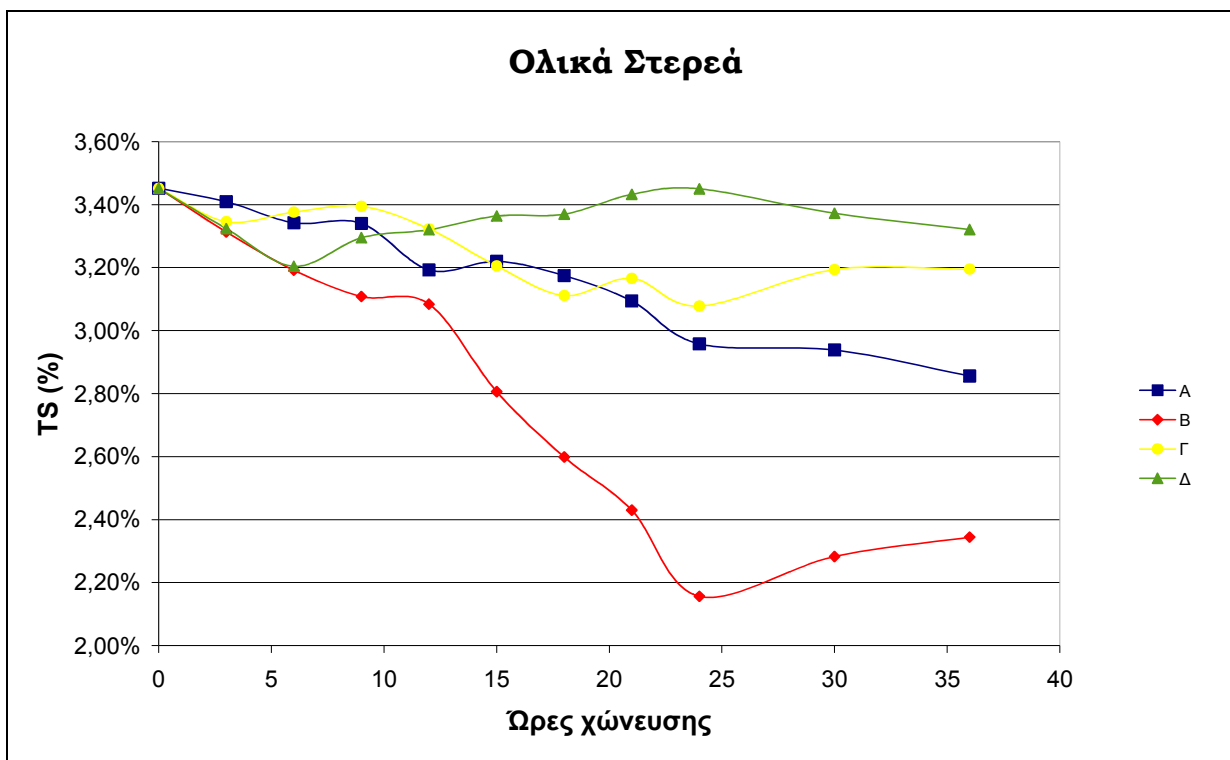
Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα, η μέγιστη μείωση παρατηρείται στην πρώτη μέρα. Η μετέπειτα αύξηση των ποσοστών ίσως αιτιολογείται αν θεωρήσουμε ότι η ταχύτητα χώνευσης (δηλαδή η μετατροπή στερεών σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα) έχει μειωθεί τόσο, ώστε η απώλεια νερού λόγω εξάτμισης να είναι μεγαλύτερη. Άξιο παρατήρησης είναι επίσης το γεγονός ότι η ιλύς που είχε προεπεξεργαστεί με μικροκύματα, παρουσιάζει μικρότερα (και συνεχώς μειούμενα) ποσοστά Πτητικών Στερεών επί των Ολικών Στερεών.

5.2.2. 2^ο Πείραμα

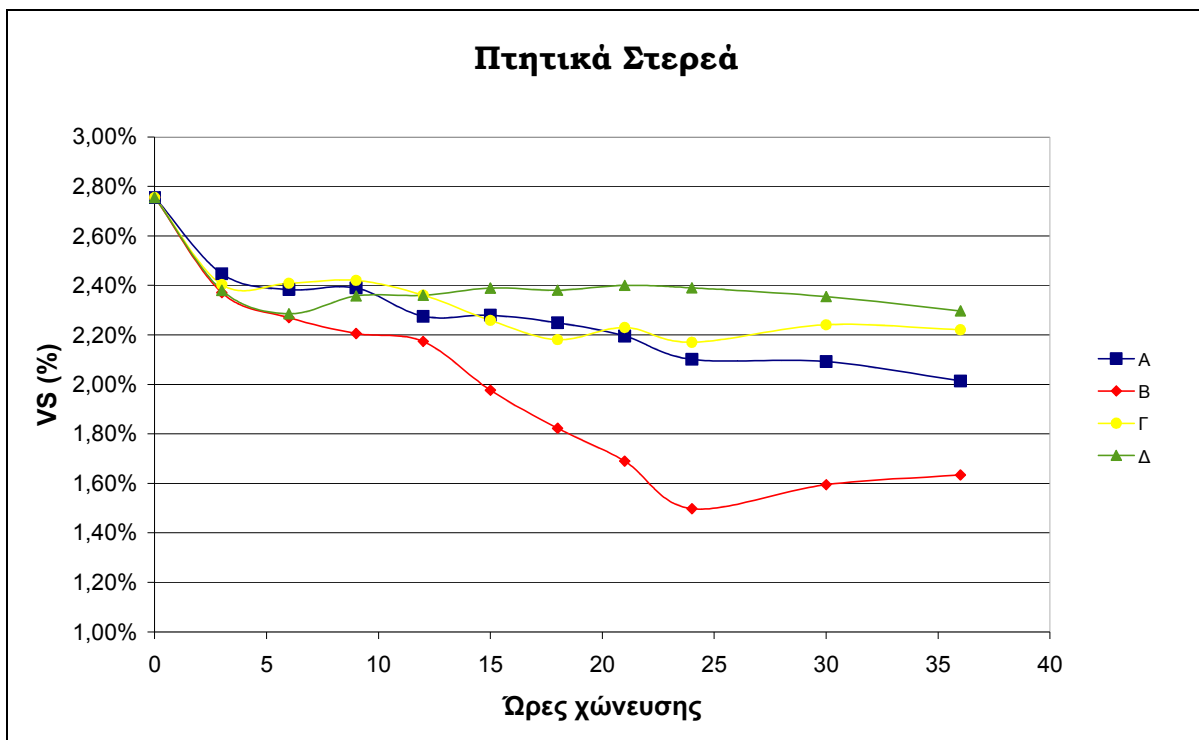
Στο δεύτερο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, μειώσαμε τον χρόνο παραμονής της ιλύος, και αυξήσαμε την συχνότητα δειγματοληψίας. Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν και πειράματα διήθησης, για να προσδιοριστεί η δυνατότητα αφυδάτωσης της ιλύος. Συνεχίστηκε η παρακολούθηση της θερμοκρασίας της ιλύος στις δεξαμενές, αλλά εξαιτίας της μη διαφοροποίησης από το προηγούμενο πείραμα, δεν παρουσιάζονται οι τιμές αυτής.

5.2.2.1. Στερεά

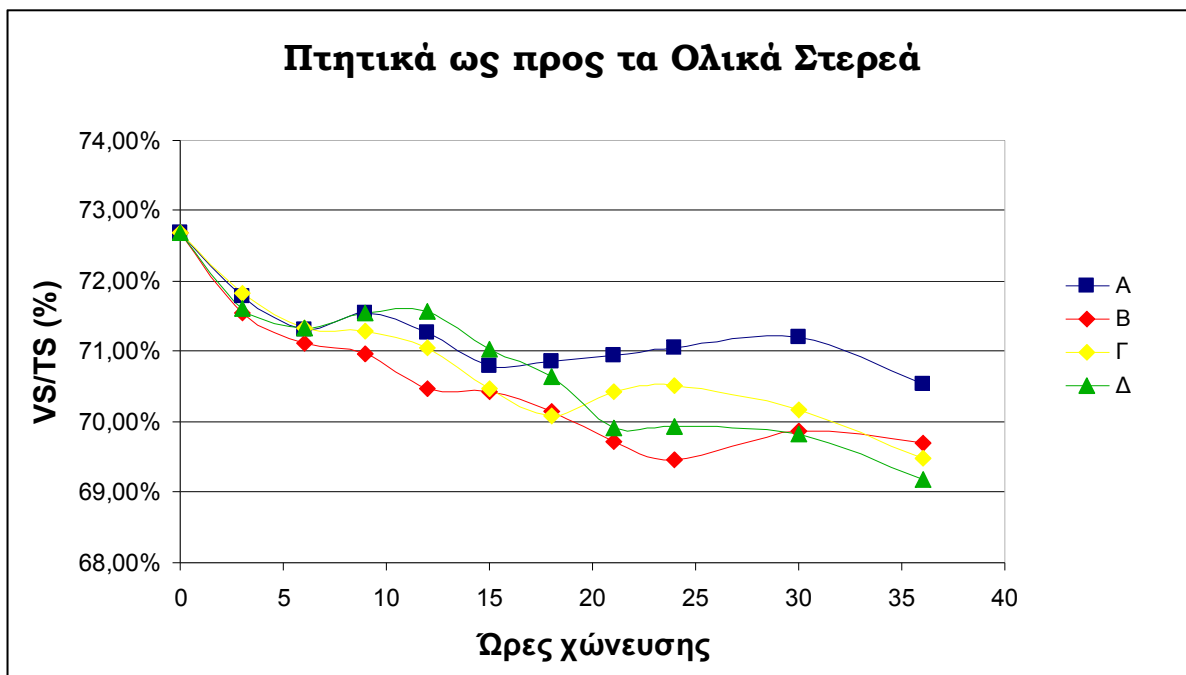
Στα τρία διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η εξέλιξη της συγκέντρωσης των Ολικών Στερεών, Πτητικών Στερεών και Πτητικών Στερεών επί των Ολικών Στερεών.



Εικόνα 14: Συγκέντρωση των Ολικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.



Εικόνα 15: Συγκέντρωση Πτητικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.



Εικόνα 16: Συγκέντρωση Πτητικών ως προς τα Ολικά Στερεά κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

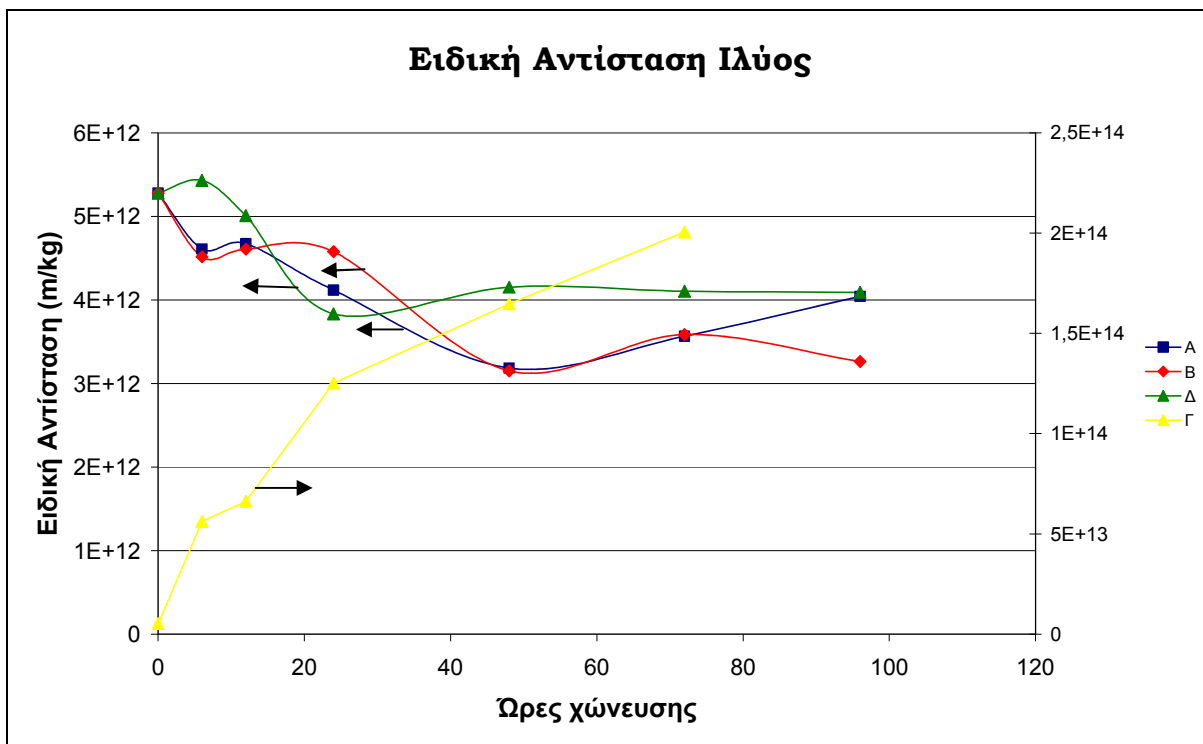
Όπως και στο πρώτο πείραμα παρατηρούμε ότι η κώνευση με προσθήκη υπεροξειδίου του Υδρογόνου έχει καλύτερη απόδοση από τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Η αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών από την 3^η ώρα έως την 12^η, στην περίπτωση της ιλύος που έχει προεπεξεργαστεί με μικροκύματα, μπορεί να αιτιολογηθεί εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας της ιλύος και συνεπώς την μεγαλύτερη (από τις άλλες δεξαμενές) εξάτμιση του νερού της ιλύος. Η αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών στην δεξαμενή με καλύτερη ανάδευση, επίσης μπορεί να αιτιολογηθεί από την μεγαλύτερη εξάτμιση του νερού, εξαιτίας της καλύτερης ανάδευσης μεταξύ της αέριας και υγρής φάσης στην δεξαμενή.

5.2.2.2. Ειδική Αντίσταση

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η ειδική αντίσταση της ιλύος εισροής και εκροής του συστήματος μας. Στις περιπτώσεις της ιλύος με επεξεργασία με Υπεροξείδιο του Υδρογόνου και με μικροκύματα, μετρήθηκε η ειδική αντίσταση της ιλύος πριν την προσθήκη της στις δεξαμενές κώνευσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Μεταβολή της Ειδικής Αντίστασης της ιλύος

	Ειδική Αντίσταση (m/kg)
Ιλύς πριν την επεξεργασία	5,3*10 ¹²
Ιλύς μετά την προσθήκη H₂O₂	4,9*10 ¹²
Ιλύς πριν την επεξεργασία με MW	4,3*10 ¹³



Εικόνα 17: Η Ειδική Αντίσταση της ιλύος κατά την χώνευση. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

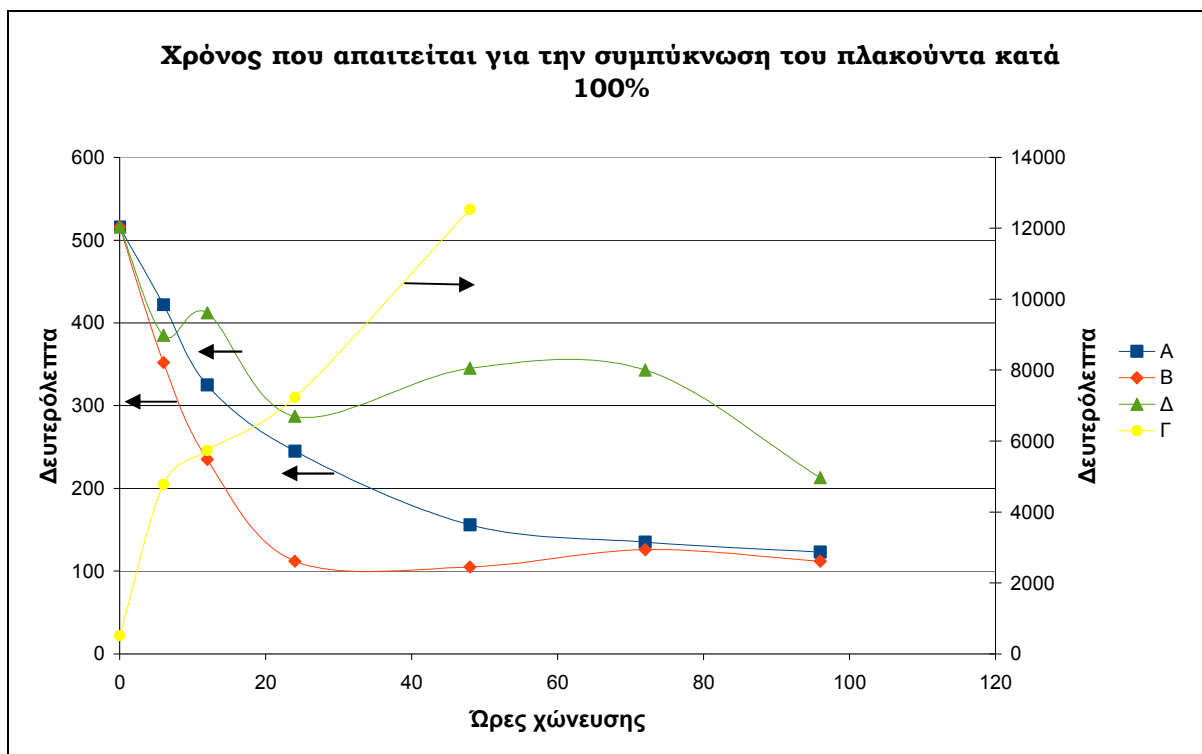
Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα η τιμή της Ειδικής Αντίστασης παρουσιάζει μείωση, εκτός της περίπτωσης της ιλύος που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα, η οποία παρουσιάζει μεγάλη αύξηση. Το γεγονός της μείωσης και αύξησης, αντίστοιχα, των τιμών της ειδικής αντίστασης της ιλύος που υπέστη προεπεξεργασία πριν την έναρξη της χώνευσης, υποδεικνύει ότι η έντονη μεταβολή στην τιμή είναι ανεξάρτητη από το φαινόμενο της χώνευσης, και εξαρτάται έντονα από την μέθοδο της προεπεξεργασίας.

5.2.2.3. Δυνατότητα Συμπύκνωσης ιλύος

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται ο χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση του πηλακού κατά 100%. Όπως και στην περίπτωση της Ειδικής Αντίστασης, στην ιλύ με Υπεροξείδιο του Υδρογόνου και με μικροκύματα, η δυνατότητα συμπύκνωσης της ιλύος υπολογίστηκε και πριν την προσθήκη της στις δεξαμενές χώνευσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5: Μεταβολή του χρόνου που απαιτείται για συμπίκνωση του πλακούντα κατά 100 %

	Χρόνος (sec)
Ιλύς πριν την επεξεργασία	516
Ιλύς μετά την προσθήκη H ₂ O ₂	339
Ιλύς πριν την επεξεργασία με MW	3620

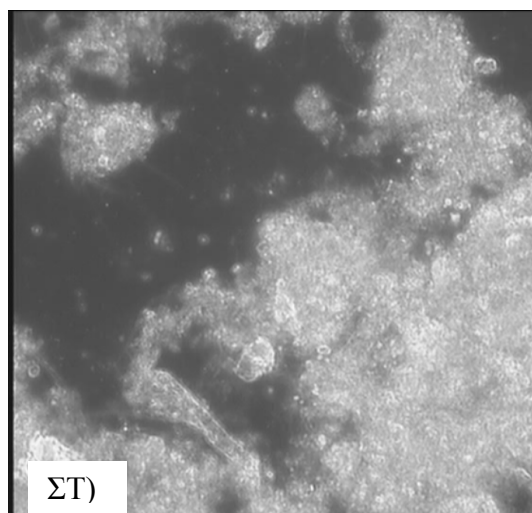
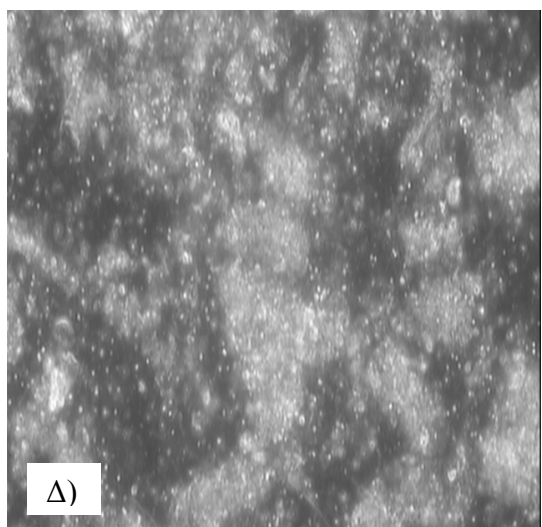
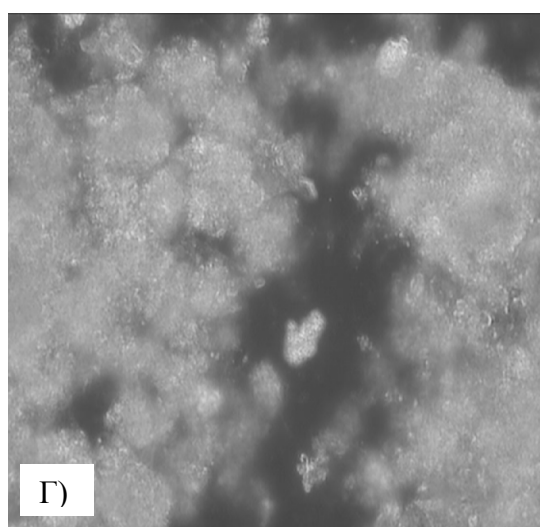
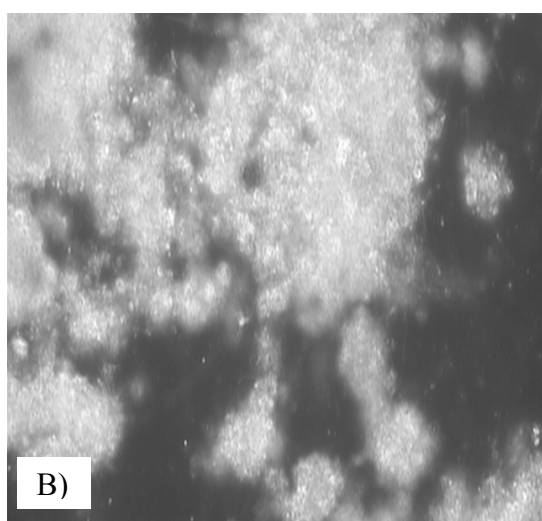
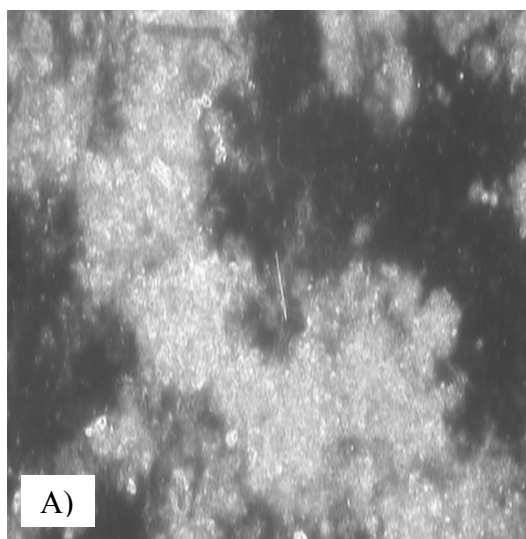


Εικόνα 18: Χρόνος που απαιτείται για την συμπίκνωση του πλακούντα κατά 100% κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H₂O₂. Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

Το γεγονός ότι οι χρόνοι που απαιτούνται για την συμπίκνωση του πλακούντα, στην περίπτωση της προεπεξεργασίας με μικροκύματα, παρά την ταυτόχρονη μείωση των στερεών της ιλύος, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι μεταβολές που έχουν πραγματοποιηθεί στην δομή της ιλύος, κατά την προεπεξεργασία είναι τόσο έντονες που υπερκαλύπτουν κάθε μείωση των στερεών.

5.2.2.4. Εικόνες της ιλύος

Την 2^η μέρα του πειράματος, αντλήθηκε δείγμα από κάθε δεξαμενή και μελετήθηκε με μικροσκόπιο, για να συγκριθεί η δομή της ιλύος σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον μελετήθηκε και δείγμα από την αρχική ιλύ. Η φωτογραφίες που φαίνονται στην συνέχεια αποτελούν μία επί 10 μεγέθυνση.



Εικόνα 19: Φωτογραφίες από μικροσκόπιο με μεγέθυνση 10x της ιλύος. Α: Αρχική ιλύς που χρησιμοποιήθηκε. Β: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία) μετά από 2 μέρες χώνευσης. Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H₂O₂ μετά από δύο μέρες χώνευσης. Δ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα μετά από δύο μέρες χώνευσης. ΣΤ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση μετά από δύο μέρες χώνευσης.

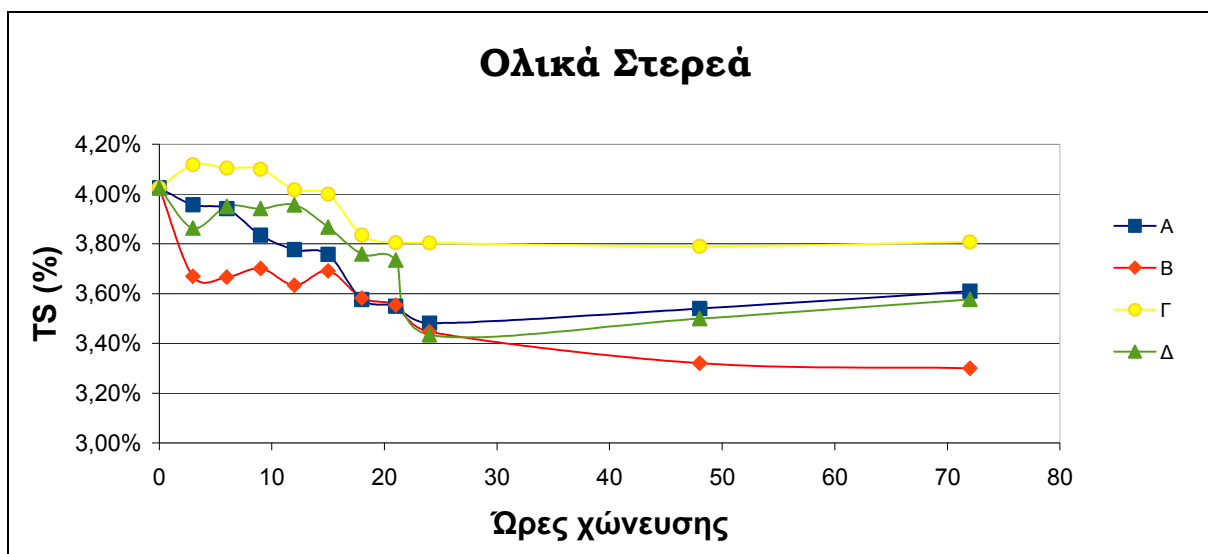
Όπως φαίνεται και από τις εικόνες, βασική διαφορά από τις υπόλοιπες περιπτώσεις παρουσιάζει η ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Στην συγκεκριμένη ιλύ, τα σωματίδια με μικρή διάμετρο έχουν αυξηθεί σε υπερβολικό βαθμό. Επιπλέον δεν εντοπίστηκαν μεγάλου μεγέθους συσσωματώματα, τα οποία ήταν παρόντα σε όλα τα άλλα δείγματα. Συμπεριλαμβάνοντας και τα αποτελέσματα από τα πειράματα διήθησης, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η προεπεξεργασία με μικροκύματα, μείωσαν σε τέτοιο βαθμό τις διαμέτρους των σωματιδίων, έχοντας σαν αποτέλεσμα να μπλοκάρει γρηγορότερα το φίλτρο κατά την διήθηση, αλλά και πιθανώς την αλλαγή των εφαρμοζόμενων δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων της ιλύος.

Αντίθετα στις περιπτώσεις της μη προεπεξεργασίας της ιλύος ή επεξεργασίας με Υπεροξείδιο του Υδρογόνου, η βελτίωση των χαρακτηριστικών αφυδάτωσης της ιλύος είναι φανερή. Με την πάροδο του χρόνου χώνευσης (και συνεπώς της μείωσης των στερεών στην ιλύ), η ειδική αντίσταση και ο χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση της ιλύος κατά 100% μειώνονται και σταθεροποιούνται περίπου την 3^η μέρα του πειράματος.

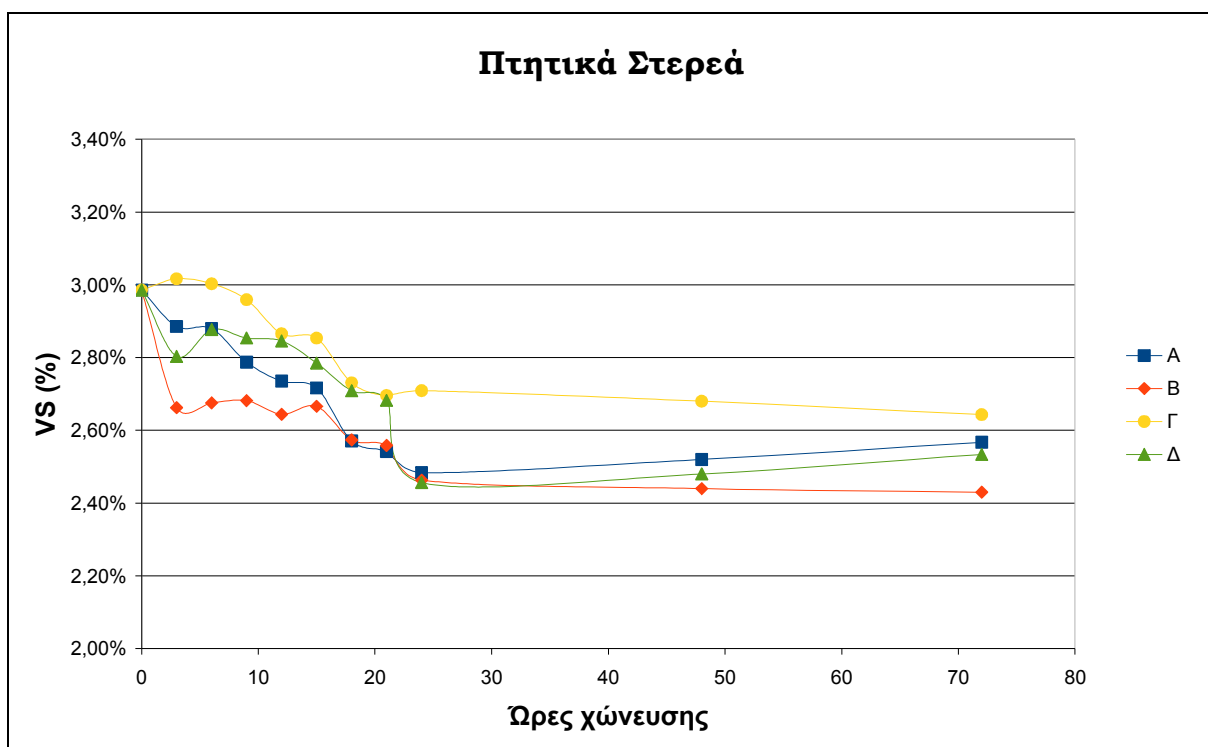
5.2.3. 3^ο Πείραμα

Το τρίτο πείραμα στην εργαστηριακή μονάδα σύγκρισης, πραγματοποιήθηκε μετά την έναρξη των πειραμάτων στην πιλοτική μονάδα, τα αποτελέσματα από την οποία δεν είναι τα αναμενόμενα. Ο σκοπός του τρίτου πειράματος είναι διπλός. Για επαλήθευση των προηγούμενων πειράματος, καθώς επίσης για να προσδιοριστεί κατά πόσο η παροχή αέρα και η ταχύτητα ανάδευσης μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της διήθησης. Μετά την σταθεροποίηση της συγκέντρωσης των στερεών στις δεξαμενές, μειώθηκε η παροχή του αέρα στην δεξαμενές, και προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης της ιλύος. Στην συνέχεια ο αερισμός επανήλθε στα αρχικά δεδομένα, για να παρατηρηθεί πιθανή αλλαγή κατά την διήθηση.

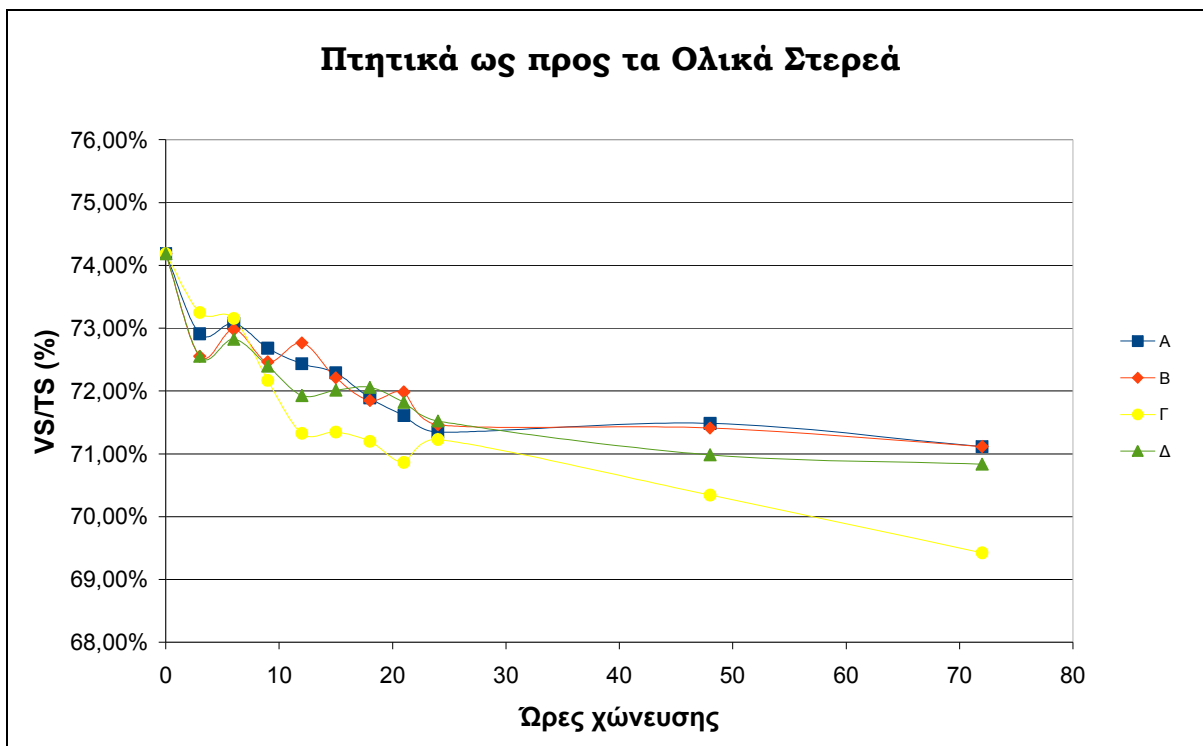
5.2.3.1. Στερεά



Εικόνα 20: Συγκέντρωση των Ολικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.



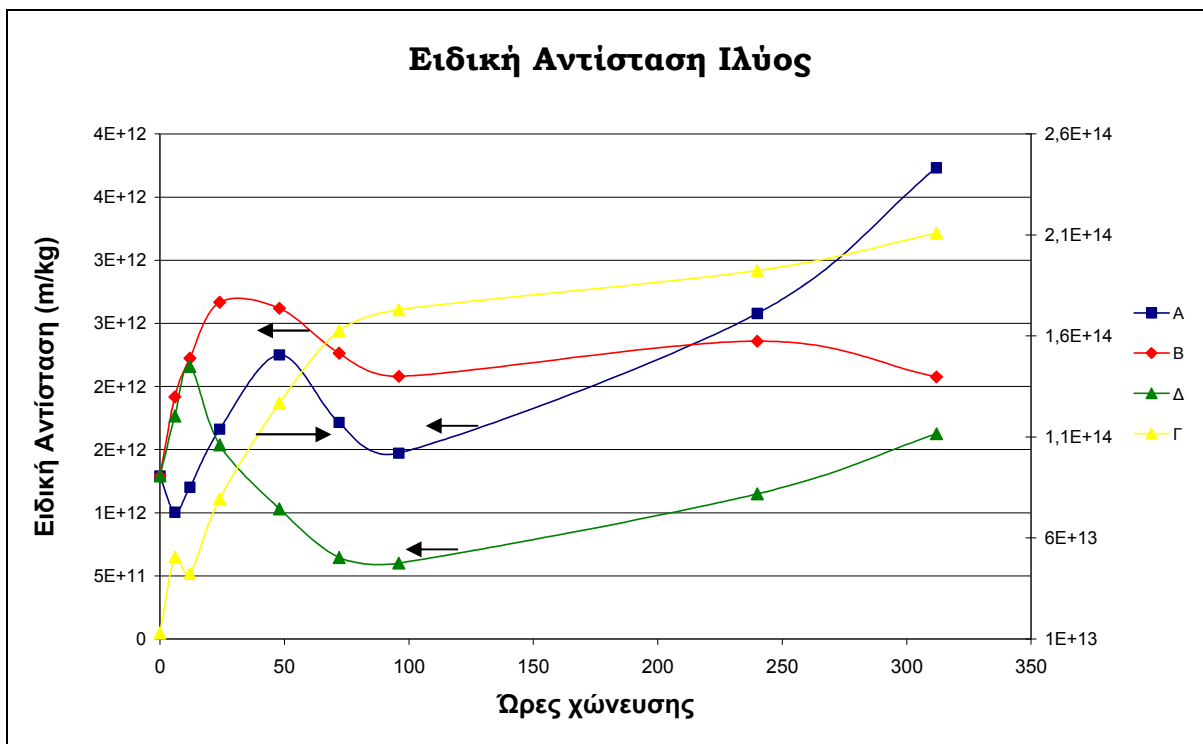
Εικόνα 21: Συγκέντρωση Πτητικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.



Εικόνα 22: Συγκέντρωση Πτητικών ως προς τα Ολικά Στερεά κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

5.2.3.2. Ειδική Αντίσταση

Στην συνέχεια φαίνεται το διάγραμμα της Ειδικής Αντίστασης της ιλύος. Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, φαίνεται ότι στην ιλύ που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα, η Ειδική Αντίσταση αυξάνεται με μεγάλο ρυθμό, σε αντίθεση με τις άλλες τρεις περιπτώσεις, όπου διακρίνεται μείωση.

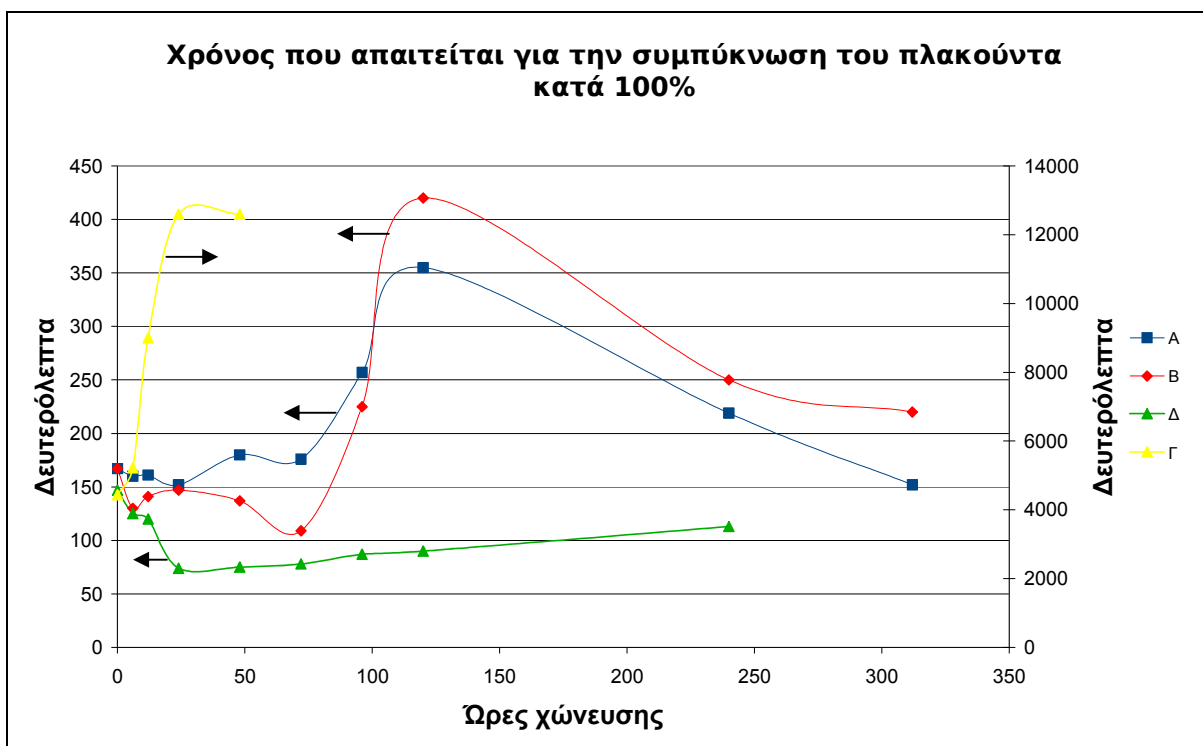


Εικόνα 23: Η Ειδική Αντίσταση της ιλύος κατά την χώνευση. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

5.2.3.3. Δυνατότητα Συμπύκνωσης ιλύος

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, έχοντας εντοπίσει προβλήματα αερισμού και μειωμένης αφυδατωσιμότητας στην πιλοτική μονάδα που έχει ήδη ξεκινήσει να λειτουργεί, στο συγκεκριμένο πείραμα, μειώσαμε την παροχή του αέρα, για να μελετήσουμε την επίπτωση που θα έχει στην αφυδατωσιμότητα της ιλύος. Όπως φαίνεται ξεκάθαρα, τόσο στην ιλύ αναφοράς, όσο και στην ιλύ που έχει προστεθεί Υπεροξείδιο του Υδρογόνου, ο χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση του πλακούντα, αυξάνεται σε μεγάλο βαθμό, και μειώνεται πάλι σταδιακά μετά την βελτίωση του αερισμού. Ενδιαφέρον στοιχείο είναι το ότι η ιλύς που αναδεύεται με διπλάσια ταχύτητα ανάδευσης, δεν επηρεάζεται από την αλλαγή στην τροφοδοσία του αέρα.

Οι τιμές για την ιλύ που έχει προεπεξεργαστεί με μικροκύματα δεν ήταν δυνατό να υπολογιστούν εξαιτίας του μεγάλου χρόνου που απαιτείτο για να επιτευχθεί συμπύκνωση του πλακούντα κατά 100%, και φόβου υπερθέρμανσης της αντλίας κενού.



Εικόνα 24: Χρόνος που απαιτείται για την συμπίκνωση του πλακούντα κατά 100% κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

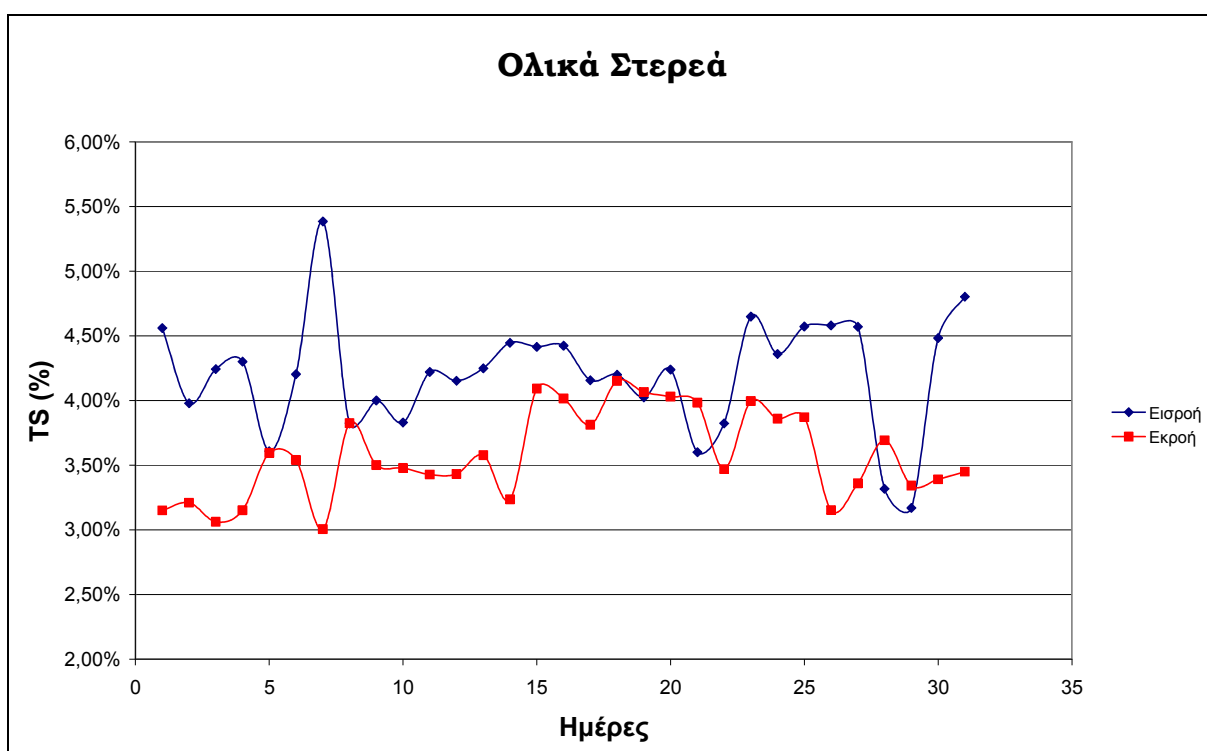
Από αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε καθαρά πως η μείωση της παροχής του αέρα επηρεάζει έντονα την διήθηση της ιλύος. Με βάση και το διάγραμμα 23, στο οποίο δεν διακρίνεται έντονη αύξηση της ειδικής αντίστασης της ιλύος κατά την μείωση της παροχής του αέρα, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι παράμετροι που επηρεάζουν την διήθηση είναι περισσότεροι από αυτούς που συναντούμε στην βιβλιογραφία. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι στην δεξαμενή με αυξημένη ανάδευση, δεν παρατηρήθηκε τόσο έντονη μεταβολή στα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης της ιλύος. Αξίζει επιπλέον να παρατηρήσουμε ότι η δεξαμενή με την προεπεξεργασία με H_2O_2 , αν και παρουσίαζε αρχικά καλύτερες τιμές διήθησης, μετά την μείωση του αέρα στην δεξαμενή, η αύξηση στον χρόνο που απαιτείται για την συμπίκνωση του πλακούντα κατά 100%, ήταν εντονότερη από ότι στην δεξαμενή με την ιλύ αναφοράς.

5.3. Πιλοτικό σύστημα

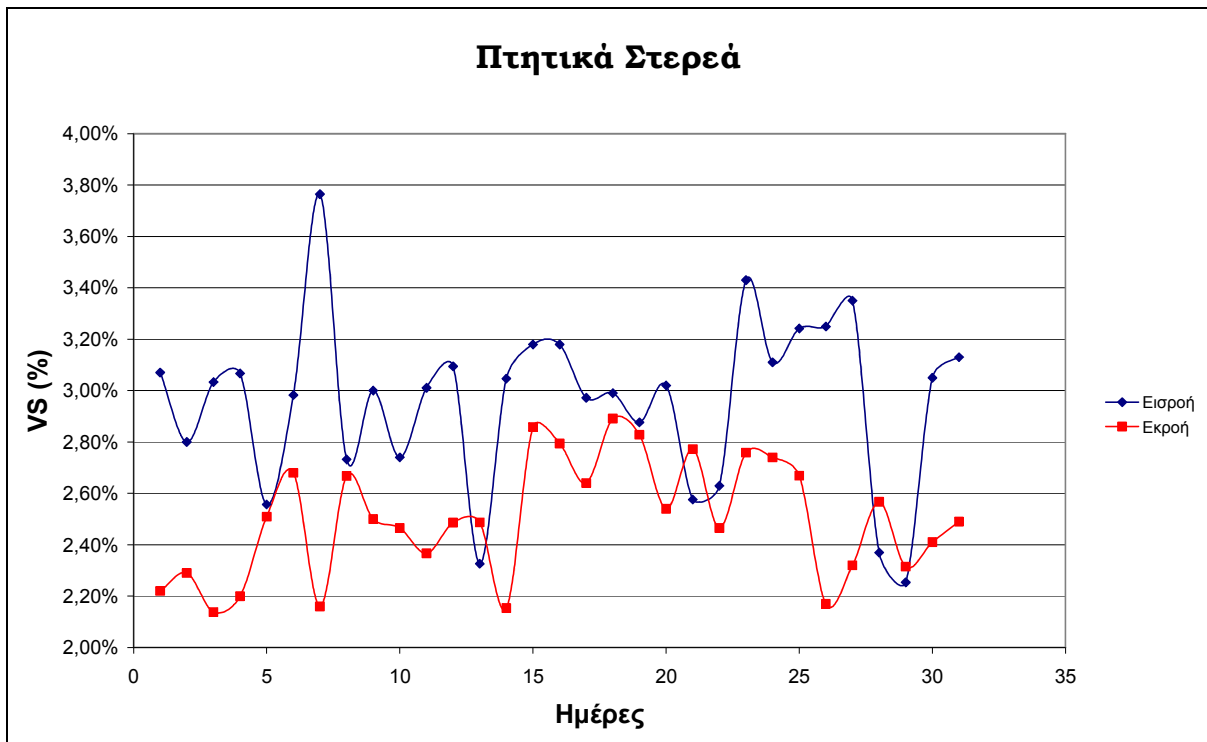
5.3.1. Στερεά

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αφού προσδιορίστηκε από τα πειράματα σύγκρισης, ως βέλτιστη μέθοδος η προεπεξεργασία με Υπεροξείδιο του Υδρογόνου, εφαρμόστηκε η συγκεκριμένη μέθοδος στο πιλοτικό σύστημα.

Στα τρία διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η εξέλιξη της συγκέντρωσης των Ολικών Στερεών, Πτητικών Στερεών και Πτητικών Στερεών επί των Ολικών Στερεών. Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε τους μέσους όρους των παραπάνω μεταβλητών, των αντίστοιχων που αφορούν την αναερόβια χώνευση καθώς και των εκάστοτε μειώσεων.



Εικόνα 25: Συγκέντρωση των Ολικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης.



Εικόνα 26: Συγκέντρωση Πτητικών Στερεών κατά την διάρκεια της χώνευσης.



Εικόνα 27: Συγκέντρωση Πτητικών ως προς τα Ολικά Στερεά κατά την διάρκεια της χώνευσης.

Πίνακας 6: Μεταβολή των Στερεών της ιλύος

Παράμετροι		Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση
T S	TS Εισροής	4,21%	0,44
	TS Εκροής	3,58%	0,34
	% Μεταβολή	-14,93%	-
V S	VS Εισροής	2,96%	0,33
	VS Εκροής	2,50%	0,23
	% Μεταβολή	-15,55%	-
V S / T S	VS -> TS Εισροής	71,01%	0,79
	VS -> TS Εκροής	69,63%	0,92
	% Μεταβολή	-1,93%	-

Η συγκεκριμένη ιλύς (με προεπεξεργασία με H_2O_2) παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερα ποσοστά μείωσης των στερεών συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στην εργαστηριακή μονάδα σύγκρισης. Παρόλα αυτά αν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του πιλοτικού συστήματος με αυτά από το ίδιο σύστημα στην προηγούμενη Διπλωματική εργασία θα παρατηρήσουμε ότι τα πειράματα χωρίς προσθήκη Υπεροξειδίου έχουν μεγαλύτερο μέσο ποσοστό μείωσης των στερεών της ιλύος (15% με προσθήκη H_2O_2 , 25% χωρίς).

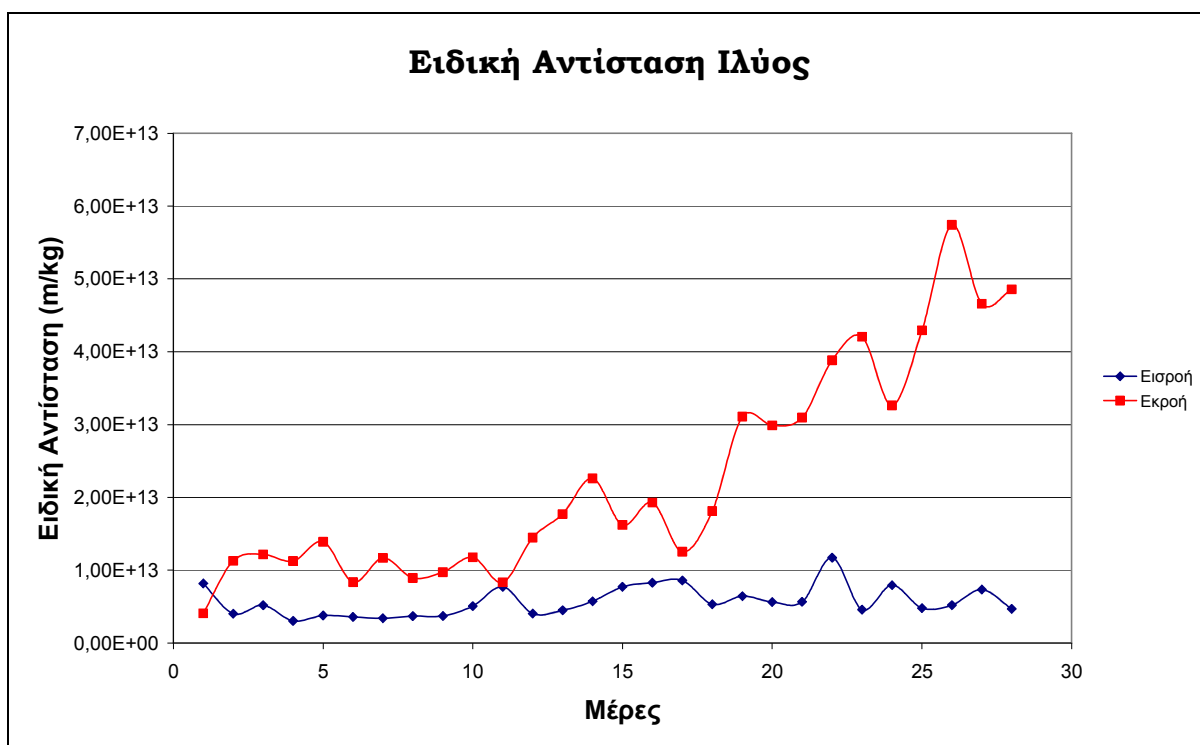
Τα αποτελέσματα όπως γίνεται αντιληπτό, αντικρούονται τόσο στα βιβλιογραφικά δεδομένα, όσο και στα αποτελέσματα που προέκυψαν από το εργαστηριακό σύστημα. Για τον συγκεκριμένο λόγο, καθώς και για τα μη αναμενόμενα αποτελέσματα από τα πειράματα διήθησης, πραγματοποιήθηκε το τρίτο πείραμα σύγκρισης στο εργαστηριακό σύστημα, το οποίο επαλήθευσε τα προηγούμενα πειράματα σύγκρισης που είχαν πραγματοποιηθεί. Με δεδομένο την ύπαρξη οσμών στο πιλοτικό σύστημα, που υποδείκνυαν αναερόβιες διεργασίες, πραγματοποιήθηκαν προσπάθειες βελτίωσης του αερισμού της δεξαμενής, τόσο με καθαρισμό της μεμβράνης αερισμού, όσο και προσθήκης επιπλέον

συστήματος αερισμού με αερόπαιρες. Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές τόσο στα πειραματικά δεδομένα, όσο και στην οσμή που προερχόταν από την ιλύ.

Πιθανή αιτιολόγηση στην διαφοροποίηση των δύο πειραμάτων στο πιλοτικό σύστημα, με δεδομένο ότι η δεξαμενή και τα συστήματα αερισμού και ανάδευσης είναι τα ίδια στα δύο πειράματα, ίσως είναι ότι τα δύο πειράματα έχουν μεταξύ διαφορά πραγματοποίησης ενός περίπου έτους, με αποτέλεσμα να υπάρχουν διαφοροποιήσεις στην ιλύ που χρησιμοποιούσαμε από τον βιολογικό καθαρισμό των Χανίων.

5.3.2. Ειδική Αντίσταση

Στο επόμενο διάγραμμα, φαίνεται η εξέλιξη της τιμής της Ειδικής Αντίστασης της Ιλύος κατά την διάρκεια των πειραμάτων στο πιλοτικό σύστημα. Να προσδιοριστεί σε αυτό το την 22^η ημέρα του πειράματος τροποποιήθηκε η μέθοδος τροφοδοσίας του Υπεροξειδίου του Υδρογόνου. Μέχρι εκείνη την μέρα το H_2O_2 προσθέτονταν στην ιλύ πριν αυτή προστεθεί στην δεξαμενή. Από την 22^η μέρα προσθέτονταν στην δεξαμενή αρχικά η ιλύς και στην συνέχεια το H_2O_2 .



Εικόνα 28: Η Ειδική Αντίσταση της ιλύος κατά την χώνευση.

Οι μέσες τιμές της Ειδικής Αντίστασης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7: Μεταβολή της ειδικής αντίστασης της ιλύος

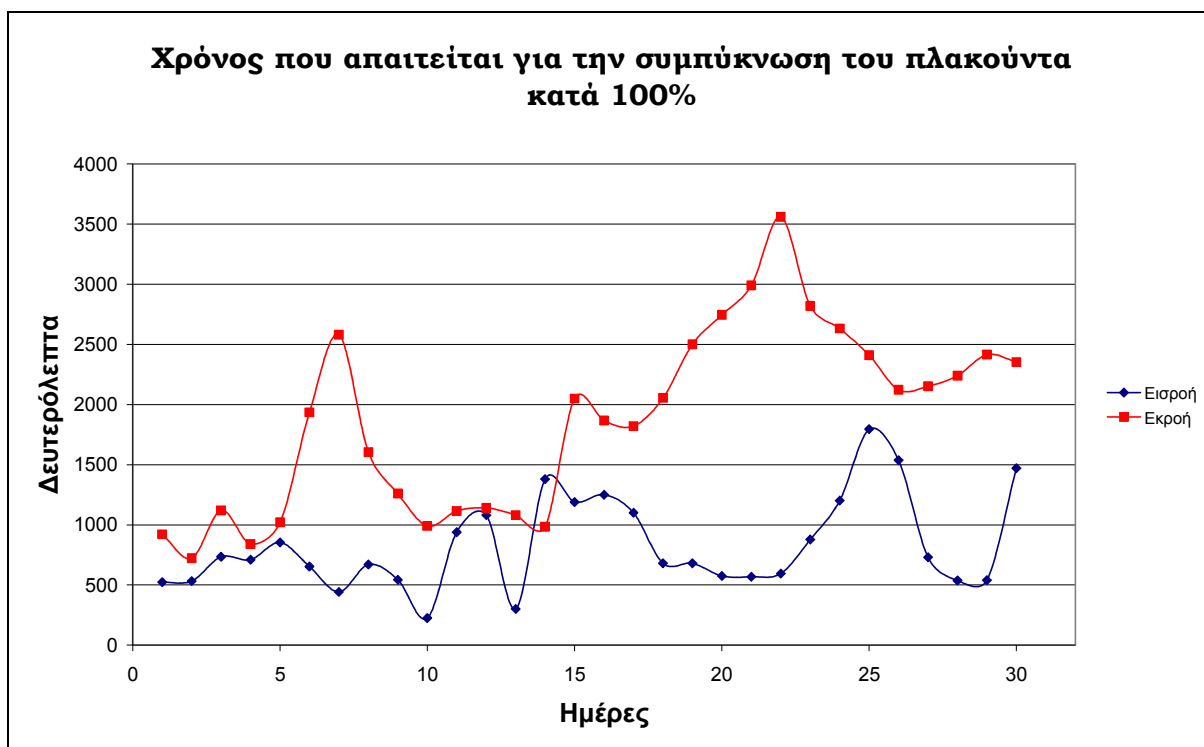
Παράμετροι	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση
Εισροής	5,70E+12	2,05E+12
Εκροής Συνολικά	2,26E+13	1,47E+13
% Μεταβολή	296,79%	-
Εκροής μέχρι την 22 ^η μέρα	1,65E+13	8,96E+12
% Μεταβολή	189,60%	-

Όπως παρατηρούμε, η Ειδική Αντίσταση της ιλύος αυξάνεται μετά την χώνευση σε υπερβολικό βαθμό. Η αύξηση είναι αναμενόμενη από την βιβλιογραφία και από τα πειράματα που είχαν πραγματοποιηθεί κατά την Διπλωματική εργασία. Παρόλα αυτά η αύξηση είναι υπερβολικά μεγάλη. Η Αντίσταση αυξήθηκε κατά 190% στα πειράματα με προεπεξεργασία με Υπεροξείδιο του Υδρογόνου, ενώ στα πειράματα χωρίς προεπεξεργασία αυξήθηκε κατά 61%. Όπως όμως φάνηκε από τα πειράματα σύγκρισης, η Ειδική Αντίσταση της ιλύος θα έπρεπε να αυξάνεται σε πολύ μικρότερο βαθμό στην περίπτωση της προεπεξεργασίας με Υπεροξείδιο. Στην μόνη περίπτωση που η Αντίσταση αυξήθηκε ήταν όταν μειώσαμε την παροχή του αέρα. Σε αυτήν την περίπτωση η αύξηση ήταν έντονη σε όλες τις δεξαμενές, εκτός της δεξαμενής η οποία διέθετε καλύτερη ανάδευση. Επιπλέον να θυμηθούμε ότι η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στην δεξαμενή που είχε πραγματοποιηθεί προεπεξεργασία με H_2O_2 .

Ένα συμπέρασμα που γίνεται να εξαχθεί είναι ότι τα συστήματα με προσθήκη H_2O_2 , απαιτούν καλύτερη ανάδευση για την ίδια παροχή αέρα. Συνεπώς ένα καλό σύστημα ανάδευσης μπορεί να είναι σημαντικότερο και από το σύστημα αερισμού. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από την βιβλιογραφία, αν παρατηρήσουμε ότι σε όλα τα συστήματα αερόβιας χώνευσης με προεπεξεργασία ή σε συστήματα που πραγματοποιείται Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση, δεν χρησιμοποιείται το σύστημα αερισμού για ανάδευση, αλλά προστίθεται επιπλέον σύστημα μηχανικής ανάδευσης.

5.3.3. Δυνατότητα Συμπύκνωσης ιλύος

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση του πλακούντα κατά 100%. Στον αμέσως επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι αριθμητικές τιμές των πειραμάτων.



Εικόνα 29: Χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση του πλακούντα κατά 100% κατά την διάρκεια της χώνευσης. Α: Ιλύς αναφοράς (χωρίς προεπεξεργασία). Β: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με H_2O_2 . Γ: Ιλύς που έχει επεξεργαστεί με μικροκύματα. Δ: Ιλύς χωρίς επεξεργασία, με καλύτερη ανάδευση.

Πίνακας 8: Μεταβολή του χρόνου που απαιτείται για την συμπύκνωση του πλακούντα κατά 100%

Παράμετροι	Μέση Τιμή	Τυπική απόκλιση
Εισροή	830	420,31
Εκροή	1868	762,85
% Μεταβολή	124,95%	-

Όπως και στην περίπτωση της Ειδικής Αντίστασης της ιλύος, ο χρόνος που απαιτείται για την συμπύκνωση του πλακούντα αυξάνεται έντονα. Συγκεκριμένα παρατηρούμε αύξηση 125%, ενώ στην προηγούμενη διπλωματική εργασία που χρησιμοποιήθηκε το ίδιο πιλοτικό σύστημα για αερόβια χώνευση χωρίς προεπεξεργασία είχαμε μείωση 52%. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο χρόνος διήθησης αυξάνεται μόνο στην περίπτωση που πραγματοποιείται αναερόβια χώνευση (στην

ιλύ από τον βιολογικό καθαρισμό των Χανίων, μετρήθηκε αύξηση 13% μετά την χώνευση της ιλύος).

Μπορούμε πάλι να παρατηρήσουμε ότι μετά την αλλαγή προσθήκης του H_2O_2 στην δεξαμενή παρατηρήθηκε υπερβολικά μεγάλη αύξηση των τιμών.

6. Συμπεράσματα

Επιβεβαιώνεται η προηγούμενη μελέτη^[23], ότι δεν αρκεί να μόνο η υψηλή συγκέντρωση στερεών στην ιλύ για να είναι εφικτή η Αυτόθερμη Αερόβια Θερμόφιλη Χώνευση, όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία^[23].

Τόσο η χρήση του Υπεροξειδίου του Υδρογόνου, όσο και των μικροκυμάτων, είχε ως στόχο την διάσπαση των στερεών, ώστε να έχουμε καλύτερη απόδοση στην μετέπειτα αερόβια χώνευση. Ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε.

Η υπερβολική μείωση της διαμέτρου των στερεών κατά την προεπεξεργασία με μικροκύματα, έχει αρνητική επίπτωση στην δυνατότητα αφυδάτωσης της ιλύος.

Κατά την αερόβια χώνευση ιλύος (με ή χωρίς προεπεξεργασία) η μηχανική ανάδευση επηρεάζει έντονα τα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης της ιλύος, ενώ δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την μείωση των στερεών.

Η χρήση της Ειδικής Αντίστασης ως μέτρο προσδιορισμού της δυνατότητας αφυδάτωσης της ιλύος, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από άλλες μεταβλητές. Πρέπει να υπάρχει συνδυασμός με άλλες μεθόδους όπως ο χρόνος συμπίκνωσης του πλακούντα.

7. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Πειράματα σύγκρισης της αερόβιας χώνευσης σε ιλύ με και χωρίς προεπεξεργασία με Υπεροξειδίο του Υδρογόνου, με καλύτερο έλεγχο των παραμέτρων αερισμού και ανάδευσης, διαφορετικές συγκεντρώσεις Υπεροξειδίου του Υδρογόνου, καθώς και σύγκριση αποτελεσμάτων ιλύ από διαφορετικούς βιολογικούς καθαρισμούς

Σύγκριση μεθόδων προσδιορισμού της δυνατότητας αφυδάτωσης της ιλύος, σε δείγματα ιλύος από διαφορετικούς βιολογικούς καθαρισμούς ή διαφορετικών συγκεντρώσεων στερεών.

Πειράματα σύγκρισης της αερόβιας χώνευσης ιλύος μετά από επεξεργασία με όζον, υπερήχους, ακτινοβολία β ή γ, καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων της χώνευσης με αναερόβια χώνευση.

8. Παράρτημα

**TABLE 2-1
Pollutant Limits**

Pollutant	Ceiling Concentration Limits for All Biosolids Applied to Land (milligrams per kilogram)^a	Pollutant Concentration Limits for EQ and PC Biosolids (milligrams per kilogram)^a	Cumulative Pollutant Loading Rate Limits for CPLR Biosolids (kilograms per hectare)	Annual Pollutant Loading Rate Limits for APLR Biosolids (kilograms per hectare per 365-day period)
Arsenic	75	41	41	2.0
Cadmium	85	39	39	1.9
Chromium	3,000	1,200	3,000	150
Copper	4,300	1,500	1,500	75
Lead	840	300	300	15
Mercury	57	17	17	0.85
Molybdenum ^b	75	—	—	—
Nickel	420	420	420	21
Selenium	100	36	100	5.0
Zinc	7,500	2,800	2,800	140
Applies to:	All biosolids that are land applied	Bulk biosolids and bagged biosolids ^c	Bulk biosolids	Bagged biosolids ^c
From Part 503	Table 1, Section 503.13	Table 3, Section 503.13	Table 2, Section 503.13	Table 4, Section 503.13

^a Dry weight basis

^b As a result of the February 25, 1994, Amendment to the rule, the limits for molybdenum were deleted from the Part 503 rule pending EPA reconsideration.

^c Bagged biosolids are sold or given away in a bag or other container.

TABLE 2-2
Options for Meeting Pollutant Limits and Pathogen and Vector Attraction
Reduction Requirements for Land Application

Option*	Pollutant Limits	Pathogen Requirements	Vector Attraction Reduction Requirements
"Exceptional Quality" (EQ) Biosolids	Bulk or bagged biosolids meet pollutant concentration limits in Table 2-1	Any 1 of the Class A requirements in Table 2-5	Any 1 of the requirements in options 1 through 8 in Table 2-6
"Pollutant Concentration" (PC) Biosolids	Bulk biosolids meet pollutant concentration limits in Table 2-1	Any 1 of the Class B requirements in Table 2-5 and Figure 2-4	Any 1 of the 10 requirements in Table 2-6
		Any 1 of the Class A requirements in Table 2-5	Requirements 9 or 10 in Table 2-6
"Cumulative Pollutant Loading Rate" (CPLR) Biosolids	Bulk biosolids applied subject to cumulative pollutant loading rate (CPLR) limits in Table 2-1	Any 1 of the Class A or Class B requirements in Table 2-5 and Figure 2-4	Any 1 of the 10 requirements in Table 2-6
"Annual Pollutant Loading Rate" (APLR) Biosolids	Bagged biosolids applied subject to annual pollutant loading rate (APLR) limits in Table 2-1	Any 1 of the Class A requirements in Table 2-5	Any 1 of the first 8 requirements in Table 2-6

* Each of these options also requires that the biosolids meet the ceiling concentrations for pollutants listed in Table 2-1, and that the frequency of monitoring requirements in Table 2-7 and recordkeeping and reporting requirements in Table 2-8 be met. In addition, the general requirements in Figure 2-8 and the management practices in Figure 2-9 have to be met when biosolids are land applied (except for EQ biosolids).

9. Βιβλιογραφία

- 1 Anna Raszkaa, Monika Chorvatovab, JiriWannerb, The role and significance of extracellular polymers in activated sludge Part I Literature review, Acta hydrochim. hydrobiol. 2006, 34, 411 – 424
- 2 APHA, AWWA & WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 1992. 18th edition.
- 3 Bethany AnnMadge Acquisto, Robert S. Reimers, James E. Smith, Jr., FACTORS AFFECTING DISINFECTION AND STABILIZATION OF SEWAGE SLUDGE
- 4 Bougrier C., Albasi C., Effect of ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability, Chemical Engineering and Processing 25. pp 711-718, 2006
- 5 Da-hong Li and Jerzy J. Ganczarczyk, Structure of Activated Sludge Flocs, Biotechnology and Bioengineering, Vol. 35, Pp. 57-65 (1990)
- 6 Chih Chao Wu, Chihpin Huang, D. J. Lee, Bound water content and water binding strength
- 7 C. P. Chu D. J. Lee, In, Dewatering of waste activated sludge via centrifugal field, Drying Technology - An International Journal, 2002
- 8 EPA. 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. Washington, DC.
- 9 R H Harris, and , R Mitchell , The Role of Polymers in Microbial Aggregation, Annual Review of Microbiology, Vol. 27: 27-50 (Volume publication date October 1973)

- 10 F. Jorand, F. Zartarian, F. Thomas, Chemical and structural (2D) Linkage between bacteria within activated sludge flocs, *War. Res.* Vol. 29, No. 7, pp. 1639-1647, 1995
- 11 M. Krzemieniewski, M. Dębowski, W. Janczukowicz, J. Pesta, Effect of Sludge Conditioning by Chemical Methods with Magnetic Field Application, *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 12, No. 5 (2003), 595-605
- 12 Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. 4th Edition.
- 13 Milenko, R., and G. D. Zupančič. 2002. Thermophilic aerobic digestion of waste activated sludge. National Institute of Chemistry.
- 14 Movahedian H. Attar and Bina B. and Moeinian Kh., 2005. Effects of aeration rate and detection time on Thermophilic aerobic digestion of mixed sludge and its dewaterability. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, Vol. 2, pp. 105-111.
- 15 Philip R. Karr, Influence of particle size on sludge dewaterability, *WPCF journal*, 1978, pp 1911-1929
- 16 D. W. Riley and C. F. Foster, 2002. An evaluation of an Autothermal aerobic digestion system. *Trans IChemE*, Vol. 80, Part B, pp. 100-104.
- 17 Sang-Tian Yan, Li-Bing Chu, Analysis of the mechanism of sludge ozonation by combination of biological and chemical approaches, *Water research* 43, pp 195-203, 2009
- 18 Vaxelaire J., Cezac P., Moisture distribution in activated sludge: a review, *Water Research*, Volume 38, Issue 9, May 2004, Pages 2215-2230
on sludge flocs, *water research*, Vol 32, No 3, pp 900-904
- 19 Wayne Urban and Roger Warren. Design considerations for Autothermal Themophilic aerobic digestion.
- 20 Wayne Scott, Cornawall, Filterability of lime-iron sludge generated in the chemical precipitation of phosphorous from treated sewage,

21 WEF. 1998. Design of Wastewater treatment plants. 4th edition, Manual of practice No. 8, vol. 3, Chapters 17-24, Water Environment Federation, Alexandria, VA.

22 P. S. YEN and D. J. LEE, Errors in bound water measurement using Centrifugal – Settling, Wat. Res. Vol. 35, No. 16, pp. 4004–4009, 2001

23 Βακόνδιος Νικόλαος – Ιωάννης, Αυτόθερμη Θερμόφιλη Αερόβια Χώνευση Ιλύος, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια 2007