



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ &
ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΦΥΔΑΤΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ
ΙΛΥΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ**

ΦΟΙΤΗΤΕΣ

**ΚΑΛΛΑ ΙΩΑΝΝΑ
ΤΑΡΤΑΡΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2010

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΚΑΔΔΑ ΙΩΑΝΝΑ
ΤΑΡΤΑΡΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΑΤΕΙ), Σχολή ΣΤΕΤΡΟ-Δ,
Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 ΤΘ 141, Θεσσαλονίκη

Ημερομηνία: 16/6/2010

Εισηγητής: Σαμαράς Πέτρος

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σημερινή απειλή ενός πλήθους περιβαλλοντικών πιέσεων καθιστά αναγκαία τη γνώση εκείνων των παραγόντων που οδηγούν στην υποβάθμιση των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Η παρούσα μελέτη έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο της αφυδατωσιμότητας της ενεργού ύλης με τη χρήση υπερήχων.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Βιομηχανικό Εργαστήριο και στο Νέο Χημείο του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ και τα δείγματα ελήφθησαν στη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού στη Σίνδο Θεσσαλονίκης.

Θέλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον επιβλέπων Καθηγητή μας κ. Σαμαρά Πέτρο για τη καθοδήγηση και παρακολούθηση. Εκφράζουμε επίσης τις θερμές μας ευχαριστίες στον Καθηγητή εφαρμογών κ. Παπαστεργιάδη Ευθύμη για την υποστήριξη. Θέλουμε να εκφράσουμε ακόμα τις ευχαριστίες μας στην Δρ. Σκλαρή Στυλιανή, εργαστηριακό συνεργάτη του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων για τις υποδείξεις της και στο προσωπικό του Βιομηχανικού Εργαστηρίου.

Ευχαριστούμε επίσης τις οικογένειες μας που μας στήριξαν για την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

ΚΑΔΔΑ ΙΩΑΝΝΑ
ΤΑΡΤΑΡΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής,
Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400, Θεσσαλονίκη, Τ.Θ. 141

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρείται μια περιεκτική προσέγγιση της διαχείρισης/επεξεργασίας των αποβλήτων (υγρών και στερεών).

Η εφαρμογή της τεχνολογίας των υπερήχων αποτελεί μια διεργασία προκατεργασίας της βιολογικής ιλύος ώστε να μειωθεί η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος και να μπορεί ευκολότερα και γρηγορότερα να σταθεροποιηθεί στη διεργασία της χώνευσης.

Γίνεται αναφορά στην ενεργή ιλύ και στη διαδικασία παραγωγής και επεξεργασίας της. Επίσης παρουσιάζεται συνοπτικά η τεχνολογία των υπερήχων, που αποτελεί και το αντικείμενο της εργασίας μας καθώς και η επίδραση των υπερήχων στα απόβλητα και ειδικότερα στην ενεργή ιλύ. Τέλος, περιγράφεται η πειραματική διαδικασία και αποτυπώνονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Ως αποτέλεσμα των πειραμάτων που διεξήχθησαν είναι ότι σε ήπιες συνθήκες και σε μικρούς χρόνους παραμονής παρατηρήθηκε μια αύξηση των συγκεντρώσεων σε αιωρούμενα σωματίδια που πιθανά να οφείλεται σε μεγαλύτερη συσσωμάτωση των σωματιδίων και δημιουργία μεγαλύτερων κροκίδων. Αντίθετα, σε πιο έντονες συνθήκες, όπως μεγάλους χρόνους παραμονής και υψηλές τιμές ισχύος, παρατηρήθηκε μείωση της περιεκτικότητας σε στερεά σωματίδια, που αποδόθηκαν στην καταστροφή των κυττάρων. Σε τέτοιες συνθήκες, οι συγκεντρώσεις των στερεών σωματιδίων μειώθηκαν περίπου στο 50% των αρχικών συγκεντρώσεων.

Περιεχόμενα	Σελίδα
1. Εισαγωγή	1
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	2
2.1 Γενικά στοιχεία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	2
2.1.1 Ενεργός ιλύς	2
2.1.2 Επεξεργασία της ενεργός ιλύος	3
2.1.2.1 Προβλήματα κατά την αφυδάτωση της ενεργής ιλύος	3
2.1.3 Περιγραφή της μεθόδου	4
2.1.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστων αποβλήτων	5
2.1.4.1 Στερεά συστατικά	6
2.1.4.2 Οργανικά συστατικά	6
2.1.4.3 Ανόργανα συστατικά	7
2.1.4.3.1 Άζωτο	7
2.1.4.3.2 Φώσφορος	8
2.1.4.4 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)	9
2.1.4.5 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)	10
2.1.4.6 Θερμοκρασία	10
2.1.4.7 Χρώμα	11
2.1.4.8 Οσμή	11
2.1.4.9 Αλκαλικότητα	12
2.1.4.10 pH	12
2.1.4.11 Χλωριούχα	12
2.1.4.12 Μικροβιολογία ενεργού ιλύος	13
2.2 Τεχνολογία των υπερήχων	15
2.2.1 Οξείδωση με υπερήχους	15
2.2.2 Αρχή λειτουργίας υπερήχων	16
2.2.3 Συσκευές παραγωγής υπερήχων	17
2.2.4 Λουτρό υπερήχων	19
2.2.5 Ασφάλεια κατά την χρήση των υπερήχων	20
2.3 Υπέρηχοι στα απόβλητα	21
2.3.1 Εφαρμογή υπερήχων στην αντιρρύπανση	21
2.3.2 Επιδράσεις υπερήχων στους ρύπους	22
2.3.3 Υπέρηχοι στην ενεργή ιλύ	23
2.3.3.1 Υποβοηθούμενη χώνευση με υπερήχους	23
2.3.3.2 Υποβοηθούμενη αφυδάτωση με υπερήχους	24
3. Σκοπός της εργασίας	26
4. Πειραματικό μέρος	27
4.1 Υλικά και μέθοδοι	27
4.1.1 Ενεργός ιλύς	27
4.1.2 Όργανα	27
4.1.3 Πειραματική πορεία	29
4.2 Μέθοδοι ανάλυσης	31
4.2.1 Προσδιορισμός αιωρούμενων στερεών	31
4.2.2 Προσδιορισμός πτητικών στερεών	31
4.2.3 Προσδιορισμός ολικών στερεών	32
4.2.4 Προσδιορισμός δείκτη όγκου λάσπης	34
4.2.5 Προσδιορισμός χημικά απαιτούμενου οξυγόνου	35
4.2.6 Προσδιορισμός κοκκομετρίας της ενεργού ιλύος	39
5. Αποτελέσματα και συζήτηση	40
5.1 Επίδραση των υπερήχων στα στερεά σωματίδια	40

5.1.1 Επίδραση υπερήχων στο ποσοστό αιωρούμενων στερεών.....	40
5.1.2 Επίδραση υπερήχων στο ποσοστό εξαμιζόμενων στερεών	43
5.1.3 Επίδραση των υπερήχων στο ποσοστό ολικών στερεών	44
5.1.3.1 Επίδραση υπερήχων στα ολικά πτητικά στερεά	45
5.1.4 Ποσοστό κοκκομετρίας της ενεργού ιλύος.....	47
5.1.5 Μικροσκοπική ανάλυση	53
5.2 Επίδραση υπερήχων στο ποσοστό δείκτη όγκου λάσπης.....	62
5.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο στο διαλυτό οργανικό φορτίο	64
6. Συμπεράσματα	68
7. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	70
8. Βιβλιογραφία	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	76

1. Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, όπως και σε όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες, παρατηρείται τα τελευταία χρόνια ραγδαία αύξηση του αριθμού των Κέντρων Επεξεργασίας Λυμάτων, εξέλιξη η οποία θα έχει και συνέχεια λόγω και της σχετικής οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1991/271/EK).

Η σταθεροποίηση της ενεργού ιλύος με την χρήση διαφόρων προσθέτων και η περαιτέρω χρήση της έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης αρκετών ερευνητικών ομάδων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται περιγραφή της επεξεργασίας ιλύος με τη χρήση υπερήχων. Αναλυτικότερα θα γίνει αναφορά στα χαρακτηριστικά της ενεργής ιλύος, των υπερήχων και της εφαρμογής αυτών στα απόβλητα.

Ειδικότερα θα γίνει περιγραφή της πειραματικής πορείας, ο σχεδιασμός της οποίας βασίστηκε σε ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν, οι οποίοι επηρεάζουν την αφυδατοσιμότητα της ενεργής ιλύς, είναι: (COD, SVI, TS, VSS, SS και PSD).

Η φωτογραφική απεικόνιση των δειγμάτων με οπτικό μικροσκόπιο θα συμπληρώσει την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μας.

Η μεταβολή της ισχύος των υπερήχων και ο χρόνος επεξεργασίας αποτέλεσαν τις μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας. Έτσι ώστε να διερευνηθεί η επίδραση τους στην αποτελεσματικότητα της διεργασίας.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Γενικά στοιχεία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Ένα σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει διάφορα στάδια επεξεργασίας και σχεδιάζεται με σκοπό να δεσμεύσει και να απομακρύνει από τα απόβλητα:

- το οργανικό φορτίο,
- τα αιωρούμενα (SS) και διαλυμένα (DS) στερεά,
- τα θρεπτικά άλατα (N και P),
- τους επικίνδυνους μικροοργανισμούς και
- διάφορους άλλους ρυπαντές.

Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Το σύνολο των διεργασιών αυτών αποτελεί τη διαδικασία της επεξεργασίας, κύρια επιδίωξη της οποίας είναι η απαλλαγή της μάζας των αποβλήτων από τους ρύπους και σε δεύτερο επίπεδο η εξουδετέρωση των ρύπων (Metcalf & Eddy, 2003).

2.1.1 Ενεργός ιλύς

Οι βιολογικές ιλύες παράγονται από τις βιολογικές διαδικασίες επεξεργασίας των λυμάτων, όπως είναι η ενεργή ιλύς και οι παραλλαγές της, τα βιολογικά φίλτρα και οι βιολογικοί δίσκοι (Χριστούλας et al., 1999).

Οι βιολογικές ιλύες αποτελούνται από τη βιομάζα που παράγεται συνεχώς ως αποτέλεσμα της αποικοδόμησης των οργανικών συστατικών των λυμάτων. Στην ιλύ ενσωματώνεται επίσης η μάζα των αδρανών στερεών καθώς και τα μη βιοδιασπάσιμα οργανικά στερεά, τα οποία εισέρχονται στο βιολογικό αντιδραστήρα και δεν διαφεύγουν με τα επεξεργασμένα λύματα (Wesley & Eckenfelder, 2000).

Οι ποσότητες και τα χαρακτηριστικά των βιολογικών ιλύων ποικίλλουν ανάλογα με το μεταβολισμό και την ταχύτητα αναπτύξεως των διαφόρων μικροοργανισμών που περιέχουν. Ο όγκος και η συγκέντρωση της παραγομένης ιλύος επηρεάζονται όμως τόσο από το είδος όσο και από τον τρόπο λειτουργίας της προκαταρκτικής και πρωτοβάθμιας επεξεργασίας (Wesley & Eckenfelder, 2000).

Μειονέκτημα των βιολογικών ιλύων είναι ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυσκολία στην πάχυνση και στην αφυδάτωσή τους εν συγκρίσει με τις πρωτοβάθμιες και χημικές ιλύες (Wesley & Eckenfelder, 2000).

Η συγκέντρωση των στερεών στην περίσσεια ενεργό ιλύ κυμαίνεται από 8.000 - 15.000 mg/L, με τυπική τιμή 10.000 mg/L. Η συγκέντρωση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι ο χρόνος παραμονής της ιλύος στο σύστημα, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των λυμάτων κλπ. Τέλος, εάν τα λύματα δεν έχουν υποστεί πρωτοβάθμια καθίζηση, η συγκέντρωση των στερεών στην ιλύ θα είναι μεγαλύτερη (Χριστούλας et al., 1999).

2.1.2 Επεξεργασία της ενεργός ιλύος

Οι πλέον συνηθισμένες μέθοδοι κατεργασίας της ενεργού ιλύος είναι (Μαρκαντωνάτος, 1990):

- Η έκπλυση, κατά την οποία η λάσπη πλένεται με κατάλληλα υδατικά διαλύματα, με σκοπό την απομάκρυνση διαφόρων ανεπιθύμητων συστατικών της (πχ. τοξικά μέταλλα)
- Η πάχυνση, κατά την οποία συμπυκνώνεται με την επίδραση της βαρύτητας σε κατάλληλες δεξαμενές. Με την συμπύκνωση αυξάνεται το ποσοστό των περιεχόμενων στερεών κατά 2-3 φορές, γεγονός που συνεπάγεται την ελάττωση του όγκου της λάσπης.
- Η χώνευση της λάσπης, αποσκοπεί στην αποικοδόμηση των οργανικών. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει αερόβια ή αναερόβια.
- Η αφυδάτωση της λάσπης, η οποία αποσκοπεί στην ελάττωση της υγρασίας, ώστε η λάσπη να πάρει μισοστερεή μορφή και να διευκολυνθούν οι πιο πέρα χειρισμοί. Σε μικρές εγκαταστάσεις η διαδικασία αυτή γίνεται σε κλίνες ξήρανσης, ενώ γενικώς χρησιμοποιούνται φυγοκέντρωση και ταινιό-φιλτρόπρεςες και δίνει πίτα με υγρασία 55-70%, ενώ αν υποστεί θερμική επεξεργασία η υγρασία κατεβαίνει κάτω του 10%.

2.1.2.1 Προβλήματα κατά την αφυδάτωση της ενεργής ιλύος

Η αφυδάτωση της ενεργού ιλύος σε κλίνες αποξήρανσης γίνεται με την παράλληλη δράση του ήλιου και του αέρα. Κατ' επέκταση εξαρτάται και επηρεάζεται

άμεσα από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα των ανέμων της περιοχής καθώς και άλλες κλιματολογικές συνθήκες. Παράγοντες που έχουν ως αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση της διεργασίας κατά τους χειμερινούς μήνες. Ως αποτέλεσμα της αδυναμίας απομάκρυνσης της λάσπης υπάρχει αύξηση στα MLSS και κατακόρυφη αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (Metcalf & Eddy, 2003).

Επίσης υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας κακοσμίας όταν η ιλύς δεν είναι καλά σταθεροποιημένη (η καλά χωνεμένη ιλύς δεν δημιουργεί προβλήματα δυσοσμίας όταν διασκορπιστεί στην κλίνη της άμμου. Για λόγους ασφαλείας όμως απαιτούνται ζώνες διαχωρισμού από τουλάχιστον 100m (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Στα σημαντικά μειονεκτήματα επίσης συγκαταλέγονται οι μεγάλες απαιτήσεις σε γη (η αφυδάτωση είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η ελεύθερη επιφάνεια της ιλύος).

Για μονάδες που λειτουργούν με φιλτρόπρεσες, το κόστος εξοπλισμού καθώς και το λειτουργικό κόστος, όπως προκύπτει από οικονομικά στοιχεία, είναι διπλάσιο.(Gratziou & Tsalkatidou, 2010).

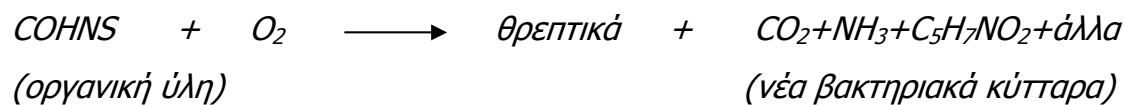
2.1.3 Περιγραφή της μεθόδου

Η μέθοδος της ενεργού ιλύος αναπτύχθηκε στην Αγγλία το 1914 από τους Ardern και Lockett και ονομάστηκε έτσι γιατί περιλάμβανε την παραγωγή μάζας μικροοργανισμών (ενεργοποιημένης ιλύος), ικανών για αερόβια αποικοδόμηση και σταθεροποίηση των λυμάτων, εφόσον τροφοδοτούνται με αέρα ή καθαρό οξυγόνο. Ο σκοπός του συστήματος ενεργού ιλύος είναι η απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ουσιών των αποβλήτων με βιοχημικές διαδικασίες. Η προσρόφιση και η οξείδωση αποτελούν τα δύο κύρια στάδια που λαμβάνουν χώρα στην αποικοδόμηση του λύματος (Tchobanoglous & Burton, 1991).

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή τα λύματα εισέρχονται, συνήθως μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση, σε δεξαμενή αερισμού (αντίδραστήρα), στην οποία διατηρούνται σε αιώρηση πληθυσμοί αερόβιων μικροοργανισμών. Η αποικοδόμηση του λύματος συντελείται κυρίως από το βακτηριακό πληθυσμό μέσα στη δεξαμενή αερισμού σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση (Tchobanoglous & Burton, 1991):

Αντίδραση οξειδωσης-σύνθεσης

(βακτήρια)



Οι μικροοργανισμοί, που το μεγαλύτερο μέρος τους αποτελείται από βακτήρια, χρησιμοποιούν ως τροφή τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων με αποτέλεσμα την παραγωγή νέων κυττάρων, διοξείδιο του άνθρακα και ενέργειας η οποία χρησιμοποιείται για την κίνηση, την συντήρηση και την αναπαραγωγή τους (Tchobanoglous & Burton, 1991).

Με τη συνεχή παροχή αέρα είτε με αεραντλίες είτε με μηχανική ανάμιξη, δημιουργείται το αέριο περιβάλλον στη δεξαμενή αερισμού. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται σε πλήρη ανάμιξη το υγρό. Στη δεξαμενή αερισμού σχηματίζονται οι βιοκροκίδες, οι οποίες αποτελούν τους δραστικούς πυρήνες για την προσρόφηση, αφομοίωση και αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα λύματα. Οι βιοκροκίδες πρέπει να βρίσκονται συνεχώς σε αιώρηση μέσα στη δεξαμενή. Έπειτα από συγκεκριμένη χρονική περίοδο το μικτό υγρό διοχετεύεται στην δευτεροβάθμια δεξαμενή καθίζησης όπου παραμένει για χρονικό διάστημα τέτοιο ώστε να επιτρέπεται ο διαχωρισμός των βιοκροκίδων, οι οποίες καθιζάνουν, από το διαυγανισμένο επεξεργασμένο υγρό (Davis & Cornowell, 1998).

Κρίνεται όμως απαραίτητη η συστηματική παρακολούθηση της διαδικασίας από έμπειρο προσωπικό, για τον συνεχή έλεγχο της σωστής λειτουργίας και απόδοσης της μονάδας. Ανάλογα με τις συνθήκες ροής και ανάμιξης που επικρατούν στον αντιδραστήρα οι τροποποιήσεις της μεθόδου ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες η πρώτη κατηγορία αφορά συνθήκες καθολικής ανάμιξης και η δεύτερη συνθήκες εμβολικής ροής (Καϊμακαμίδου, 2002).

2.1.4 Ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστων αποβλήτων

Στο τρέχον υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά των αποβλήτων που καθορίζουν τον σχεδιασμό μιας εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων.

2.1.4.1 Στερεά συστατικά

Τα ολικά στερεά συστατικά (TS) βρίσκονται αιωρούμενα (SS) ή διαλυμένα (DS) στη μάζα των αποβλήτων και αποτελούνται από οργανικά πτητικά (εξαερώσιμα) στερεά (VSS) και ανόργανα (αδρανή, σταθερά ή μη εξαερώσιμα) στερεά (FS).

Τα αιωρούμενα στερεά έχουν μεγάλη σημασία στη ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος διότι κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο φορέα συσσωρεύονται στον πυθμένα δημιουργώντας στρώμα λάσπης και ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες για το οικοσύστημα του φορέα (Μαρκαντωνάτος, 1990).

2.1.4.2 Οργανικά συστατικά

Τα κυριότερα οργανικά συστατικά των αστικών αποβλήτων είναι τα ακόλουθα (Metcalf & Eddy, 2007):

- *Πρωτεΐνες*. Είναι μακρομοριακές ασταθείς ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από άνθρακα, οξυγόνο, άζωτο και υδρογόνο που αποσυντίθενται εύκολα από τους μικροοργανισμούς.
- *Υδρογονάνθρακες*. Ονομάζονται οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν μόνο υδρογόνο και άνθρακα.
- *Λιπίδια*. Αποτελούν συστατικά των τροφών του ανθρώπου. Είναι ενώσεις που αποτελούνται κυρίως από υδρογονάνθρακες, οι οποίες δεν διαλύονται στη μάζα των αποβλήτων. Τα πιο σημαντικά λιπίδια είναι τα λάδια και τα λίπη. Η τυπική σύσταση των αστικών αποβλήτων είναι 10% λιπίδια, 25 - 50% υδρογονάνθρακες και 40 - 60% πρωτεΐνες.
- *Φαινόλες*. Εμπεριέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα. Δεν διασπώνται από τους μικροοργανισμούς σε μεγάλες συγκεντρώσεις (> 500mg /L).
- *Επιφανειακά ενεργές ουσίες*. Εμπεριέχονται στα αστικά απόβλητα ως συστατικά των απορρυπαντικών, σαπουνιών κλπ. Είναι μακρομοριακές ενώσεις διαλυτές στη μάζα των αποβλήτων και δρουν στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού του αέρα δημιουργώντας αφρούς. Ορισμένες δεν διασπώνται από μικροοργανισμούς, ενώ άλλες είναι τοξικές.

2.1.4.3 Ανόργανα συστατικά

2.1.4.3.1 Άζωτο

Το άζωτο (N) είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζώντων οργανισμών και περιέχεται στα αστικά απόβλητα στις παρακάτω μορφές:

- Οργανικό N (πρωτεΐνες, ουρία, αμινοξέα)
- Αμμωνιακό N (άλατα NH_4^+ ή NH_3)

Οι κύριες μετατροπές που υφίστανται οι παραπάνω μορφές N κατά τη διοχέτευσή τους σε κάποιο υδάτινο φορέα ή στις διαδικασίες επεξεργασίας είναι οι παρακάτω:

- Μετατροπή του οργανικού N σε αμμωνιακό N από αερόβια ή αναερόβια βακτηρίδια
- Οξείδωση του αμμωνιακού N σε NO_2 από ειδικά αερόβια νιτροποιητικά βακτηρίδια.
- Περαιτέρω οξείδωση των NO_2 σε NO_3^- από ειδικά αερόβια νιτροποιητικά βακτηρίδια.
- Αναγωγή των NO_3^- σε NO_2^- και τελικά σε NH_3 και N_2 από αερόβια - αναερόβια βακτηρίδια. Η αναγωγή γίνεται κυρίως σε αέριο N_2 σε αναερόβιες συνθήκες και σε μικρό ποσοστό σε NH_3 (Metcalf & Eddy, 2007).

Η διοχέτευση αποβλήτων που περιέχουν αμμωνιακό άζωτο σε ένα υδάτινο φορέα δημιουργεί απαίτηση οξυγόνου για την οξείδωσή του σε NO_2^- και NO_3^- υπό ορισμένες συνθήκες. Επίσης η NH_3 είναι τοξική για τα ιχθυρά, ενώ το NO_3 χρησιμοποιείται από τα άλγη και διάφορα υδρόβια φυτά για την ανάπτυξή τους. Έτσι μεγάλες συγκεντρώσεις αζώτου σε υδάτινους φορείς, σε συνδυασμό με την παρουσία φωσφόρου, μπορεί να οδηγήσουν σε κατάσταση που ευνοεί την υπερβολική ανάπτυξη των αλγών και των διαφόρων υδρόβιων φυτών (ευτροφισμός), με αποτέλεσμα το φράξιμο του φορέα (σε ποταμό), εμφάνιση επιπλεόντων, αύξηση της θολότητας, αδυναμία χρήσης του νερού για ύδρευση, δημιουργία αισθητικών προβλημάτων (έντομα, οσμές), συσσώρευση αλγών στις ακτές, κλπ (Metcalf & Eddy, 2007).

Στις διαδικασίες επεξεργασίας το άζωτο έχει μεγάλη σημασία γιατί αποτελεί μια από τις κυριότερες θρεπτικές ουσίες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών που χρησιμοποιούνται στις βιολογικές διαδικασίες. Γενικά στα αστικά απόβλητα υπάρχει

σε επαρκείς ποσότητες, ενώ για πολλά βιομηχανικά απόβλητα πρέπει να προστίθεται. Σε ορισμένες μονάδες βιολογικής επεξεργασίας όπου οι συνθήκες ευνοούν τη μετατροπή της NH_3 σε NO_3^- με την ταυτόχρονη κατανάλωση οξυγόνου (νιτροποίηση) πρέπει να εξασφαλίζεται η παροχή πρόσθετης ποσότητας οξυγόνου, επί πλέον αυτής που είναι απαραίτητη για την οξείδωση των οργανικών ουσιών (BOD). Σε αντίθετη περίπτωση καταναλώνεται το οξυγόνο για τη νιτροποίηση με αποτέλεσμα να μην επαρκεί για την απαιτούμενη απομάκρυνση των οργανικών ουσιών. Στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου οι συνθήκες μπορεί να ευνοούν τη διαδικασία της απονιτροποίησης, δημιουργείται πρόβλημα επίπλευσης των στερεών, που προσκολλώνται στο αέριο άζωτο που απελευθερώνεται. Στη διαδικασία της χλωρίωσης η παρουσία NH_3 οδηγεί στο σχηματισμό χλωραμινών, που μειώνουν την απόδοση της χλωρίωσης αλλά και τη συγκέντρωση της NH_3 στην εκροή. Η απομάκρυνση του αζώτου στα στάδια επεξεργασίας γίνεται συνήθως σε ειδικό στάδιο με βάση τις διαδικασίες της νιτροποίησης - απονιτροποίησης (Neis et al., 2001 ; Pirkonen, 2001).

Χρησιμοποιείται ως παράμετρος ρύπανσης αλλά και σχεδιασμού ορισμένων μονάδων επεξεργασίας (Marthur et al., 1989).

2.1.4.3.2 Φώσφορος

Ο φώσφορος (P) είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζώντων οργανισμών και περιέχεται στα απόβλητα στις παρακάτω μορφές (Metcalf & Eddy, 2007):

- Ανόργανος φώσφορος ως ορθοφωσφορικά (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$) και λιγότερο ως πολυφωσφορικά ($\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$, $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$).
- Οργανικός φώσφορος, σε μικρότερες ποσότητες απ' ότι ο ανόργανος.

Τα πολυφωσφορικά σε υδατικό διάλυμα υδρολύονται σε ορθοφωσφορικά, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν απ' ευθείας από διάφορους μικροοργανισμούς. Η διοχέτευση αποβλήτων που περιέχουν φώσφορο σε έναν υδάτινο φορέα ευνοεί, σε συνδυασμό με την παρουσία αζώτου, το φαινόμενο του ευτροφισμού. Σημειώνεται ότι ο φώσφορος αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα του φαινομένου του ευτροφισμού και έτσι η απομάκρυνσή του από τα απόβλητα έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία, ιδίως λόγω της αυξανόμενης χρήσεώς του στην παραγωγή απορρυπαντικών (Marthur et al., 1989).

Στις διαδικασίες επεξεργασίας ο φώσφορος είναι απαραίτητος στους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στις βιολογικές διαδικασίες και στα αστικά απόβλητα βρίσκεται σε επαρκείς ποσότητες. Στις βιολογικές διαδικασίες τα πολυφωσφορικά μετατρέπονται σε ορθοφωσφορικά και έτσι η εκροή των εγκαταστάσεων επεξεργασίας περιέχει κυρίως ορθοφωσφορικά (σε ποσοστό περίπου 80%) (Marthur et al., 1989).

2.1.4.4 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται σε αερόβιες συνθήκες από μικροοργανισμούς για την οξείδωση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Η διαδικασία της οξείδωσης είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται περίπου σε 20 ημέρες (οξείδωση σε τελικά προϊόντα 95 - 99%), οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD. Στη συνηθισμένη πρακτική έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD₅) εντός των οποίων οξειδώνονται οι απλές οργανικές ουσίες που αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό 60 - 70% των συνολικών οργανικών ουσιών (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Τα απόβλητα περιέχουν και οργανικά αμμωνιακά συστατικά που οξειδώνονται σε νιτρώδη και νιτρικά από ειδικά νιτροποιητικά βακτηρίδια με σχετικά αργό ρυθμό. Η οξείδωση αυτή (νιτροποίηση) αρχίζει να γίνεται σημαντική μετά από 8-12 ημέρες, όταν τα νιτροποιητικά βακτηρίδια έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλους σχετικά αριθμούς. Το BOD που εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την αερόβια βιολογική οξείδωση των αμμωνιακών οργανικών συστατικών λέγεται BOD δευτέρου σταδίου (Metcalf & Eddy, 2007).

Ο πειραματικός προσδιορισμός του BOD γίνεται με την τοποθέτηση δείγματος αποβλήτων σε ειδικές φιάλες μέσα σε ειδική συσκευή κάτω από κατάλληλες συνθήκες και τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που καταναλώνεται σε ορισμένα χρονικά διαστήματα (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Με τη μέτρηση του BOD σε διάφορα χρονικά διαστήματα είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ρυθμού καταναλώσεως των οργανικών ουσιών, αλλά και του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς, κάτι το οποίο δεν γίνεται με τις άλλες παραμέτρους μετρήσεως των οργανικών συστατικών των αποβλήτων. Η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του BOD είναι σχετικά απλή, αλλά

χρονοβόρα, και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται δεν ανταποκρίνονται πλήρως στην πραγματικότητα (π.χ. διαφορετικά είδη μικροοργανισμών, διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος) (Metcalf & Eddy, 2007).

2.1.4.5 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο) σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό σε όξινες συνθήκες (Μαρκαντωνάτος, 1990).

Κατά τον προσδιορισμό του COD που γίνεται σε ειδική συσκευή οξειδώνονται όλες οι οργανικές ουσίες, ανεξάρτητα από το εάν είναι βιοδιασπάσιμες ή όχι. Οπότε οι βιοδιασπάσιμες οργανικές ουσίες καθώς και ο ρυθμός διασπάσεώς τους δεν προσδιορίζονται από το COD.

Το βασικό πλεονέκτημα του COD είναι ο σχετικά γρήγορος προσδιορισμός του (περίπου 3 ώρες). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα χρησιμοποίησης του COD, όταν συσχετίζεται με το BOD, ως παραμέτρου ελέγχου της λειτουργίας μιας μονάδας επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, καθώς και για τη διαπίστωση όσον αφορά την ύπαρξη τοξικών και δύσκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ουσιών στα απόβλητα (Μαρκαντωνάτος, 1990).

2.1.4.6 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι γενικά μεγαλύτερη από εκείνη του πόσιμου νερού γιατί επηρεάζεται από τα θερμά απόβλητα κατοικιών, βιομηχανιών κλπ. Συνήθως κυμαίνεται από 10 – 22°C και είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος το μεγαλύτερο μέρος του έτους, με εξαίρεση τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού (Metcalf & Eddy, 2007).

Η θερμοκρασία των αποβλήτων είναι ένας ρυθμιστικός παράγοντας του βιολογικού και χημικού χαρακτήρα τους. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει (Metcalf & Eddy, 2007):

- Ανάπτυξη των μικροοργανισμών που ευνοούνται από υψηλές θερμοκρασίες.
- Επιτάχυνση των βιολογικών διεργασιών.

- Μείωση της διαλυτότητας των αερίων στη μάζα των αποβλήτων, κυρίως του οξυγόνου.
- Επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων.

Η διοχέτευση θερμών αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί σε σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του φορέα, τόσο λόγω της μειωμένης διαλυτότητας του οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες, όσο και λόγω του αυξημένου ρυθμού καταναλώσεώς του στις βιολογικές διεργασίες, αλλά και επιδρά αρνητικά στο οικοσύστημα του φορέα προκαλώντας το θάνατο ωφέλιμων οργανισμών καθώς και την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών (Metcalf & Eddy, 2007).

2.1.4.7 Χρώμα

Το χρώμα είναι ενδεικτικό της ηλικίας και προέλευσης των αποβλήτων. Απόβλητα που δεν έχουν υποστεί σήψη έχουν γκριζο χρώμα, ενώ εκείνα που έχουν υποστεί σήψη έχουν μαύρο χρώμα. Η αλλαγή του χρώματος οφείλεται στην κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς που διασπούν τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων. Άλλοι χρωματισμοί των αποβλήτων είναι πιθανόν να οφείλονται στην παρουσία χρωστικών ουσιών από βιομηχανικά απόβλητα. Η παρουσία χρωστικών ουσιών στα απόβλητα πρέπει να αποφεύγεται διότι δημιουργεί αισθητικά προβλήματα στους αποδέκτες, ανεξαρτήτως άλλων βλαβών που δύναται να δημιουργηθούν (Marthur et al., 1989).

2.1.4.8 Οσμή

Η οσμή των αποβλήτων είναι ενδεικτικό στοιχείο της κατάστασής τους. Απόβλητα τα οποία δεν έχουν υποστεί σήψη έχουν ελαφρά δυσάρεστη οσμή, ενώ εκείνα που έχουν υποστεί σήψη έχουν πολύ δυσάρεστη οσμή, η οποία οφείλεται στην έκλυση υδρόθειου. Στη δημιουργία δυσάρεστων οσμών συμβάλλουν και ουσίες από βιομηχανικά απόβλητα, κυρίως οργανικές (όπως φαινόλες, χλωροφαινόλες κλπ). Η έκλυση δυσάρεστων οσμών έχει λιγότερο φυσιολογικές και περισσότερο ψυχολογικές επιδράσεις στον άνθρωπο. Η ποσοτική εκτίμηση των οσμών με αντικειμενικές μεθόδους είναι δύσκολη (Μαρκαντωνάτος, 1990).

2.1.4.9 Αλκαλικότητα

Η αλκαλικότητα οφείλεται στην παρουσία ιόντων HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- τα οποία σχηματίζουν ενώσεις με τα Ca, Mg, Na, K, NH_4^+ . Η παρουσία των παραπάνω ιόντων στα αστικά απόβλητα οφείλεται στο πόσιμο νερό καθώς και στις εισροές στο αποχετευτικό σύστημα.

Η αλκαλικότητα των αποβλήτων είναι σημαντική παράμετρος γιατί ρυθμίζει το pH των αποβλήτων και κατά συνέπεια επηρεάζει διάφορες διεργασίες επεξεργασίας. Η αλκαλικότητα εκφράζεται συνήθως ως mg/L CaCO_3 (ppm= mg/L) (Jorgensen & Johnsen, 1989).

2.1.4.10 pH

Το pH είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων, από το οποίο εξαρτάται πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο υδάτινο περιβάλλον. Οι αυξομειώσεις του μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις διεργασίες αυτές δημιουργώντας ανεπιθύμητες καταστάσεις.

Το pH επηρεάζει σχεδόν όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας (χημική και βιολογική επεξεργασία, επεξεργασία ιλύος, απολύμανση κλπ.) και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα φθοράς σε αγωγούς, μηχανολογικό εξοπλισμό κ.α.

Επειδή πολλές διαδικασίες απαιτούν συγκεκριμένες τιμές pH για τη βέλτιστη απόδοσή τους, κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχός του τόσο στο στάδιο σχεδιασμού όσο και κατά τη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας (Metcalf & Eddy, 2007).

2.1.4.11 Χλωριούχα

Τα χλωριούχα προέρχονται στα αστικά απόβλητα από το πόσιμο νερό, τα ανθρώπινα απόβλητα αλλά και από ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα.

Η διοχέτευσή τους σε έναν υδάτινο φορέα γενικά δεν δημιουργεί πρόβλημα ρύπανσης. Η παρουσία τους σε μεγάλες συγκεντρώσεις, και όταν το νερό του φορέα χρησιμοποιείται για ύδρευση, δίνει στο νερό υφάλμυρη γεύση.

Στις διαδικασίες επεξεργασίας, η μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου είναι η κύρια επίδραση της παρουσίας των χλωριούχων στα απόβλητα. Επί πλέον,

επιηρεάζει τον προσδιορισμό του COD και συνεπώς πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν (Marthur et al., 1989).

2.1.4.12 Μικροβιολογία ενεργού ιλύος

Η ενεργός ιλύς είναι ένα σύνθετο οικολογικό σύστημα, που αποτελείται από διάφορα είδη μικροοργανισμών, όπως βακτήρια (*bacteria*), μύκητες (*fungi*), πρωτόζωα (*protozoa*), τροχόζωα (*rotifers*) και νηματώδη (*nematodes*). Η επιλογή των μικροοργανισμών που θα επικρατήσουν σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος βασίζεται σε τρία κύρια κριτήρια. Το πρώτο αφορά την ικανότητα των μικροοργανισμών να σχηματίζουν βιοκροκίδες. Με τον τρόπο αυτό οι μικροοργανισμοί παραμένουν στο σύστημα μέσω της ανακυκλοφορούσας ιλύος. Το δεύτερο κριτήριο είναι: ο ρυθμός ανάπτυξης να είναι μεγαλύτερος σε σχέση με το ρυθμό απομάκρυνσης των στερεών από τη μονάδα, ενώ το τρίτο η προσαρμογή τους στις εκάστοτε περιβαλλοντικές συνθήκες (Jenkins et al., 1993).

Τα κυριότερα είδη βακτηρίων που συναντούνται στην ενεργό ιλύ είναι αερόβια, ετερότροφα, ανήκουν στα γένη *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Zooglea* και χαρακτηρίζονται ως βακτήρια που παρουσιάζουν την τάση σχηματισμού βιοκροκίδων (*floc-forming bacteria*). Τα βακτήρια στην ενεργό ιλύ παρουσιάζονται επίσης ως ελεύθερα, διεσπαρμένα βακτήρια (*free swimming bacteria*) και ως νηματοειδή βακτήρια (*filamentous bacteria*) (Bitton, 1999).

Η επικράτηση ενός είδους βακτηρίων εξαρτάται από τη φύση των αποβλήτων, το pH, τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και θρεπτικών, καθώς και από το φορτίο και την ηλικία της ιλύος. Η ύπαρξη συνθηκών αφθονίας υποστρώματος ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων με υψηλότερους ρυθμούς αύξησης (*fast-growing bacteria*), ενώ εμποδίζει την επικράτηση μικροοργανισμών ανώτερων τροφικών επιπέδων (πρωτόζωα, τροχόζωα) ή βακτηρίων με μικρότερους ρυθμούς αύξησης (*slow-growing bacteria*), όπως είναι τα νιτροποιά βακτήρια *Nitrosomonas spp.* και *Nitrobacter spp.*

Οι μύκητες σπάνια εμφανίζονται ως κυρίαρχος πληθυσμός σε μονάδες ενεργού ιλύος. Ανταγωνίζονται τα βακτήρια σε τιμές pH μικρότερες του 6 και η παρουσία τους στη διεργασία της ενεργού ιλύος αποτελεί δείκτη τοξικής φόρτισης.

Τα κυριότερα είδη μυκήτων, που απαντώνται σε συστήματα ενεργού ιλύος είναι τα *Geotrichium candidum* και *Trichosporon sp.* (Gray, 1990).

Τα πρωτόζωα είναι μονοκύτταροι, ετεροτροφικοί, αερόβιοι μικροοργανισμοί, μεγέθους 5-500 μm και αποτελούν σημαντικό ποσοστό της συνολικής βιομάζας σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος. Επηρεάζουν την απόδοση της διεργασίας καθώς δρουν ως θηρευτές ελεύθερων βακτηρίων και αιωρούμενου οργανικού υλικού, ενώ παράλληλα εκκρίνουν πολυσακχαρίτες που ευνοούν το σχηματισμό των βιοκροκίδων. Οι κυριότερες κατηγορίες πρωτόζωων στην ενεργό ιλύ είναι τα μαστιγοφόρα (*flagellates*), οι αμοίβες (*amoebae*) και τα βλεφαριδοφόρα (*ciliates*), ελεύθερα ή προσκολλημένα. Η ύπαρξη ισόρροπης ανάπτυξης μεταξύ ελεύθερων και προσκολλημένων βλεφαριδοφόρων υποδεικνύει ικανοποιητική λειτουργία της διεργασίας. Αντίθετα, υπεραφθονία μαστιγοφόρων, αμοιβών, ελεύθερων βλεφαριδοφόρων ή υπεραφθονία προσκολλημένων βλεφαριδοφόρων υποδεικνύουν συνθήκες υψηλής και χαμηλής οργανικής φόρτισης, αντίστοιχα (Jenkins et al., 1993).

Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος των πρωτόζωων, ως βιο-δείκτες (*bio-indicators*) σε περιπτώσεις παρουσίας τοξικών ουσιών στα εισερχόμενα λύματα. Η παρουσία τοξικών ουσιών επιβραδύνει αρχικά την κίνηση των βλεφάρων στα βλεφαριδοφόρα. Στη συνέχεια, τη θέση τους στο οικοσύστημα της ενεργού ιλύος καταλαμβάνεται από μαστιγοφόρα και μικρά ελεύθερα βλεφαριδοφόρα, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις επέρχεται θάνατος και λύση όλων των ειδών (Jenkins et al., 1993).

Τα τροχόζωα και οι νηματώδεις είναι πιο σύνθετοι οργανισμοί από τους προαναφερθέντες, με μέγεθος 50-500 μm. Οι νηματώδεις εμφανίζουν χρόνους διπλασιασμού σημαντικά υψηλότερους από τις ηλικίες ιλύος συμβατικών μονάδων ενεργού ιλύος, με συνέπεια ο ρόλος τους στη βακτηριακή θήρευση και στην αποδόμηση της ενεργού ιλύος να είναι μικρός. Σε αντίθεση, τα τροχόζωα ανιχνεύονται συχνότερα σε μονάδες ενεργού ιλύος. Συμβάλλουν στη θραύση των μεγάλων βιοκροκίδων και στη βελτίωση της ποιότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων μέσω θήρευσης των ελεύθερων βακτηριδίων και έκκρισης κολλοειδών ουσιών που συνεισφέρουν στη βιοκροκίδωση (Gray, 1990).

2.2 Τεχνολογία των υπερήχων

2.2.1 Οξείδωση με υπερήχους

Ο κλάδος που ασχολείται με την επίδραση των έντονων ηχητικών κυμάτων σε υγρά, ονομάζεται Ηχοχημεία. Η ορολογία συμφωνεί με αυτή των ήδη υπάρχουσών τεχνικών που χρησιμοποιούν φως (φωτοχημεία) και ηλεκτρισμό (ηλεκτροχημεία) για να επιτευχθεί χημική ενεργοποίηση. Σε αντίθεση με τις τεχνικές αυτές η Ηχοχημεία δεν απαιτεί κάποιο συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του συστήματος που θα ενεργοποιηθεί π.χ. την παρουσία χρωμοφόρου ή αγώγιμου μέσου αντίστοιχα (Elriner, 1964).

Για χημικές εφαρμογές, οι υπέρηχοι απαιτούν μόνο την παρουσία ενός υγρού μέσου στο οποίο θα μπορούν να σχηματίσουν σπηλαίωση ώστε να μεταδώσουν την ισχύ τους. Επιπρόσθετα, η Ηχοχημεία παρουσιάζεται ως μια από τις πρώτες επιλογές όταν αναφερόμαστε σε νέες τεχνολογίες σε μια πληθώρα πεδίων ως βοηθητική επεξεργασία στη διατήρηση ενέργειας και στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, γιατί αποτελεί κλάδο της πράσινης χημείας και έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Χρήση περιβαλλοντικά φιλικών διαλυτών και λιγότερο επικίνδυνων χημικών ουσιών.
- Ανάπτυξη συνθηκών αντίδρασης με σκοπό την αύξηση της εκλεκτικότητας.
- Ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας και των χημικών μετατροπών.
- Χρήση εναλλακτικών ή ανανεώσιμων πρώτων υλών.

Για την καλύτερη κατανόηση της αρχής λειτουργίας των υπερήχων θα πρέπει να αναφερθούν ορισμένες έννοιες, που θεωρούνται απαραίτητες. Ο ήχος μεταφέρεται σε ένα μέσο με πρόκληση παλμικής κίνησης των μορίων τα οποία κινούνται μέσα στο μέσο αυτό. Η κίνηση μπορεί να απεικονιστεί (γίνει ορατή) όπως τον κυματισμό που δημιουργείται όταν ένα χαλίκι πέφτει σε μια γαλήνια λίμνη. Τα κύματα κινούνται αλλά τα μόρια του νερού, που αποτελούν το κύμα, επανέρχονται στην κανονική τους θέση αφού περάσει το κύμα (Elriner, 1964).

Ο τόνος (ή η νότα) του ήχου που παράγεται από αυτή τη σειρά κυμάτων εξαρτάται από τις συχνότητές τους, ο αριθμός των κυμάτων που περνάνε από ένα καθορισμένο σημείο στη μονάδα του χρόνου. Στη φυσική τα κύματα ήχου αναπαρίστανται ως σειρά κάθετων γραμμών ή σκιασμένων χρωμάτων κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης των γραμμών ή η ένταση του χρώματος παριστάνουν την

ένταση του ήχου ή ως ημιτονοειδές κύμα όπου η ένταση φαίνεται από το πλάτος (Hedrick et al., 1995).

Οι φυσικές επιδράσεις των παλμικών ήχων γίνονται καλύτερα κατανοητές όταν βρισκόμαστε μπροστά σε ένα ηχείο που παίζει δυνατά μουσική. Ο ήχος μεταφέρεται μέσω του αέρα και όχι μόνο τον ακούμε αλλά τον αισθανόμαστε στο σώμα μας μέσω της επιδερμίδας. Οι ήχοι χαμηλών συχνοτήτων μπορούν να γίνουν ακουστοί περίπου στα 18Watt (1Watt = 1Herz = 1 κύκλος ανά δευτερόλεπτο) αλλά όσο οι ισχύς αυξάνονται (γίνονται πιο υψηλοί οι τόνοι) είναι δυσκολότερο για το σώμα να ανταποκριθεί και αυτή η αίσθηση χάνεται (Hedrick et al., 1995).

Οι ήχοι υψηλών συχνοτήτων, ενώ δεν προκαλούν εμφανείς επιδράσεις στο σώμα, προκαλούν σοβαρές ενοχλήσεις στην ακοή π.χ. ο ήχος μικρόφωνου από το ηχείο. Σε ακόμη υψηλότερες ισχύς το αντί δυσκολεύεται να ανταποκριθεί και τελικά η ανθρώπινη ακοή κυμαίνεται φυσιολογικά περίπου στα 18Hz - 20kWatt για τους ενήλικες, οι ήχοι πάνω από αυτό το όριο δεν είναι ακουστοί και ορίζονται ως υπέρηχοι. Η ευρεία κατάταξη των υπερήχων ως ήχοι με ισχύς πάνω από 20 kWatt και μέχρι 100MHz μπορεί να γίνει σε δυο ευδιάκριτες περιοχές τους ισχυρούς και τους διαγνωστικούς. Οι ισχυροί υπέρηχοι παράγονται σε χαμηλότερες ισχύς κατά συνέπεια να παράγεται μεγαλύτερη ακουστική ενέργεια ώστε να προκληθεί σπηλαιώση, οι οποίες είναι η πηγή των χημικών αποτελεσμάτων. Η Ηχοχημεία χρησιμοποιεί κυρίως ισχύς μεταξύ 20 και 40kWatt, το εύρος αυτό χρησιμοποιείται σε κοινούς εργαστηριακούς εξοπλισμούς. Πρόσφατες έρευνες στην Ηχοχημεία χρησιμοποιούν ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων (20-40kWatt) καθώς οι ακουστική σπηλαιώση σε ένα υγρό μπορεί να παραχθεί και πάνω από αυτές τις ισχύς,. Υψηλές ισχύς υπερήχων περίπου στην περιοχή των 5MHz και πάνω δεν μπορούν να δημιουργήσουν σπηλαιώση και η περιοχή αυτή χρησιμοποιείται για ιατρικές αναπαραστάσεις.

Συμπερασματικά οι ήχοι διαδίδονται μέσω μιας σειράς συμπίεσης και εκτόνωσης κυμάτων εισαγομένων στα μόρια του μέσου από το οποίο περνάνε. Σε ικανοποιητικά υψηλή ισχύ ο κύκλος εκτόνωσης μπορεί να υπερβεί της ελκτικές δυνάμεις των μορίων του υγρού και να σχηματιστούν κοίλες φυσαλίδες. Όταν η σπηλαιώση καταστραφεί σε επιτυχείς κύκλους συμπίεσης παράγει την ενέργεια για χημικά και μηχανικά αποτελέσματα (Hedrick et al., 1995).

2.2.2 Αρχή λειτουργίας υπερήχων

Τα υπερηχητικά κύματα είναι όπως και οι ακουστικοί ήχοι μηχανικά κύματα που διαδίδονται μέσω της ύλης. Η πηγή παραγωγής και ανίχνευσης τους είναι ένα σύνθετο πιεζοηλεκτρικό κεραμικό (Hall & Nina, 2000).

Τα παραγόμενα υπερηχητικά κύματα μεταδίδονται κατακόρυφα στην επιφάνεια. Τα κύματα αλληλεπιδρούν με το υγρό μέσο για να προκαλέσουν διασπάσεις (καταστροφές, συντριβές) κοιλοτήτων. Υπερηχητικά κύματα υψηλής έντασης σχηματίζουν μικροφουσαλίδες ατμού / κενού στο υγρό μέσο, οι οποίες αυξάνονται μέχρι ένα μέγιστο μέγεθος ανάλογο της εφαρμοζόμενης ισχύος και στη συνέχεια καταστρέφονται απελευθερώνοντας την ενέργειά τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς, τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος της κοιλότητας. Το αθροιστικό αποτέλεσμα εκατομμυρίων συνεχών μικροσκοπικών διασπάσεων σε ένα υγρό μέσο προσφέρει την απαραίτητη μηχανική ενέργεια για τη φυσική διάσπαση των δεσμών των ρύπων, για την επιτάχυνση της λύσης των χημικών δεσμών τους και για την αύξηση της διαλυτοποίησης των ιονικών ρύπων. Η χημική σύνθεση του μέσου αποτελεί σημαντικό παράγοντα της επιτάχυνσης του ρυθμού απομάκρυνσης των διαφόρων ρύπων (Παταρούδη & Μπατσίλα, 2005).

Οι βραχύβια σπηλαίωση, με εύρος διαμέτρου 50–150μm και 25kWatt, παράγονται κατά τη διάρκεια ηχητικών κυμάτων μισού κύκλου. Κατά τη διάρκεια της φάσης εκτόνωσης των ηχητικών κυμάτων, τα μόρια του υγρού εκτείνονται εξωτερικά (προς τα έξω) εναντίον και πέρα από τις φυσικές ιδιότητες του υγρού (φυσική ελαστικότητα, συναρμογή, ελκτικές δυνάμεις) δημιουργώντας πυρήνες κενού που συνεχίζουν να αυξάνονται. Η βίαιη διάσπαση γίνεται κατά τη διάρκεια της φάσης συμπίεσης του κύματος. Πιστεύεται ότι η τελευταία φάση μεγαλώνει (αυξάνεται) από την ενθαλπία του μέσου και από το βαθμό κινητικότητας των μορίων, όσο και από την υδροστατική πίεση του μέσου. Η σπηλαίωση παράγεται σε χρόνους της τάξης των μsec (Fringuelli & Taticchi, 2002).

2.2.3 Συσκευές παραγωγής υπερήχων

Οι πρώτες έρευνες της Ηχοχημείας σχετίζονταν με την πηγή των υπερήχων, τον μετατροπέα, ο οποίος αποτελεί το βασικό τμήμα της συσκευής υπερήχων. Η ενέργεια για την παραγωγή των υπερήχων δίνεται μέσω του υπερηχητικού μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει την μηχανική και την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια ήχων (Kato et al., 1998).

Ο τύπος μετατροπέα που χρησιμοποιούν οι περισσότερες συσκευές σήμερα είναι ο πιεζοηλεκτρικός και σ' αυτόν θα αναφερθούμε εκτενέστερα. Οι μετατροπείς αυτοί περιέχουν ένα υλικό, που ονομάζεται πιεζοηλεκτρικό, το οποίο έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει τις διαστάσεις του με κάθε μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος και αντίστροφα.

Το υλικό αυτό στην ουσία είναι ένα κομμάτι πολωμένου υλικού (δηλαδή ορισμένα τμήματα του μορίου του είναι θετικά φορτισμένα, ενώ άλλα είναι αρνητικά φορτισμένα) με δυο ηλεκτρόδια προσαρτημένα σε δυο αντίθετες πλευρές του. Όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα τα πολωμένα μόρια προσανατολίζονται στο ηλεκτρικό πεδίο, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται τα δίπολα στη μοριακή ή κρυσταλλική δομή του υλικού. Ο προσανατολισμός των μορίων επιφέρει αλλαγή στις διαστάσεις του υλικού. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως ηλεκτροσυστολή. Επιπρόσθετα, μόνιμα πολωμένα υλικά όπως ο χαλαζίας (SiO_2) και το τιτανικό βάριο (BaTiO_3) παράγουν ηλεκτρικό πεδίο όταν αλλάξουν οι διαστάσεις του υλικού ως αποτέλεσμα της επιβολής μηχανικής δύναμης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται πιεζοηλεκτρικό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τα πιεζοηλεκτρικά κεραμικά, που μπορεί να κοπούν με διάφορους τρόπους ώστε να παράγουν διαφορετικό τύπο κυμάτων. Το πάχος του υλικού καθορίζεται από την επιθυμητή ισχύς του μετατροπέα και όσο μεγαλύτερη ισχύς απαιτείται, τόσο λεπτότερο θα πρέπει να είναι το υλικό του μετατροπέα (Pugin & Turner, 1990).

Η πιο κοινή μορφή μετατροπέα είναι ένας δίσκος με μια τρύπα στη μέση. Στους ισχυρούς μετατροπείς ενώνονται δύο πιεζοηλεκτρικοί δίσκοι, που έχουν ως στόχο αφ' ενός να προστατεύουν το λεπτό κρυσταλλικό υλικό και αφ' ετέρου να εμποδίζουν την υπερθέρμανση του.

Εφόσον παραχθούν οι υπέρηχοι, με τη χρήση των μετατροπέων, το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή τους στο αντιδρών σύστημα. Για την εισαγωγή των υπερήχων στο αντιδρών σύστημα υπάρχουν τρεις τρόποι και από αυτούς μόνο οι δυο χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε χημικά εργαστήρια. Οι μέθοδοι εισαγωγής υπερήχων σε ένα σύστημα είναι οι εξής:

- Εμβάπτιση του αντιδραστήρα σε δεξαμενή με υγρό που υποβάλλεται σε υπερήχους (π.χ. φιάλη βυθισμένη σε λουτρό καθαρισμού).
- Εμβάπτιση πηγής υπερήχων απευθείας στο αντιδρών μέσο (π.χ. τοποθέτηση probe σε δοχείο αντίδρασης).

- Χρήση αντιδραστήρα που έχει κατασκευαστεί με υπερηχητικά παλλόμενα τοιχώματα (π.χ. σωλήνας που λειτουργεί μέσω ακτινωτών παλμών) (Neis et al., 2001).

2.2.4 Λουτρό υπερήχων

Το λουτρό υπερήχων είναι από παλιά ευρέως διαθέσιμη και φθηνή πηγή υπερήχων για τα χημικά εργαστήρια. Παρόλο που είναι πιθανή η χρήση του ίδιου του λουτρού ως δοχείο αντίδρασης αυτό σπάνια συμβαίνει λόγω των προβλημάτων που σχετίζονται με χημικές αλληλεπιδράσεις των τοιχωμάτων του λουτρού και παραγόμενων ατμών και αερίων που παραμένουν στο δοχείο. Τυπικές χρήσεις περιλαμβάνουν τη βύθιση γυάλινων δοχείων αντίδρασης στο λουτρό. Αυτό αποτελεί σημαντική εφαρμογή, καθώς οι συμβατικές συσκευές μπορούν να μεταφερθούν απευθείας στο λουτρό και να επιτευχθεί αδρανής ατμόσφαιρα ή σταθερή πίεση και να διατηρηθεί κατά τη διάρκεια μιας αντίδρασης Ηχοχημείας (Pirkonen, 2001).

Είναι σημαντικό να βρεθεί η βέλτιστη θέση για το δοχείο αντίδρασης μέσα στο λουτρό τόσο κάθετα, εξαιτίας του διακριτού μήκους κύματος του ήχου στο νερό όσο και οριζόντια, ανάλογα με τον μετατροπέα στη βάση. Η απλούστερη μέθοδος είναι να τοποθετηθεί το δοχείο εκεί που παρατηρείται μέγιστη αναταραχή στην επιφάνεια του υγρού που περιέχει τη φιάλη (Jorgensen & Johnsen, 1989).

Για την αύξηση της ισχύος των υπερήχων που απαιτείται σε μια αντίδραση είναι επιθυμητό να εισάγεται η ενέργεια απευθείας στο σύστημα παρά να βασίζεται στη μεταφορά μέσω του νερού της δεξαμενής και των τοιχωμάτων του δοχείου αντίδρασης. Η απλούστερη μέθοδος είναι να εισαγάγουμε το υπερηχητικά παλλόμενο άκρο ενός ηχητικού probe στο δοχείο αντίδρασης (Elpiner, 1964).

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συστήματος probe έναντι του λουτρού παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος probe (Elrpiner, 1964).

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Έλεγχος της ισχύος των υπερήχων που μεταφέρονται στο σύστημα	Ακριβότερο
Μέγιστη ισχύς	Λιγότερο εύχρηστο
Παρέχει ανάμιξη του διαλύματος	Διάβρωση μεταλλικών μερών με κίνδυνο αφ' ενός την επιμόλυνση του συστήματος και αφ' ετέρου απώλειες λόγω ελάττωσης του μεγέθους της συσκευής

2.2.5 Ασφάλεια κατά την χρήση των υπερήχων

Η έκθεση του ανθρώπου στους υπέρηχους με ισχύς μεταξύ 16 και 100kWatt μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες: αερομεταφερόμενη διεξαγωγή, άμεση επαφή μέσω ενός υγρού μέσου συζεύξεων, και άμεση επαφή με ένα δονούμενο στερεό (Marthur et al., 1989).

Ο υπέρηχος μέσω της αερομεταφερόμενης διεξαγωγής δεν εμφανίζεται να θέτει σε σημαντικό κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων. Εντούτοις, η έκθεση σε σχετικά μεγάλες ποσότητες του ευδιάκριτου ήχου μπορεί να επιφέρει ποικίλες επιπτώσεις όπως, κόπωση, πονοκέφαλους, ναυτία και εμβοή. Όταν ο υπερηχητικός εξοπλισμός χρησιμοποιείται στο εργαστήριο, οι συσκευές πρέπει να εσωκλείονται σε ένα 2cm παχύ ξύλινο κιβώτιο ή σε ένα κιβώτιο, που ευθυγραμμίζεται με ηχητικές απορροφήσεις, με αφρό ή με κεραμίδια για να μειώνουν ουσιαστικά τις υπερηχητικές εκπομπές (Marthur et al., 1989).

Η άμεση επαφή του σώματος με τα υγρά ή τα στερεά που υποβάλλονται σε μεγάλης έντασης υπερήχους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή των χημικών αντιδράσεων πρέπει να αποφεύγεται. Σε συνθήκες Ηχοχημείας όπου δημιουργείται η κοιλότητα στα υγρά, μπορεί να προκαλέσει βλάβη τους ιστούς. Η νέκρωση κυττάρων από τη διάσπαση μεμβρανών μπορεί να εμφανιστεί ακόμη και σε σχετικά χαμηλές ακουστικές εντάσεις. Η έκθεση στα ηχοχημικά δονούμενα στερεά, μπορεί να οδηγήσει και σε σοβαρά εγκαύματα (Marthur et al., 1989).

2.3 Υπέρηχοι στα απόβλητα

Η εφαρμογή της τεχνολογίας των υπερήχων είναι μία διεργασία προκατεργασίας της ενεργού ιλύος ώστε να μειωθεί η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος και να μπορεί ευκολότερα και γρηγορότερα να σταθεροποιηθεί στη διεργασία της χώνευσης.

Η ηχοβόληση της ενεργού ιλύος προκαλεί τα παρακάτω φυσικοχημικά φαινόμενα:

- Συνεχείς αραιώσεις (αρνητική πίεση) και πυκνώσεις-συμπιέσεις (θετική πίεση) με αποτελέσματα τη θραύση των βιοκροκίδων και άλλων εν αιωρήσει στερεών στο απόβλητο.
- Δημιουργία, ανάπτυξη και καταστροφή με έκρηξη (εκτόνωση σωρευμένης πίεσης) πολλαπλών μικροσκοπικών φυσαλίδων του ρευστού μεταδίδοντας κατά αυτόν τον τρόπο ενέργεια στις βιοκροκίδες ή και σε μεμονωμένους μικροοργανισμούς με αποτέλεσμα τη θραύση αυτών και την έκχυση οργανικών υλικών (άρα αύξηση του COD) στο υγρό (σπηλαιώση)
- Αύξηση της διεπιφανειακής θερμοκρασίας στα όρια του υμένα των φυσαλίδων μέχρι και 1700°C με συνέπεια τη διάσπαση σε μικροκλίμακα του οργανικού φορτίου στα όρια των φυσαλίδων
- Έντονη διατμητική τάση(διαφορά πυκνότητας-διαφορά ταλάντωσης-διεπιφανειακή τριβή).

Με την συνύπαρξη όλων των παραπάνω δράσεων,ενισχύεται η διάσπαση της βιομάζας (Neis et al., 2000).

2.3.1 Εφαρμογή υπερήχων στην αντιρρύπανση

Η αντιρρύπανση με την χρήση των υπερήχων, όπως αναλύσαμε παραπάνω, επιτυγχάνεται λόγω ηχητικών κυμάτων που εισάγονται σε ένα υγρό δια μέσου μιας σειράς μετατροπών τοποθετημένων στο δοχείο καθαρισμού. Ο ήχος «ταξιδεύει» σε όλο το δοχείο και δημιουργεί κύματα συμπίεσης και εκτόνωσης στο υγρό. Κατά το κύμα συμπίεσης, τα μόρια του υγρού συμπιέζονται, αντίθετα κατά το κύμα εκτόνωσης τα μόρια απομακρύνονται γρήγορα. Η εκτόνωση είναι τόσο έντονη που τα μόρια διαρρηγνύονται δημιουργώντας μικροσκοπικές φυσαλίδες. Οι φυσαλίδες δεν φαίνονται με γυμνό μάτι, είναι πολύ μικρές, διαρκούν για κλάσματα του δευτερολέπτου και είναι κενές. Όσο αυξάνεται η πίεση γύρω από τις φυσαλίδες, το

υγρό που τις περιβάλλει εισέρχεται στο εσωτερικό καταστρέφοντας τη φυσαλίδα πολύ γρήγορα. Όταν συμβεί αυτό, δημιουργείται ένα ακροφύσιο υγρού που μπορεί να κινείται με μεγάλους ρυθμούς. Η θερμοκρασία φτάνει τους 5000°C, που είναι κατά προσέγγιση η θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου. Αυτές οι ακραίες τιμές θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την ταχύτητα που έχει το ακροφύσιο του υγρού παρέχει ένα ισχυρό μέσο καθαρισμού σε μια μικροσκοπική περιοχή. Εξαιτίας της πολύ μικρής διάρκειας του κύκλου ανάπτυξης και διάσπασης της φυσαλίδας, το υγρό που περιβάλλει τις φυσαλίδες απορροφά ταχύτατα τη θερμότητα και η περιοχή κρυσταλλώνει γρήγορα. Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται στη χημεία και τη βιοχημεία για (Metcalf & Eddy, 2007):

- αποστείρωση
- κατεργασία αποβλήτων
- τροποποίηση της ενεργότητας των ενζύμων
- απομάκρυνση αποθέσεων και βιοφίλμ από επιφάνειες (καθαρισμός επιφανειών).

2.3.2 Επιδράσεις υπερήχων στους ρύπους

Η πηγή των αποτελεσμάτων της Ηχοχημείας είναι η δημιουργία κοιλοτήτων. Οι ισχυροί υπέρηχοι επιφέρουν μια σειρά χημικών επιδράσεων, που έχουν ως αφετηρία τους την σπηλαιώση. Τα αποτελέσματα της επίδρασης των υπερήχων στους ρύπους, τα οποία εξαρτώνται από τις συνθήκες ακτινοβολήσεως είναι (Elpiner, 1964):

- Διάσπαση του δεσμού μετάλλου - *ligand* στα σύμπλοκα μεταβατικών μετάλλων με προϊόντα συντονισμένα ακόρεστα είδη ή τροποποιημένα σύμπλοκα καθώς και πλήρη απογύμνωση από τα *ligands* με σχηματισμό άμορφων μετάλλων.
- Αλλαγή της δομής του διαλύτη μεταβάλλοντας τη διαλυτοποίηση των αντιδρώντων.
- Ηχόλυση των μορίων δηλαδή ομολυτική σχάση σε ρίζες, διάσπαση πολυμερών, δημιουργία διεγερμένων καταστάσεων, ρήξη κυττάρων.
- Τροποποίηση των ιδιοτήτων των στερεών σωματιδίων (διατμητικές δυνάμεις, ακροφύσια και κύματα κρούσης οδηγούν σε ταχεία μεταφορά μάζας, καθαρισμό επιφανειών, ελάττωση μεγέθους σωματιδίων και ενεργοποίηση μετάλλων).
- Μεταφορά μονήρων ηλεκτρονίων (SET) σε χημικές αντιδράσεις οι οποίες μπορούν να επιταχυνθούν όταν είναι πιθανή η μεταφορά ιόντος ή ηλεκτρονίου (*sonochemical switching*).

Η ακτινοβόλιση με υπερήχους εφαρμόζεται ως μια προηγμένη τεχνολογία οξειδωσης για την κατεργασία υδάτων. Οι οργανικές ενώσεις στο νερό κατά την ακτινοβόλισή τους με υπερήχους διασπώνται με διάφορους μηχανισμούς. Οι τρεις κυριότεροι που έχουν προταθεί είναι:

- Οξειδωση με ρίζες υδροξυλίου
- Πυρολυτική διάσπαση
- Αντίδραση υπερκρίσιμου νερού

Σημαντική εφαρμογή των υπερήχων αποτελεί η απορρύπανση του νερού, η οποία είναι επακόλουθο του συνδυασμού των μηχανικών αποτελεσμάτων της διάσπασης κοιλοτήτων μαζί με τη δημιουργία ελευθέρων ριζών. Κατά την έκθεση του νερού σε υπερήχους, (οι αρχικές ρίζες που σχηματίζονται είναι HO· και H·), ενώ η τύχη των ριζών αυτών είναι αρκετά περίπλοκη (Senapati, 1991).



Η ρίζα HO· είναι ιδιαίτερος δραστική και μπορεί να οξειδώσει τα περισσότερα χημικά συστατικά που είναι διαλυμένα στο νερό. Αυτή η οξειδωση είναι κυρίως υπεύθυνη για την αποικοδόμηση των οργανικών ρύπων. Άρα σημαντικός στόχος στην κατεργασία αποβλήτων αποτελεί η ικανοποιητική παραγωγή ριζών HO· Έχει αναφερθεί η χρήση υπερήχων για τη διάσπαση αραιών υδατικών διαλυμάτων οργανικών ενώσεων μικρής μοριακής μάζας (αλκοόλες, κετόνες και αλδεΐδες) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Marthur et al., 1989).

2.3.3 Υπέρηχοι στην ενεργή ιλύ

2.3.3.1 Υποβοηθούμενη χώνευση με υπερήχους

Αναερόβια χώνευση είναι η τυπική τεχνική για τη σταθεροποίηση ιλύος η οποία οδηγεί σε μειωμένη περιεκτικότητα οργανικής ύλης. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 50% των αστικών λυμάτων σταθεροποιείται αναερόβια (Davis & Hall, 1997).

Η αργή υδρόλυση της βιολογικής ιλύς είναι το ποσοστιαίο βήμα περιορισμού της αναερόβιας αποδόμησης. Μεγάλοι αντιδραστήρες είναι απαραίτητοι και τυπικά ο χρόνος χώνευση είναι 20 ή περισσότερες ημέρες. Ο βαθμός της αποδόμησης της οργανικής ύλης κυμαίνεται μεταξύ 25% και 60%. Η μείωση των εκπομπών πτητικών στερεών (οργανική ύλη), είναι πιο έντονη στην χώνευση της πρωτογενούς λάσπης σε σύγκριση με τη χώνευση των αποβλήτων ενεργού ιλύος. Διάφορες μέθοδοι για τη

βελτίωση της διαδικασίας έχουν διερευνηθεί συμπεριλαμβανομένων τη θερμική προεπεξεργασία, τη χημική διαλυτοποίηση με προσθήκη οξέος ή βάσης και μηχανική αποσύνθεση της ιλύος (Kopp et al., 1997).

Η μέθοδος της μηχανικής υποβάθμισης της ενεργής ιλύος έχει κάποιες ομοιότητες με την επίδραση της χαμηλής ισχύος υπερήχων που έχουν σαν αποτέλεσμα προέρχονται τη δημιουργία κενών στην ιλύ. Στην περίπτωση των ισχυρών δυνατών υπερήχων το κυτταρικό τοίχωμα του μικροοργανισμού σπάει και ενδο-κυτταρικό υλικό απελευθερώνεται μέσα στην υγρή φάση. Αυτό καθιστά τη διάλυση των οργανικών ενώσεων ευκολότερα βιοδιαθέσιμη στην αναερόβια χώνευση και το ποσοστό ζύμωσης είναι σημαντικά βελτιωμένο. Κατά συνέπεια, ο χρόνος κατακράτησης ιλύος από το μέσο ζυμώσεως μπορεί να μειωθεί σημαντικά (Tiehm et al., 1997).

Χρησιμοποιώντας ένα λουτρό, σε ισχύς 31kWatt και υψηλές ακουστικές διαβαθμισμένες εντάσεις, ο χρόνος παραμονής μειώθηκε σε οκτώ ημέρες, με την παραγωγή βιοαερίου πάνω από δύο φορές μεγαλύτερο από αυτό της ελεγχόμενης ζύμωσης. Οι πρόσφατες εξελίξεις στις υψηλές δυνάμεις πλέον επιτρέπει την επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων ιλύος για τον καθαρισμό των λυμάτων. Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου της ηχοβόλησης είναι ότι μπορεί να αυτοματοποιηθεί χωρίς κινούμενα μέρη και δεν συνεπάγεται προσθήκη χημικών ουσιών (Mues, 1999 ; Schneider, 1999).

2.3.3.2 Υποβοηθούμενη αφυδάτωση με υπερήχους

Η απαίτηση για απομάκρυνση των αιωρούμενων των στερεών είναι συνήθως σε πολλές βιομηχανίες. Ο διαχωρισμός αυτός μπορεί να είναι είτε για την παραγωγή στερεών είτε για την απομόνωση των στερεών από μητρικά υγρά, η οποία είναι σημαντική για την επεξεργασία των λυμάτων, όπου η μείωση της συνολικής μάζας αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Η εκ νέου αφαίρεση του νερού από την ιλύ είναι μια αργή και δύσκολη διαδικασία δεδομένου ότι το νερό που πρέπει να αφαιρεθεί δεν είναι παγιδευμένο μόνο μεταξύ των σωματιδίων της ύλης, αλλά και στο κυτταρικό υλικό. Διάφορες πρόσθετες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για την επιτάχυνση της μεθόδου αφυδάτωσης. Μια από αυτές είναι η ακουστική διήθηση (Tarleton & Wakeman, 1997).

Η βελτίωση της μεθόδου της ακουστικής διήθησης μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη του ηλεκτρικού δυναμικού σε όλο το μείγμα των λυμάτων.

Το φίλτρο το ίδιο γίνεται κάθοδος, ενώ η άνοδος, στην κορυφή των λυμάτων, λειτουργεί ως πηγή έλξης για τα κατά κύριο λόγο αρνητικά σωματίδια ύλης. Ένα παράδειγμα αυτής της εφαρμογής είναι η αφυδάτωση του άνθρακα (50% υγρασία). Ενώ η συμβατική διήθηση μειώνει την υγρασία στο 40%, η χρήση των υπερήχων την βελτιώνει στο 25% και η χρήση ηλεκτρο-ακουστικής διήθησης επιφέρει περαιτέρω βελτίωση στο 15% (Senapati, 1991).

3. Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν:

- Η επιλογή των βέλτιστων πειραματικών συνθηκών, για τον έλεγχο της αφυφατωσιμότητας της ενεργής ιλύος με τη χρήση υπερήχων.
- Ο έλεγχος των κυριότερων χαρακτηριστικών (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο, δείκτης όγκου λάσπης, ολικά αιωρούμενα και πτητικά αιωρούμενα στερεά και την κατανομή μεγέθους σωματιδίων) της ενεργού ιλύος.

4. Πειραματικό μέρος

4.1 Υλικά και μέθοδοι

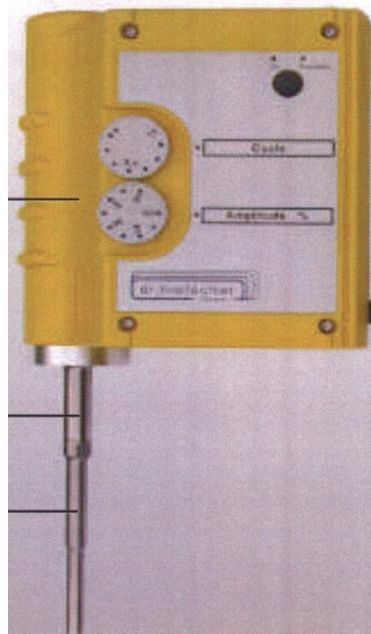
4.1.1 Ενεργός ιλύς

Η ενεργός ιλύ προέρχεται από τη Μονάδα Βιολογικού Καθαρισμού στη Σίνδο Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα από το ρεύμα της ανακυκλοφορίας (Νούμερο 2).

Τα δείγματα ομογενοποιούνταν με ανάδευση, ώστε το κάθε τελικό δείγμα να είναι ομοιόμορφο.

4.1.2 Όργανα

- Συσκευή παραγωγής υπερήχων (Σχήμα 1) Hielscher GmbH, UP100H, με probe micro tip MS7 μήκους 13cm, με ισχύ 90W για υδατικά διαλύματα.



Σχήμα 1. Συσκευή παραγωγής υπερήχων

- Αποτεφρωτικός κλίβανος, $550\pm 3^{\circ}\text{C}$, PyroLabo, για τον προσδιορισμό του στερεού υπολείμματος.
- Αποξηραντικός κλίβανος με θερμοστάτη από $0-222^{\circ}\text{C}$, Memmert, για τον προσδιορισμό του στερεού υπολείμματος.
- Φωτόμετρο, Aqualitic, RS232, για τον προσδιορισμό της απορρόφησης και του COD.
- Συσκευή διήθησης, αποτελούμενη από αντλία κενού, φιάλες διήθησης και χωνί Buchner, για τον διαχωρισμό του υπερκείμενου.
- Μαγνητικός αναδευτήρας, για την ανάδευση των δειγμάτων κατά την διαδικασία των υπερήχων.
- Σύστημα θέρμανσης αποτελούμενο από ηλεκτρικό θερμαντικό σώμα και διαμορφωμένες θέσεις για την τοποθέτηση σωλήνων (14 θέσεων), WTW, Thermoreaktor CR3000, για την επίτευξη της χώνευσης κατά τη διαδικασία μέτρησης του COD.
- Συσκευή Malvern Mastersizer-S για την κατανομή μεγέθους σωματιδίων (Particle Size Distribution, PSD).

4.1.3 Πειραματική πορεία

Η ενεργός ιλύ μετά τη δειγματοληψία ομογενοποιείται με ανάδευση και στο αρχικό δείγμα, στο οποίο δεν γίνεται ηχοβόληση, γίνονται μετρήσεις.

Ποσότητα 1L αρχικού δείγματος, αφού μετρηθεί η θερμοκρασία του, τοποθετείται σε κώνο *Imhoff* και αφήνεται για 30min σε ηρεμία, ώστε να καταγραφεί ο όγκος του ιζήματος (V), ο οποίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη όγκου λάσπης(SVI). Χρησιμοποιώντας πιπέτα λαμβάνουμε 10ml του υπερκείμενου και διηθούμε χρησιμοποιώντας χωνί *Buchner*. Από το διήθημα λαμβάνονται 2ml και τοποθετούνται σε φιαλίδιο *Aqualytic COD vario* εύρους 0-150mg/L O₂±3,5%, το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του COD. Μόλις το δείγμα εισέρχεται στο φιαλίδιο και αφού ομογενοποιηθεί με ανακίνηση πραγματοποιείται το 70% της εξώθερμης αντίδρασης, όμως για την ολοκλήρωση της το δείγμα θερμαίνεται στους 148°C για 120min, μαζί με το τυφλό, το οποίο περιέχει 2ml απεσταγμένου νερού στη θέση του δείγματος. Μετά τη θέρμανση το δείγμα ομογενοποιείται με ανακίνηση και αφήνεται να κρυώσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια προσδιορίζεται το COD με φωτόμετρο χρησιμοποιώντας δύο μεθόδους για ακριβέστερα αποτελέσματα.

Το αρχικό δείγμα του κώνου *Imhoff* ομογενοποιείται λαμβάνονται 10ml, τα οποία διηθούνται σε χωνί *Buchner*, χρησιμοποιώντας διηθητικό φίλτρο διαμέτρου 110mm Ashless. Τα αιωρούμενα στερεά κατακρατούνται στο φίλτρο, το οποίο μεταφέρεται προσεκτικά σε ένα κομμάτι αλουμινόχαρτο και ξηραίνεται για 24h τουλάχιστον, στους 103-105°C.

Μετά την ολοκλήρωση της ξήρανσης αφήνεται να κρυώσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ζυγίζεται μέχρι σταθεροποίησης του βάρους.

Για τον προσδιορισμό των ολικών στερεών, το φίλτρο με τα αιωρούμενα στερεά τοποθετείται σε προζυγισμένη πορσελάνινη κάψα, στην οποία έχει προηγηθεί πύρωση στους 550±3°C. Στη συνέχεια η κάψα θερμαίνεται στους 550±3°C και αφού κρυώσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ζυγίζεται με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών.

Από το ομογενοποιημένο αρχικό δείγμα του κώνου *Imhoff* ποσότητα 10ml τοποθετείται σε προζυγισμένο ποτήρι ζέσεως 50ml, το οποίο ξηραίνεται. Στη συνέχεια αφήνεται να κρυώσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από την απώλεια βάρους μετά την πύρωση.

Ο προσδιορισμός κοκκομετρίας του δείγματός μας, καθώς και η φωτογραφική απεικόνιση πραγματοποιήθηκαν στο ΕΚΕΤΑ.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των αρχικών δειγμάτων (Πίνακας 2) διαφέρουν, λόγω του χρόνου λήψης και επηρεάζονται από καιρικά φαινόμενα. Από τα παραπάνω προκύπτει η αναγκαιότητα ελέγχου της μέσης σύστασης των δειγμάτων (Kidak et al., 2008).

Πίνακας 2: Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων

ΔΕΙΓΜΑ	SS(mg/L)	SVI(ml/L)	COD(mg/L)	$\theta(^{\circ}\text{C})$
1	2500	124	71	19
2	2500	124	71	8
3	620	581	24	17
4	1440	108	94	23,3
5	2050	105	46	23

Τα δείγματα μας ηχοβολήθηκαν στις παρακάτω συνθήκες όπως φαίνεται στον πίνακα 3 και στην συνέχεια ακολουθήθηκε η προαναφερθείσα πειραματική πορεία σε όλα τα δείγματα.

Πίνακας 3: Συνθήκες ηχοβολήσης των δειγμάτων

Δείγμα 1 t=5min	Ισχύς(Watt)		
	20	100	
Δείγμα 2 t=5min t=20min	Ισχύς(Watt)		
	20		
Δείγμα 3 t=5min t=20min	Ισχύς(Watt)		
	20	50	100
Δείγμα 4 t=5min t=15min t=20min	Ισχύς(Watt)		
	20	50	100
	20	50	100
Δείγμα 5 t=1min t=90min	Ισχύς(Watt)		
	20	50	100
	20	50	100

Η ισχύς των υπερήχων υπολογίζεται από τη σχέση (Salsabil et al., 2008):

$$\text{Ισχύς} = \frac{W \cdot 10^6}{V \cdot TS}$$

4.2 Μέθοδοι ανάλυσης

4.2.1 Προσδιορισμός αιωρούμενων στερεών

Αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids, S.S.) είναι όλα τα σωματίδια, που κατακρατούνται σε φίλτρο *Goosh* διαμέτρου 110mm και παραμένουν μετά από ξήρανση του φίλτρου, στους 103-105°C.

Το φίλτρο ξεπλένεται με αρκετή ποσότητα απεσταγμένου νερού. Το φίλτρο μεταφέρεται σε ένα κομμάτι αλουμινόχαρτου ώστε να στεγνώσει στους 103-105°C, για μια ώρα. Ψύχεται σε ξηραντήριο και ζυγίζεται.

Το φίλτρο τοποθετείται στο χωνί Buchner και διηθούνται 10ml δείγματος. Το φίλτρο μεταφέρεται προσεκτικά, σε ένα κομμάτι αλουμινόχαρτο και ξηραίνεται, για 24 ώρες τουλάχιστον, στους 103-105°C. Αφήνεται να κρυώσει σε ξηραντήρα και ζυγίζεται. Επαναλαμβάνεται η ξήρανση και η ζύγιση μέχρι σταθεροποίησης του βάρους ($\pm 0,5$ mg).

Τα αιωρούμενα στερεά του δείγματος υπολογίζονται από τη σχέση (APHA et al., 1998):

$$\text{Αιωρούμενα στερεά mg/L} = \frac{(A - B) \cdot 1000}{\text{ml δείγματος}}$$

Όπου:

A, βάρος αιωρούμενων στερεών + βάρος φίλτρου

B, βάρος φίλτρου

4.2.2 Προσδιορισμός πτητικών στερεών

Ο προσδιορισμός των πτητικών συστατικών (Volatile Solids ή V.S.) ενός δείγματος γίνεται με καύση του ολικού στερεού υπολείμματος, στους $550 \pm 3^\circ\text{C}$. Ο προσδιορισμός των εξαμιζόμενων στερεών είναι χρήσιμος στο σχεδιασμό και τον έλεγχο εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων, γιατί δίνει, κατά προσέγγιση, την

περιεκτικότητα σε οργανική ύλη των αποβλήτων, της ενεργοποιημένης βιομάζας, των ίζημάτων από λίμνες κλπ.

Στην αριθμητική τιμή των πτητικών στερεών, περιέχεται και το κρυσταλλικό νερό διαφόρων ανόργανων ουσιών που εξατμίζονται κατά την καύση, γι'αυτό, δεν υπάρχει αντιστοιχία της τιμής των πτητικών στερεών με την τιμή του ολικού οργανικού άνθρακα.

Τα πτητικά συστατικά ενός δείγματος προσδιορίζονται με πύρωση των ολικών στερεών σε κλίβανο θερμοκρασία $550\pm 3^{\circ}\text{C}$. Τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από την απώλεια βάρους μετά την πύρωση.

Προσδιορίζονται τα ολικά στερεά του δείγματος, σύμφωνα με τη σχετική μέθοδο. Η κάψα με το ολικό στερεό υπόλειμμα, τοποθετείται σε αποτεφρωτικό φούρνο, προθερμασμένο στους $550\pm 3^{\circ}\text{C}$, για 15-20 min. Η κάψα αφήνεται να κρυσταλλώσει σε ξηραντήρα και ζυγίζεται. Τα στερεά που παραμένουν στην κάψα μετά τη καύση, αποτελούν το σταθερό υπόλειμμα ενώ η διαφορά βάρους του σταθερού υπολείμματος από τα ολικά στερεά αποτελούν τα πτητικά στερεά.

Τα πτητικά στερεά υπολογίζονται από τη σχέση (APHA et al., 1998):

$$\text{Πτητικά στερεά mg/L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{πίε Δείγματος}}$$

Όπου:

A, το βάρος των ολικών στερεών + το βάρος της κάψας πριν την καύση

B, το βάρος του σταθερού υπολείμματος + το βάρος της κάψας μετά την καύση

4.2.3 Προσδιορισμός ολικών στερεών

Η μέτρηση του ολικού στερεού υπολείμματος ή των ολικών στερεών γίνεται με εξάτμιση ορισμένης ποσότητας δείγματος, σε κάψα πορσελάνης, στους $103-105^{\circ}\text{C}$ ή στους 180°C . Η διαφορά του απόβαρου της κάψας από το μικτό βάρος της κάψας και στερεού υπολείμματος δίνει το βάρος του στερεού υπολείμματος. Στα ολικά στερεά περιλαμβάνονται τα αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά, που περιέχονται στο δείγμα. Σε απόβλητα που έχουν pH μικρότερο από 4,3, προστίθεται διάλυμα NaOH 1N έτσι ώστε το pH του δείγματος να διατηρείται στο 4,3, κατά τη διάρκεια της

εξάτμισης. Στην περίπτωση αυτή γίνεται διόρθωση της τιμής, λαμβάνοντας υπόψη την προσθήκη NaOH.

Πριν τη μέτρηση πρέπει να αφαιρεθούν τυχόν ευδιάκριτα αδρομερή στερεά, επιπλέοντα ή καθιζάνοντα. Αν στο δείγμα υπάρχουν ευκρινή λίπη και έλαια, πριν τη μέτρηση, πρέπει να γίνει ομογενοποίησή τους. Όταν η ξήρανση γίνεται σε θερμοκρασία 103-105°C, ενδέχεται το υπόλειμμα να συγκρατήσει κρυσταλλικό νερό, με αποτέλεσμα να υπάρχει θετικό σφάλμα κατά τη μέτρηση. Στη θερμοκρασία των 103-105°C, συνήθως τα όξινα ανθρακικά άλατα μετατρέπονται σε ουδέτερα ανθρακικά και αποβάλλονται ως διοξείδιο του άνθρακα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται αρνητικό σφάλμα κατά τη μέτρηση. Αντίθετα, η απώλεια οργανικής ύλης στη θερμοκρασία αυτή, είναι συνήθως ασήμαντη. Όταν η ξήρανση γίνεται σε θερμοκρασία 180°C, το υπόλειμμα χάνει όλο το νερό που έχει απορροφήσει φυσικά, αλλά μπορεί να διατηρηθεί το κρυσταλλικό νερό, ιδιαίτερα παρουσία θειικών αλάτων. Στη θερμοκρασία αυτή, η οργανική ύλη καίγεται και εξατμίζεται ως διοξείδιο του άνθρακα αλλά δεν καταστρέφεται εντελώς. Τα όξινα ανθρακικά μετατρέπονται σε ανθρακικά και γίνεται μερική διάσπαση των ανθρακικών σε οξείδια ή βασικά άλατα. Επίσης, ενδέχεται να χαθούν τα χλωριούχα και νιτρικά άλατα.

Γενικά, η τιμή των ολικών στερεών στους 180°C, είναι πλησιέστερη στην τιμή του αθροίσματος των αλάτων συγκριτικά με την τιμή των ολικών στερεών στους 105°C.

Για κάθε δείγμα πρέπει να επιλέγεται η καταλληλότερη θερμοκρασία ξήρανσης. Νερά με μικρή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη, μπορούν να ξεραθούν σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, αλλά εκείνα που περιέχουν σημαντικά ποσά οργανικής ύλης και ανόργανων συστατικών πρέπει να ξηραίνονται στους 180°C.

Στα αποτελέσματα πρέπει πάντοτε να αναφέρεται η θερμοκρασία στην οποία έγινε η ξήρανση.

Η κάψα πυρώνεται κενή στους 550±3°C για μια ώρα. Αφήνεται να κρυώσει μέσα σε ξηραντήριο, ζυγίζεται με προσέγγιση 0,1mg και φυλάγεται στο ξηραντήριο, ώσπου να χρησιμοποιηθεί.

Ποσότητα δείγματος, μεταφέρεται στην προζυγισμένη κάψα και εξατμίζεται σε υδατόλουτρο.

Η επιλογή της ποσότητας του δείγματος, εξαρτάται από την περιεκτικότητα του δείγματος σε στερεά. Το βάρος του στερεού υπολείμματος στη κάψα πρέπει να

κυμαίνεται μεταξύ 25-250mg. Μια προσέγγιση της περιεκτικότητας σε στερεά μπορεί να γίνει με μέτρηση της αγωγιμότητας.

Όταν η ξήρανση γίνεται σε κλίβανο, προτείνεται, η θερμοκρασία να είναι περίπου 98°C, για αποφυγή απώλειας στερεών.

Στη συνέχεια, το στερεό υπόλειμμα ξηραίνεται, για μια ώρα ακόμα, στους 103-105°C ή στους 180°C. Η κάψα αφήνεται να ψυχθεί σε ξηραντήρα και ζυγίζεται με απόκλιση 0,1mg. Τα δύο τελευταία στάδια επαναλαμβάνονται μέχρις ότου δύο διαδοχικές ζυγίσεις δώσουν το ίδιο βάρος ή διαφορά βάρους μικρότερη από 4 %.

Τα ολικά στερεά υπολογίζονται από τη σχέση (APHA et al., 1998):

$$\text{Ολικά στερεά ή ολικό στερεό υπόλειμμα, mg/L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{mL δείγματος}}$$

όπου :

A, το βάρος του υπολείμματος & βάρος κάψας

B, το βάρος της κάψας

4.2.4 Προσδιορισμός δείκτη όγκου λάσπης

Ο δείκτης όγκου λάσπης (SVI, Sludge Volume Index) είναι η παράμετρος που μας επιτρέπει να εκφράσουμε την πυκνότητα (v/w) της βιομάζας σ'ένα βιολογικό αντιδραστήρα και να εκτιμήσουμε την καθιζησιμότητα της. Το δείγμα τοποθετείται σε ογκομετρικό κύλινδρο του λίτρου ή κώνου *Imhoff*. Το δείγμα αφήνεται για 30min σε ηρεμία και καταγράφεται ο δείκτης όγκου του ιζήματος (V) σε ml/L.

Στο δείγμα γίνεται προσδιορισμός των αιωρούμενων στερεών του διαφασικού μείγματος της δεξαμενής αερισμού (MLSS). Ο προσδιορισμός γίνεται με την ίδια διαδικασία που ακολουθείτε για τον προσδιορισμό των αιωρούμενων στερεών.

Η συγκέντρωση των MLSS σε συστήματα βιολογικού καθαρισμού, συνήθως, κυμαίνεται από 3.000 – 10.000mg/L.

Ο υπολογισμός του δείκτη όγκου λάσπης (SVI) προκύπτει από την εξίσωση:

$$\text{SVI(ml/g)} = \frac{V * 1000}{\text{MLSS}}$$

Όπου:

V, ο όγκος των στερεών που καθιζάνουν σε 30 min, σε ml/L

MLSS, η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών του διφασικού μείγματος της δεξαμενής αερισμού, σε mg/L.

Οι συνηθισμένες τιμές του SVI για συστήματα βιολογικού καθαρισμού με καλή καθιζησιμότητα της βιομάζας, κυμαίνονται από 50-150ml/g.

Ο όγκος των καθιζανόντων στερεών σχετίζονται άμεσα με το ρυθμό ανακυκλοφορίας της βιομάζας από τη δεξαμενή καθίζησης στη δεξαμενή αερισμού, από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$QR = \frac{V * 1000}{1000 - V}$$

Όπου:

Q_R = παροχή ανακυκλοφορίας βιομάζας m^3/d

Q = μέση ημερήσια παροχή αποβλήτων m^3/d

V =όγκος καθιζανόντων σε ένα λίτρο, ml/L

Ο δείκτης όγκου λάσπης σχετίζεται με τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στην ανακυκλοφορούσα ιλύ, από την παρακάτω μαθηματική σχέση (APHA et al.,1989):

$$ss \text{ στην ανακυκλοφορούσα ιλύ} = \frac{1000000}{S.V.I.}$$

4.2.5 Προσδιορισμός χημικά απαιτούμενου οξυγόνου

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), είναι η ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση, σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον, των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σε δείγμα υδάτων ή αποβλήτων. Είναι μια ακριβής και γρήγορη μέτρηση, χρήσιμη στην εκτίμηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και για τον έλεγχο και σχεδιασμό συστημάτων βιολογικού καθαρισμού λυμάτων και αποβλήτων.

Σε ορισμένα δείγματα, το COD μπορεί να συσχετισθεί, με το BOD, τον Οργανικό Άνθρακα (TOC, TOD) ή το περιεχόμενο σε οργανικές ουσίες. Ο βαθμός συσχέτισης του COD με το θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο, για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ενώσεων του δείγματος, εξαρτάται από τη δυνατότητα πλήρους οξείδωσης των ουσιών που περιέχονται σ' αυτό. Πολλές οργανικές ενώσεις,

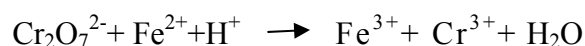
οξειδώνονται, σε ποσοστό 90-100% όπως στα αστικά λύματα, όπου η τιμή του COD είναι ένα αρκετά καλό μέτρο του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου. Έτσι, στα αστικά λύματα η σχέση COD/BOD κυμαίνεται από 2,5:1 ως 3,0:1. Σε δείγματα που περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικών ενώσεων που οξειδώνονται δύσκολα στις συνθήκες του προσδιορισμού, η τιμή του COD δεν είναι αντιπροσωπευτική του θεωρητικά απαιτούμενου οξυγόνου. Η περίπτωση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε ορισμένα βιομηχανικά απόβλητα. Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση του COD, όπως η οξείδωση ανόργανων συστατικών, κυρίως των χλωριόντων, των νιτρωδών, του διασθενούς σιδήρου και των θειούχων. Επομένως, η τιμή του COD εξαρτάται από τη σύσταση του προς εξέταση δείγματος. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, όταν αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη μέθοδο αυτή.

Γίνεται οξείδωση του δείγματος, με ισχυρό οξειδωτικό, σε όξινο περιβάλλον και υψηλή θερμοκρασία, παρουσία καταλύτη. Ως οξειδωτικό, χρησιμοποιείται διάλυμα $K_2Cr_2O_7$ ενώ το όξινο περιβάλλον εξασφαλίζεται με πυκνό H_2SO_4 . Ως καταλύτης, χρησιμοποιείται Ag_2SO_4 . Μετά από χώνευση του μείγματος, σε υψηλή θερμοκρασία, γίνεται προσδιορισμός της περισσειας των διχρωμικών ιόντων με φωτομέτρηση. Το οξειδούμενο οργανικό τμήμα του δείγματος, υπολογίζεται ως ισοδύναμη ποσότητα οξυγόνου. Οι ποσότητες δειγμάτων και αντιδραστηρίων, οι κανονικότητες των αντιδραστηρίων κλπ που χρησιμοποιούνται, παίζουν μεγάλο ρόλο και πρέπει να είναι σταθερές. Η θερμοκρασία χώνευσης είναι $150^{\circ}C$ και ο χρόνος χώνευσης 2 ώρες.

Σχηματικά, οι συντελούμενες αντιδράσεις είναι:



και αν ο προσδιορισμός της περισσειας των διχρωμικών γίνει με ογκομέτρηση



Ο καταλύτης χρησιμοποιείται ώστε να επιτευχθεί η οξείδωση ορισμένων οργανικών ενώσεων, όπως του οξικού οξέος, της κυτταρίνης κλπ.

Σε ορισμένα απόβλητα που περιέχουν τοξικές ουσίες, ο προσδιορισμός του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου και του ολικού οργανικού άνθρακα είναι οι μόνες δυνατές μετρήσεις για την εκτίμηση του οργανικού φορτίου τους.

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 50mg/L. Τα ανεπεξέργαστα λύματα έχουν συνήθως COD που κυμαίνεται από 700-750mg/L. Σε βιομηχανικά απόβλητα, η τιμή του COD είναι συνήθως μεγαλύτερη, για παράδειγμα απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας κρέατος έχουν τιμές της τάξης των 2.000mg/L, απόβλητα σφαγείων περίπου 5.000mg/L ενώ στα απόβλητα εργοστασίων επεξεργασίας σταφίδας μπορεί να λάβει τιμή ως 70.000mg/L.

Σύμφωνα με τη ελληνική νομοθεσία, τα απόβλητα που διοχετεύονται σε επιφανειακά ρέματα ή τη θάλασσα πρέπει να έχουν COD μικρότερο από 120mg/L, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν καθοριστεί αυστηρότερα όρια.

Με την ίδια αρχή μεθόδου, ο προσδιορισμός του COD μπορεί να γίνει με μακρο-μέθοδο και μικρο-μέθοδο. Η μακρο-μέθοδος πραγματοποιείται σε συσκευή ανοικτού σωλήνα (σφαιρική φιάλη συνδεδεμένη με κάθετο ψυκτήρα) είναι κατάλληλη για εφαρμογή σε πολλές κατηγορίες αποβλήτων, όπου προτιμάται η χρήση μεγάλου όγκου δείγματος. Η μικρο-μέθοδος πραγματοποιείται σε κλειστό σωλήνα, είναι οικονομικότερη από την μακρο-μέθοδο (απαιτεί μικρότερες ποσότητες αντιδραστηρίων), προϋποθέτει όμως την ομογενοποίηση των δειγμάτων που περιέχουν αιωρούμενα στερεά. Αν ακολουθηθεί η μικρο-μέθοδος, ο προσδιορισμός της περισσειας των διχρωμικών μπορεί να γίνει είτε με ογκομέτρηση ή με φωτομέτρηση. Στο εμπόριο, κυκλοφορούν ειδικές συσκευές (*CODmeter*) που αποτελούνται από θερμαντικά σώματα, με ενσωματωμένες υποδοχές για την τοποθέτηση των σωλήνων και ακριβή ρύθμιση της θερμοκρασίας, στους 150°C. Οι συσκευές αυτές, μπορούν να συνδυαστούν με φωτόμετρο, για την απευθείας μέτρηση της περισσειας των διχρωμικών. Στο εμπόριο, υπάρχουν φιαλίδια που περιέχουν τα απαιτούμενα αντιδραστήρια στη σωστή αναλογία.

Η μέτρηση της περισσειας τω διχρωμικών στη μικρομέθοδο περιγράφεται ογκομετρικά και φωτομετρικά. Οι μέθοδοι περιγράφονται σύμφωνα με την τελευταία έκδοση της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Δημόσιας Υγείας (APHA., 1998).

Αν και με τη μέθοδο αυτή οξειδώνονται οι περισσότερες κατηγορίες οργανικών ενώσεων, υπάρχουν κάποιες αδυναμίες εφαρμογής της στην παρουσία αλειφατικών ενώσεων ευθείας αλύσου και αρωματικών υδρογονανθράκων.

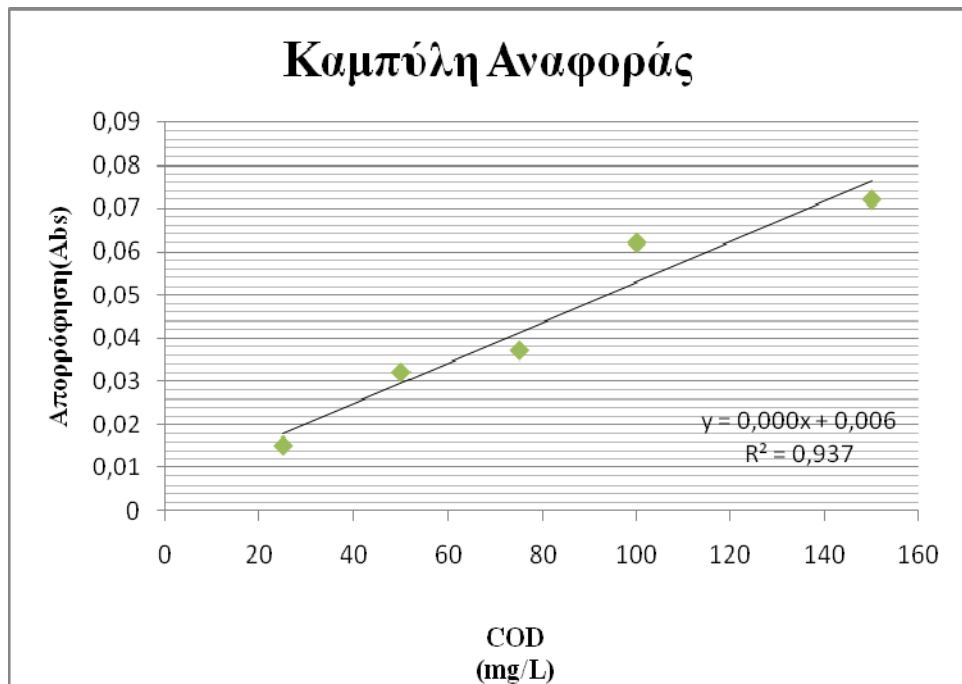
Οι γραμμικές αλειφατικές ενώσεις οξειδώνονται αποτελεσματικότερα, με την προσθήκη Ag_2SO_4 , ο καταλύτη. Για την οξείδωση αρωματικών υδρογονανθράκων, η χρήση καταλύτη δεν βοηθάει. Η παρουσία το όμως είναι απαραίτητη προκειμένου για την οξείδωση των ευθείας αλύσου αλκοολών και οξέων.

Όμως, το Ag_2SO_4 αντιδρά με τα ιόντα χλωρίου, ιωδίου και βρωμίου και δημιουργούνται ιζήματα, π. μερικώς μόνο οξειδώνονται. Η παρουσία των αλογόνων μπορεί να ξεπεραστεί -όχι πλήρως- με προσθήκη HgSO_4 στο μείγμα οξειδωτικών - δείγματος, σε αναλογία 10:1 $\text{HgSO}_4:\text{Cl}^-$ (σχηματίζεται διαλυτός χλωριούχα υδράργυρος), εφόσον η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι μικρότερη από 2.000mg/L. Η μέτρηση του COD(δεν πρέπει να γίνεται σε δείγματα, που περιέχουν συγκεντρώσεις χλωριόντων μεγαλύτερες από 2.000mg/L Στην περίπτωση που γίνεται χρήση HgSO_4 , θα πρέπει να γίνεται επεξεργασία του νερού που μένει από την ανάλυση, σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στο τέλος των μεθόδων προσδιορισμού, για αποφευχθεί η ρύπανση του περιβάλλοντος με υδράργυρο.

Η παρουσία νιτροδών ιόντων, επηρεάζει τη μέτρηση του COD, κατά 1,1mg $\text{O}_2/\text{mg NO}_2$. Επειδή συγκεντρώσεις νιτροδών σπάνια ξεπερνούν τα 1-2mg/L η παρεμποδιστική δράση των νιτροδών θεωρείται αμελητέα. Για συγκεντρώσεις νιτροδών μεγαλύτερες από 2mg/L NO_2 , προσθέτονται 10mg σουλφαμινικού οξέος, για κάθε mg $\text{NO}_2\text{-N}$ στη φιάλη οξείδωσης. Η ίδια ποσότητα σουλφαμινικού οξέος προστίθεται στη φιάλη του τυφλού.

Τα δείγματα συλλέγονται, κατά προτίμηση, σε γυάλινες φιάλες. Τα ασταθή δείγματα, πρέπει να αναλύονται αμέσως. Αν στο δείγμα υπάρχουν καθιζάνοντα ή αιωρούμενα στερεά, το δείγμα ομογενοποιείται. Αν το δείγμα δεν αναλυθεί αμέσως, οξινίζεται με προσθήκη μικρής ποσότητας $\text{π. H}_2\text{SO}_4$ ($\text{pH} < 2$). Η ανάλυση των δειγμάτων πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν γρηγορότερα και όχι αργότερα από 5 ημέρες (APHA et al., 1998).

Για την σωστή βαθμονόμηση του φωτομέτρου προετοιμάζονται 5 πρότυπα διαλύματα όξινου οφθαλμικού καλίου με γνωστή συγκέντρωση COD (25, 50, 75, 100 και 150 mg/L) τα οποία τοποθετήθηκαν σε ογκομετρικές φιάλες των 250 ml. Χρησιμοποιούνται όγκοι αντιδραστηρίων, σωλήνες και διαδικασία χώνευσης, όπως για τα δείγματα. Με βάση τα αποτελέσματα που πάρθηκαν χαρακτήρισε η καμπύλη αναφοράς (Σχήμα 2).



Σχήμα 2:Καμπύλη αναφοράς

4.2.6 Προσδιορισμός κοκκομετρίας της ενεργού ιλύος

Συλλέχθηκαν δείγματα μετά την ηχοβόληση και έγινε μέτρηση της κατανομής μεγέθους σωματιδίων με τη χρήση συσκευής του τύπου *Malvern Mastersizer-S*. Η λειτουργία της συσκευής βασίζεται στη σκέδαση ακτίνων *laser*, μέσω της οποίας προσδιορίζεται η κατανομή μεγέθους σωματιδίων κόνεων στερεών σε ένα εύρος μεγεθών από 0.5-2000μm. Το λογισμικό του οργάνου διαθέτει όλα τα συνήθη μοντέλα κατανομών μεγεθών κόνεων και παρέχει τη δυνατότητα επιλογής αυτού βάσει του οποίου επιθυμεί ο χρήστης να γίνει η ανάλυση των πρωτογενών αποτελεσμάτων σκέδασης. Η μέση διάμετρος σωματιδίων δίνεται από το μέγεθος d_{50} , το οποίο εκφράζει τη μέση διάμετρο των σωματιδίων που αποτελούν το 50% του όγκου του δείγματος προς μέτρηση.

5. Αποτελέσματα και συζήτηση

Μετά την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας που αναφέρθηκε παραπάνω για τη μελέτη των παραγόντων που εξετάστηκαν, καταγράφηκαν αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια και οδηγούν σε συμπεράσματα για την αφυδατοσιμότητα της ενεργού ιλύος.

Το αρχικό μας δείγμα (Πίνακας 4) χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο και το δεύτερο πείραμα, αφού φυλάχθηκε στο ψυγείο και έχοντας κατά συνέπεια διαφορετική αρχική θερμοκρασία, γεγονός που όπως φαίνεται και στο παρακάτω πίνακα επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα μας. Το δείγμα και στα δύο πειράματα ηχοβολήθηκε για 5min στα 20Watt.

Πίνακας 4: Αρχικό δείγμα και μετρήσεις που πήραμε για δύο πειράματα

ΔΕΙΓΜΑ	SS (mg/L)	VSS (mg/L)	T(αρχική) (°C)	T(τελική) (°C)	SVI	COD (mg/L)
Δ1(20Watt-5min)	2610	1150	19	20	145	83
Δ2(20Watt-5min)	440	36	8	11	559	77

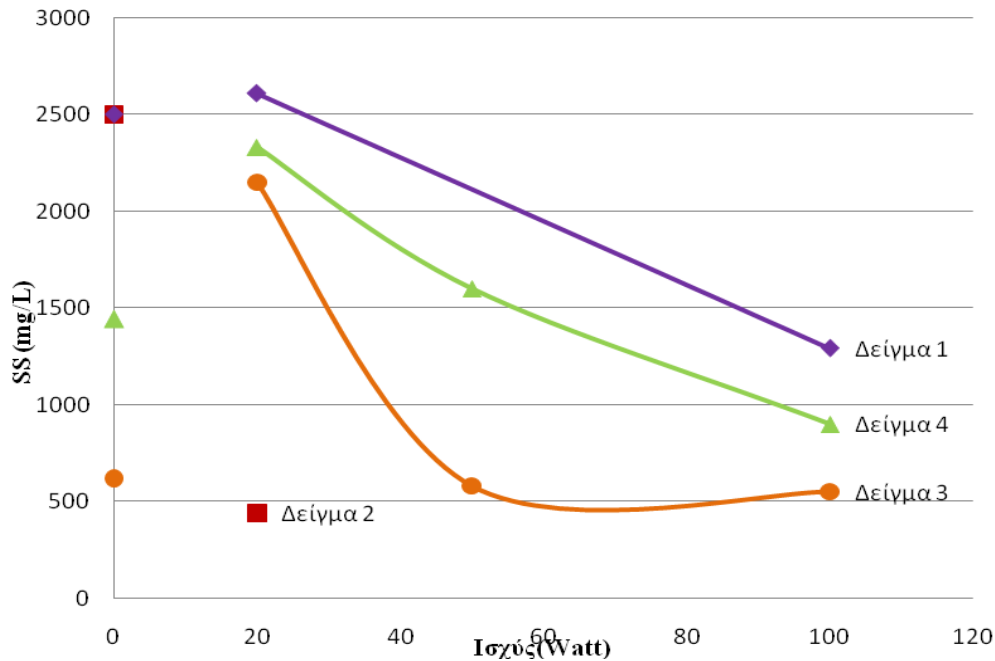
5.1 Επίδραση των υπερήχων στα στερεά σωματίδια

Η επίδραση των υπερήχων στη διάλυση των στερεών σωματιδίων δημιουργεί κυτταρική αποσύνθεση, η οποία οδηγεί σε υψηλότερη βιοδιαθεσιμότητα της ενεργού ιλύος και κατά συνέπεια αύξηση του ρυθμού της αντίδρασης της αναερόβιας αποδόμησης (Wünsch et al., 2002).

5.1.1 Επίδραση υπερήχων στο ποσοστό αιωρούμενων στερεών

Κατά την υπερήχηση των δειγμάτων μας παρατηρήσαμε την δημιουργία φυσαλίδων, οι οποίες προήλθαν από τα αιωρούμενα στερεά και τα βακτηριακά κύτταρα που λειτουργούν ως πυρήνες αυτών (Neis & Tiehm, 1999).

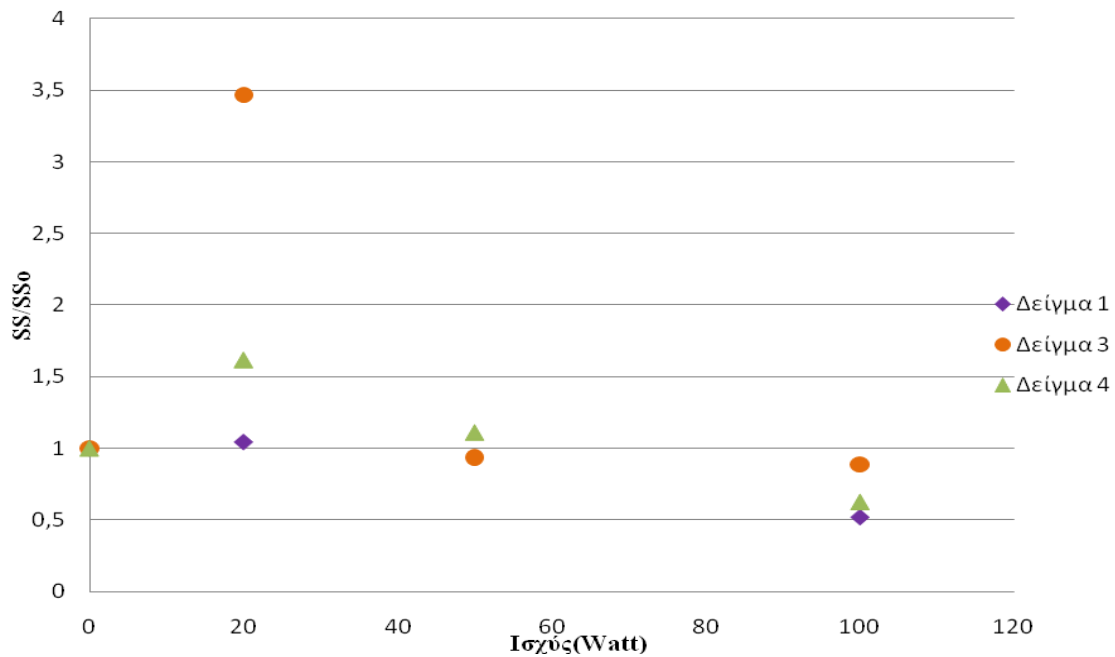
Στο Σχήμα 3 δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών με τη ισχύ των υπερήχων σε δείγματα που ηχοβολήθηκαν για 5min.



Σχήμα 3: Μεταβολή των αιωρούμενων στερεών με τη ισχύς των υπερήχων σε δείγματα που ηχοβολήθηκαν για 5min

Όπως παρατηρείται (Σχήμα 3) υπάρχει μείωση του ποσοστού των αιωρούμενων στερεών όσο αυξάνεται η ισχύ των υπερήχων. Σε χαμηλές ισχύς υπερήχων (20Watt) υπάρχει αύξηση της συγκέντρωσης σε σχέση με τη μέτρηση των αρχικών δειγμάτων. Για παράδειγμα στο δείγμα 3, η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων από περίπου 600 mg/L αυξήθηκε στα 2100 mg/L. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πιθανά σε πολύ μικρές ισχύς, λαμβάνει χώρα η συνένωση των βιοκροκιδών σε μεγαλύτερα συσσωματώματα, έτσι ώστε αυτά τα σωματίδια που αρχικά δεν είχαν μετρηθεί ως αιωρούμενα, αποκτούσαν μεγαλύτερη διάμετρο και επομένως μπορούσαν να μετρηθούν ως αιωρούμενα σωματίδια. Αντίθετα σε ισχύς μεγαλύτερες από 20 Watt φαίνεται ότι ελάμβανε χώρα διάσπαση των αιωρούμενων σε μικρότερα με συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσης. (Naddeo et al., 2009).

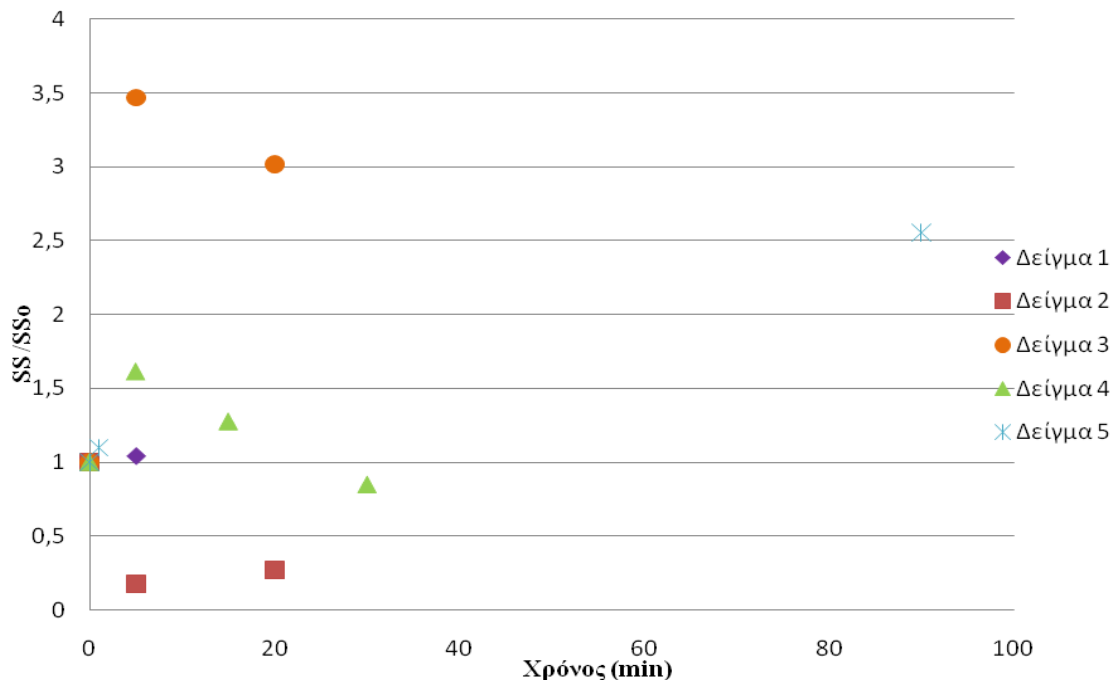
Προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση της αρχικής συγκέντρωσης στα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων δειγμάτων, στο Σχήμα 4 δίνεται η μεταβολή των αιωρούμενων στερεών με τη ισχύ των υπερήχων σε δείγματα που ηχοβολήθηκαν για 5min. Τα αποτελέσματα του σχήματος αυτού στον κάθετο άξονα, εκφράζονται ως λόγος της συγκέντρωσης του κάθε δείγματος που έχει υποστεί επεξεργασία προς τη συγκέντρωση του αρχικού δείγματος.



Σχήμα 4: Μεταβολή των αιωρούμενων στερεών με τη ισχύς των υπερήχων σε δείγματα που ηχοβολήθηκαν για 5min

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, παρατηρείται μικρή αύξηση του ποσοστού των αιωρούμενων στερεών στα δείγματα 1 και 4 σε χαμηλές ισχύς, ενώ στο δείγμα 3 υπάρχει μεγάλη αύξηση η οποία αποδίδεται πιθανά στην αρχική του θερμοκρασία, που ήταν περίπου 17°C. Η θερμοκρασία αυτή ήταν χαμηλότερη από τα άλλα δύο δείγματα, με αποτέλεσμα το δείγμα 3 να είναι πιο συνεκτικό. Σε μεγαλύτερες πυκνότητες η υπερήχηση μειώνει αρχικά το μέγεθος των σωματιδίων ενώ στη συνέχεια όπως ήδη έχει παρατηρηθεί και στα αποτελέσματα του Σχήματος 3, φαίνεται ότι πραγματοποιείται διάσπαση των σωματιδίων και μείωση των αιωρούμενων σωματιδίων.(Naddeo et al., 2009). Θα πρέπει να τονιστεί ότι παρουσιάζεται στο σχήμα αυτό, η αρχική συγκέντρωση φαίνεται ότι δεν παίζει σημαντικό ρόλο, αφού δείγματα που είχαν διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις παρουσίαζαν παρόμοια περίπου συμπεριφορά.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να μελετηθεί η επίδραση του χρόνου στις ιδιότητες των επεξεργασμένων δειγμάτων και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5, όπου φαίνεται η μεταβολή του λόγου της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών προς την αρχική συγκέντρωση με την πάροδο του χρόνου. Τα δείγματά αυτά ηχοβολήθηκαν σε ισχύ 20Watt και για χρόνους από 1 μέχρι 90min.



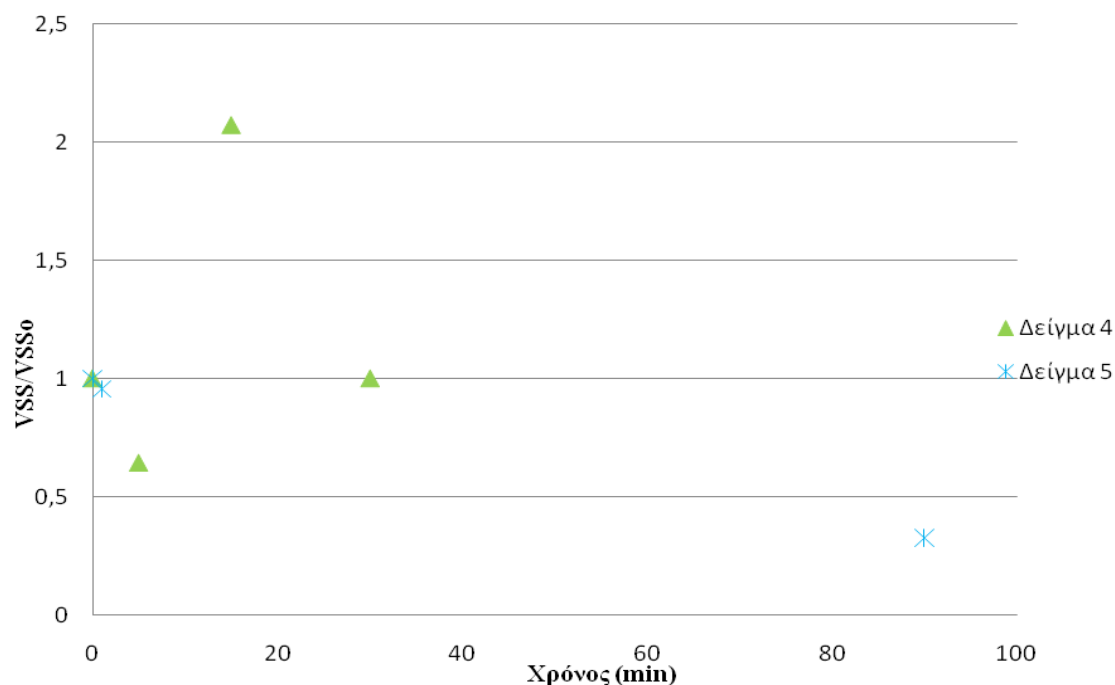
Σχήμα 5: Μεταβολή του λόγου της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών με την πάροδο του χρόνου

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5 σε πολύ μικρούς χρόνους παρατηρείται μια αύξηση στη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών, παρόμοια με την επίδραση της ισχύς. Έτσι, για το δείγμα 3, η συγκέντρωση των αιωρούμενων μετά από 5 min ήταν ως και 3,5 φορές μεγαλύτερη από την αρχική. Ωστόσο σε πιο έντονες συνθήκες και σε εκτεταμένους χρόνους παρατηρούνταν μείωση των αιωρούμενων λόγω διάσπασης τους σε μικρότερα σωματίδια (κολλοειδή ή διαλυμένα), σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα που έχουν παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές (Kidak et al., 2008). Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε μεγάλους χρόνους (90min) παρατηρήθηκε τριπλάσια αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος που έφτανε μέχρι και 64,6°C, η οποία πιθανώς να αλλοιώνει τα χαρακτηριστικά του δείγματος.

5.1.2 Επίδραση υπερήχων στο ποσοστό εξατμιζόμενων στερεών

Η σταθεροποίηση της ιλύος κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας της λάσπης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία πτητικών ουσιών που αντιστοιχούν σε οργανικές ενώσεις. Η παρουσία τέτοιων ουσιών σε μεγάλη συγκέντρωση, διευκολύνει τη μετέπειτα επεξεργασία της λάσπης με χώνευση (αερόβια ή αναερόβια). Ως αποτέλεσμα, μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να αναλύεται προκειμένου να προσδιορίζεται η δυνατότητα για την επεξεργασία της λάσπης είναι η περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα

κατά την επεξεργασία του δείγματος 4 και 5 σε ισχύ υπερήχων 50Watt για χρόνους από 1 μέχρι 90min, όπου δίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών ως προς τη συγκέντρωση του αρχικού δείγματος.



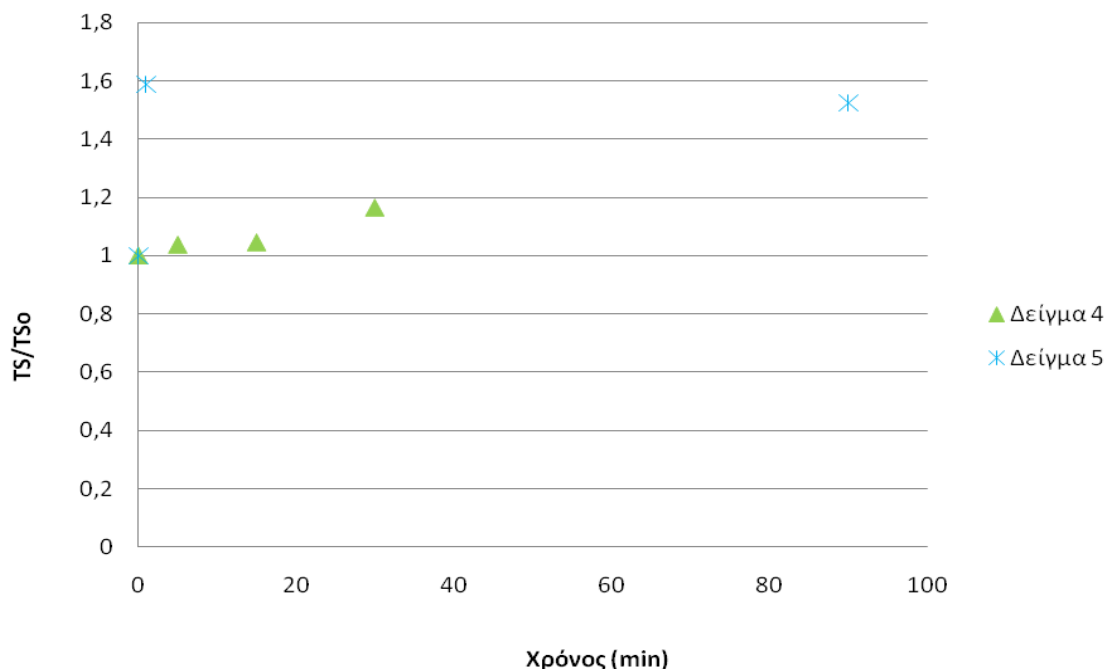
Σχήμα 6: Μεταβολή του ποσοστού των εξατμιζόμενων στερεών σε ισχύς 50Watt σε συνάρτηση με το χρόνο 1 μέχρι 90min

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 τα πτητικά στερεά σε μικρούς χρόνους αντίδρασης, μέχρι 5 min, παρουσιάζουν μικρή αύξηση ως προς την αρχική συγκέντρωση, που μπορεί να φτάσει μέχρι και διπλάσιες συγκεντρώσεις ως προς την αντίστοιχη συγκέντρωση του αρχικού δείγματος. Ωστόσο, σε μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης σε τιμές οι οποίες μπορεί να πέφτουν ακόμα και κάτω από το 30% της αρχικής συγκέντρωσης αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε μεγάλες ισχύς έχουμε μεγάλη διάσπαση των βιοκροκίδων(Salsabil et al., 2008).

5.1.3 Επίδραση των υπερήχων στο ποσοστό ολικών στερεών

Η βελτίωση της ικανότητας αφυδάτωσης της ενεργού ιλύος εξαρτάται από τη διαλυτοποίηση της οργανικής ουσίας και από τη μείωση του ποσοστού των ολικών στερεών στην ιλύ. Για το λόγο αυτό εξετάστηκε η επίδραση των υπερήχων στο ποσοστό των ολικών στερεών και τα αποτελέσματα δίνονται στο Σχήμα 7 όπου

φαίνεται η μεταβολή τα συγκέντρωσης των ολικών στερεών στα δείγματα 4 και 5, ως προς τη συγκέντρωση του αρχικού δείγματος, σε συνάρτηση με το χρόνο.



Σχήμα 7: Επίδραση των υπερήχων στα ολικά στερεά στο δείγμα 4

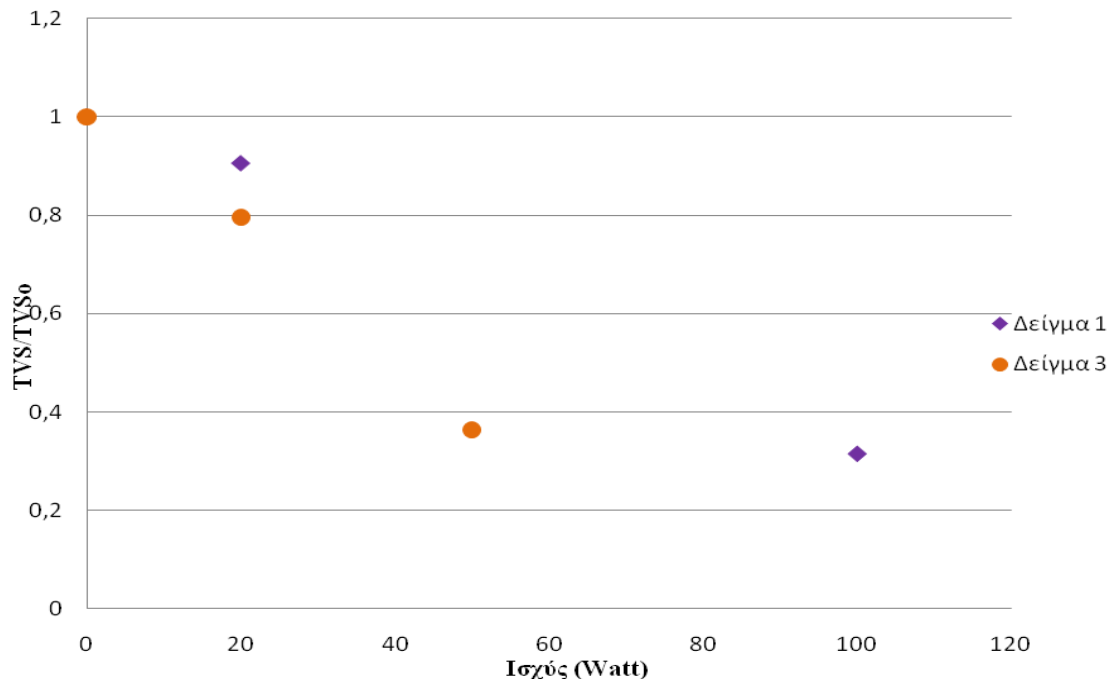
Σύμφωνα με τους Naddeo et al. (2009), η εφαρμογή των υπερήχων σε χρόνους μέχρι 30min προκαλεί μικρή αύξηση του ποσού των ολικών στερεών στην παραγόμενη ιλύ και σε σχετικά χαμηλές ισχύς όπως παρατηρείται και στο σχήμα 7.

Αντίθετα, σύμφωνα με τους Salsabil et al. (2008), υπάρχει μεγαλύτερη μείωση των ολικών στερεών αυξανόμενης της υπερηχητικής ενέργειας και του χρόνου (Σχήμα 7) λόγω της διαλυτοποίησης των οργανικών ουσιών

5.1.3.1 Επίδραση υπερήχων στα ολικά πτητικά στερεά

Τα ολικά πτητικά στερεά είναι τα στερεά που εξαερώνονται και οξειδώνονται κατά την καύση των ολικών στερεών (550°C). Σχετίζονται άμεσα με τα ολικά στερεά γι' αυτό και στα 3 πρώτα δείγματα υπολογίσαμε το ποσοστό τους.

Στο σχήμα 8 δίνεται η γραφική απεικόνιση του δείγματος 1 και 3 σε συνάρτηση με τη ισχύς των υπερήχων. Τα δείγματα ηχοβολήθηκαν για 5min σε τρεις διαφορετικές ισχύς (20-50-100Watt).

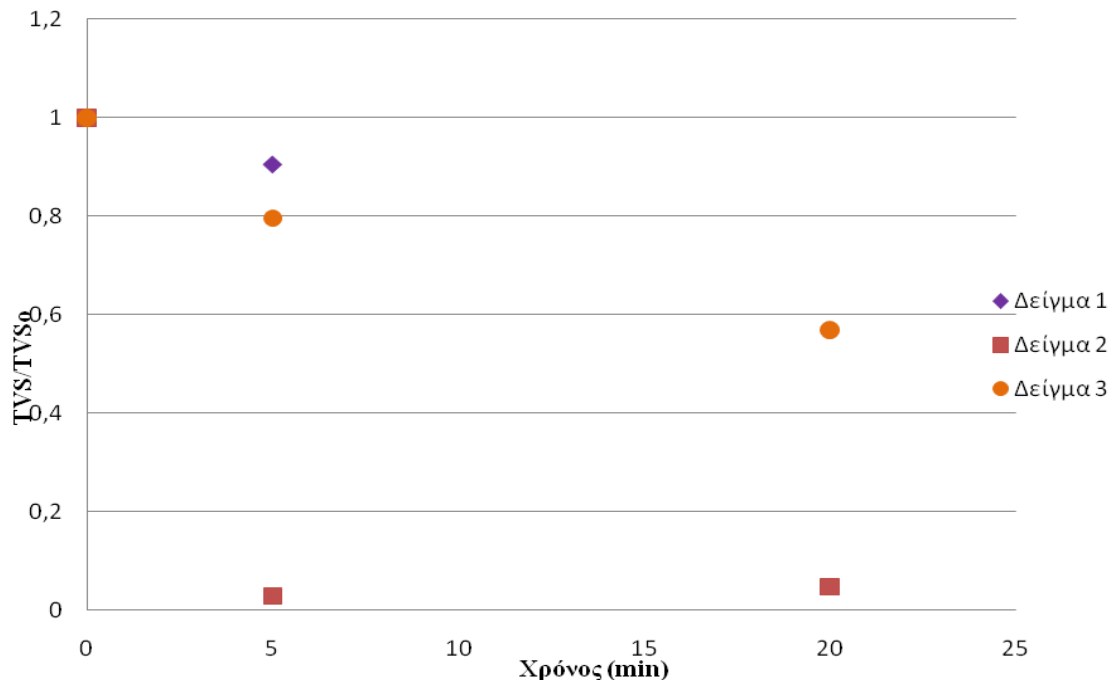


Σχήμα 8: Επίδραση της ισχύος των υπερήχων στο ποσοστό των ολικών πτητικών στερεών

Όπως φαίνεται στο σχήμα 8 υπάρχει σημαντική μείωση του ποσοστού των ολικών πτητικών στερεών τα οποία μειώνονται ανάλογα με την ένταση των υπερήχων (Salsabil et al., 2008).

Για μία πιο ολοκληρωμένη άποψη όσον αφορά τα πτητικά στερεά εξετάσαμε και την παράμετρο του χρόνου και η συσχέτισή του με τη μείωση του ποσοστού τους.

Στο σχήμα 9 παρουσιάζονται τα δείγματ 1,2,3 τα οποία ηχοβολήθηκαν σε ισχύς 20Watt για 5 και 20min.



Σχήμα 9: Επίδραση του χρόνου των υπερήχων στο ποσοστό των ολικών πτητικών στερεών

Όπως παρατηρούμε υπάρχει σταδιακή μείωση του ποσοστού των ολικών πτητικών στερεών με την πάροδο του χρόνου και οι μεγάλες αυξομειώσεις που παρατηρείται στο δείγμα 2 οφείλεται στην επίδραση της θερμοκρασίας του δείγματος.

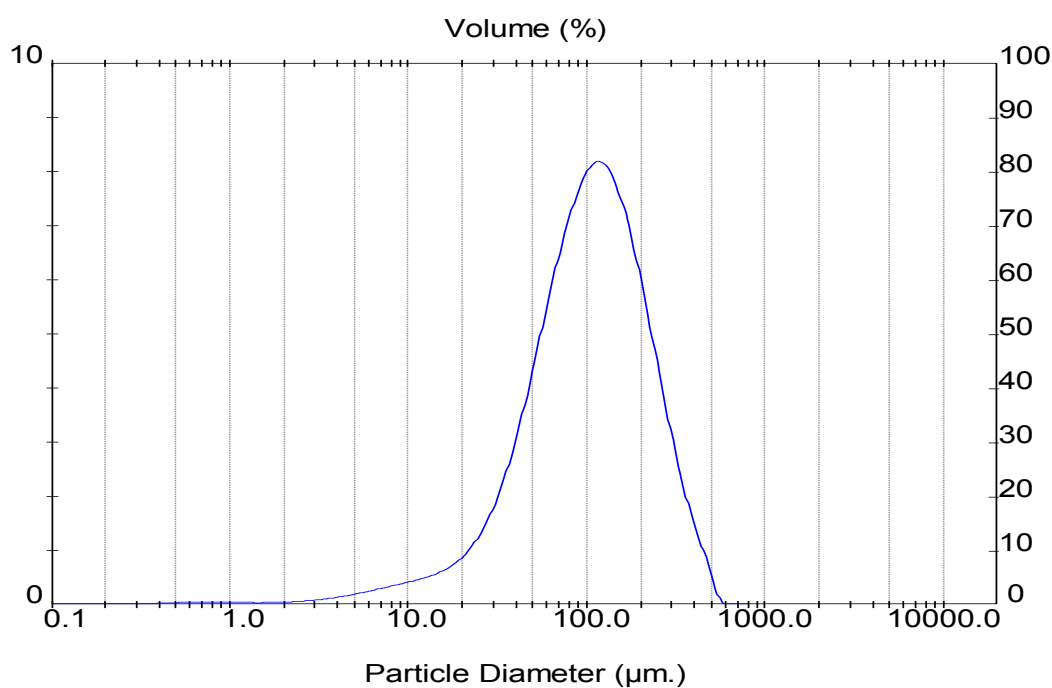
5.1.4 Ποσοστό κοκκομετρίας της ενεργού ιλύος

Η ανάλυση μεγέθους των μορίων μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε τη μείωση της μέσης διαμέτρου και της αλλαγής στον όγκο των μορίων. Στον Πίνακα 3 παραθέτονται τα δείγματα στα οποία έγινε κοκκομετρικός προσδιορισμός. Σύμφωνα με τους Kidak et al. (2008), ο χρόνος και η ενέργεια των υπερήχων επηρεάζουν τη μέση διάμετρο των σωματιδίων της ενεργού ιλύος, με αποτέλεσμα να υπάρχει μείωση της τιμής της.

Πίνακας 5: Ανάλυση δειγμάτων ποσοστού κοκκομετρίας

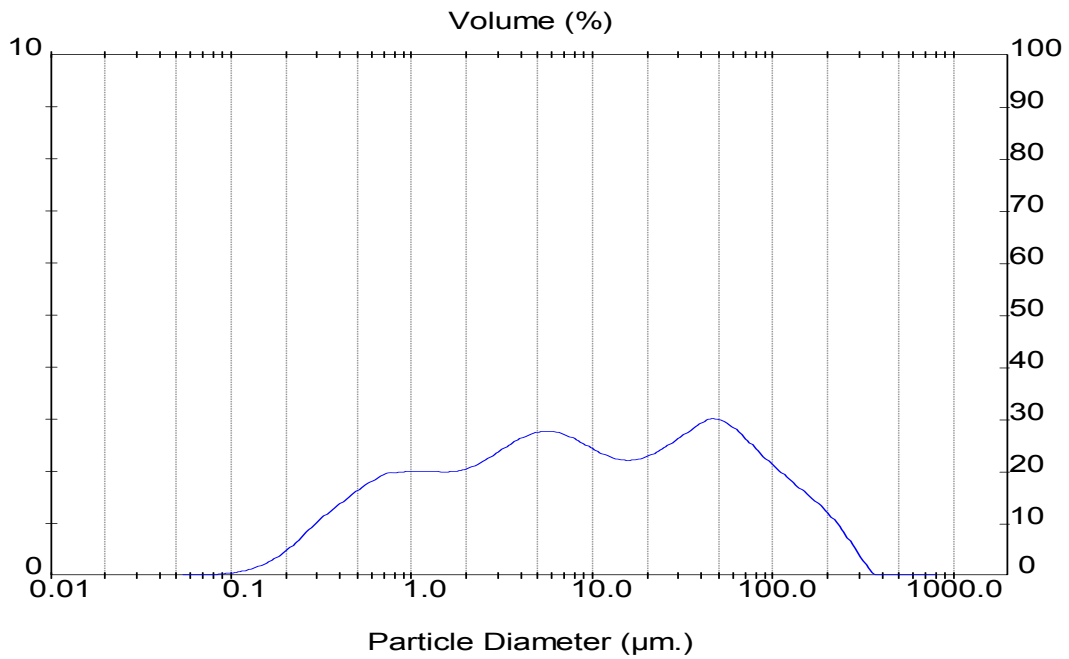
Δείγμα	Ισχύς(Watt)	Χρόνος(min)	Μέση διάμετρος(μm)
Αρχικό	0	0	127,39
Δείγμα 1	100	90	33,46
Δείγμα 2	100	1	48,42
Δείγμα 3	50	90	40,33
Δείγμα 4	50	1	95,55
Δείγμα 5	20	90	27
Δείγμα 6	20	1	97,22

Το σχήμα 10 είναι η αρχική απεικόνιση του μεγέθους των σωματιδίων της ενεργής ιλύς που χρησιμοποιήθηκε ως δείγμα και παρατηρείται μεγάλη τιμή μέσης διαμέτρου (127,39μm).



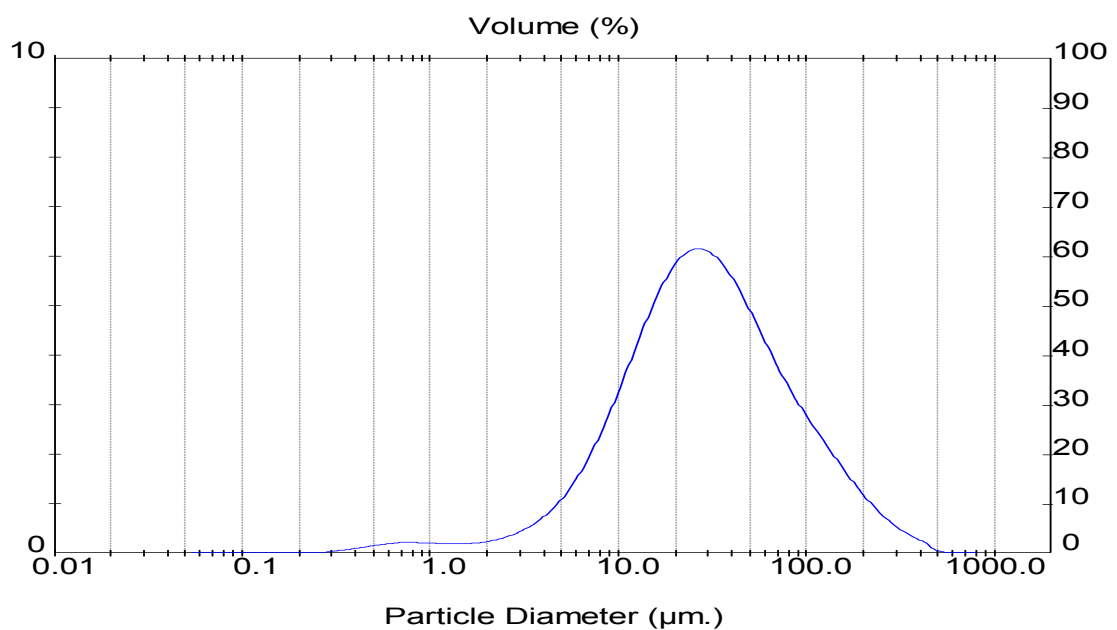
Σχήμα 10: Μέτρηση μέσης διαμέτρου στο αρχικό δείγμα

Στο σχήμα 11 εμφανίζεται το μέγεθος των σωματιδίων της ενεργής ιλύς στο δείγμα 1, στο οποίο εφαρμόστηκε ισχύς 100Watt και χρόνος 90min. Παρατηρείται μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων της ενεργής ιλύς (33,46μm).



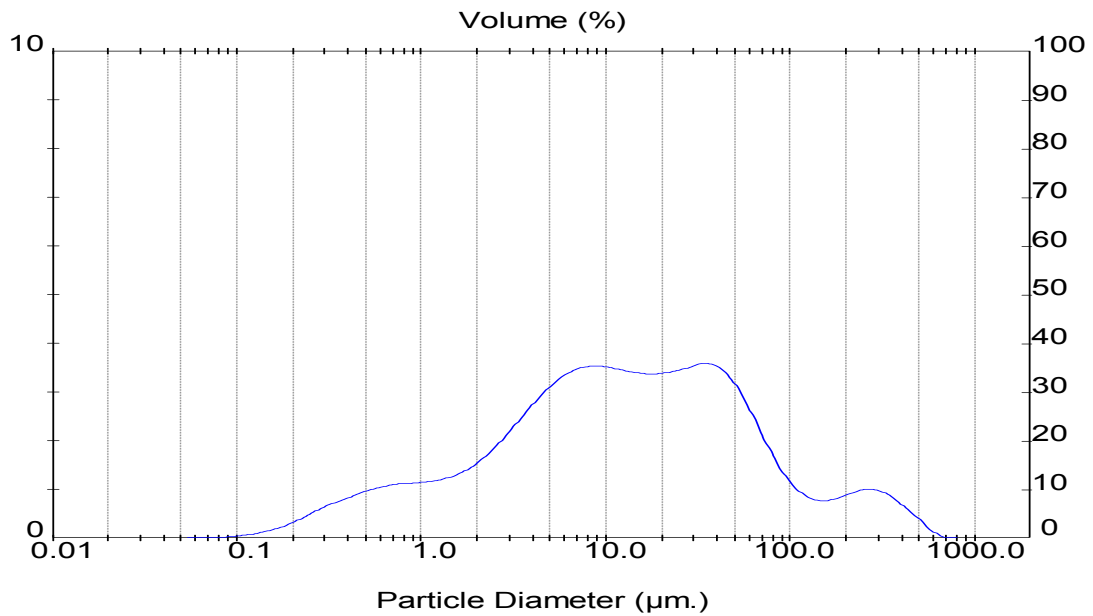
Σχήμα 11: Μέτρηση μέσης διαμέτρου στο δείγμα 1

Στο σχήμα 12 εμφανίζεται το μέγεθος των σωματιδίων της ενεργής ιλύς στο δείγμα 2, στο οποίο εφαρμόστηκε ισχύς 100Watt και χρόνος 1min. Παρατηρείται μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων της ενεργής ιλύς (48,42μm).



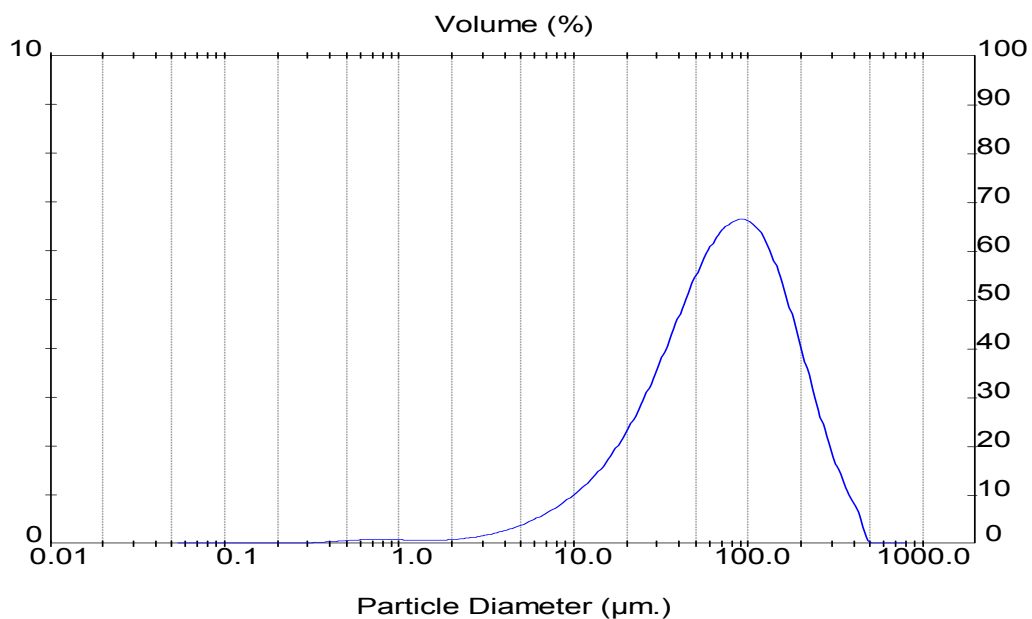
Σχήμα 12: Μέτρηση μέσης διαμέτρου στο δείγμα 2

Στο σχήμα 13 εμφανίζεται το μέγεθος των σωματιδίων της ενεργής ιλύς στο δείγμα 3, στο οποίο εφαρμόστηκε ισχύς 50Watt και χρόνος 90min. Παρατηρείται μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων της ενεργής ιλύς (40,33 μ m).



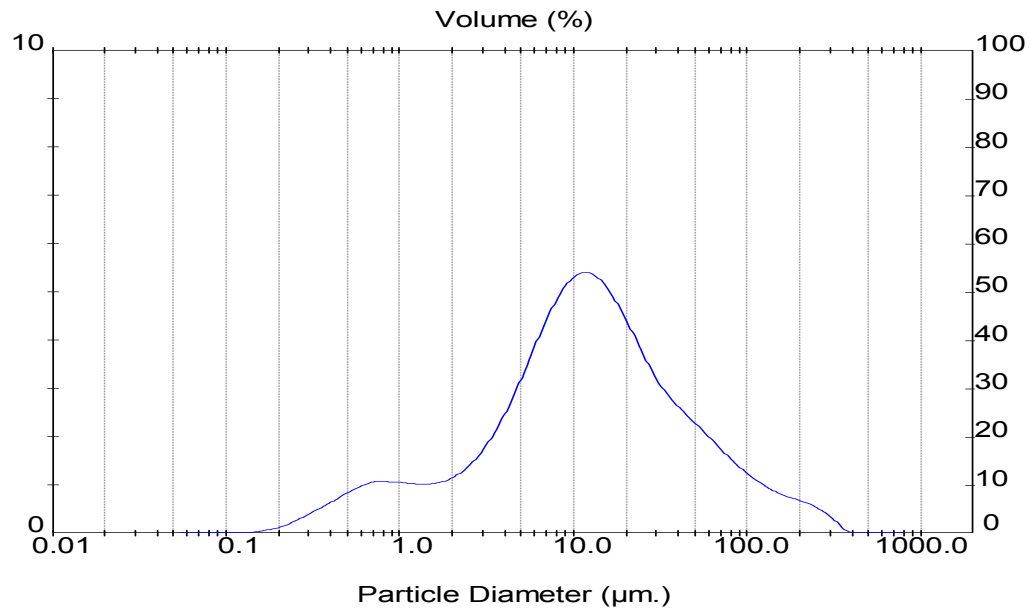
Σχήμα 13: Μέτρηση μέσης διαμέτρου στο δείγμα 3

Στο σχήμα 14 εμφανίζεται το μέγεθος των σωματιδίων της ενεργής ιλύς στο δείγμα 4, στο οποίο εφαρμόστηκε ισχύς 50Watt και χρόνος 1min. Παρατηρείται μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων της ενεργής ιλύς (95,55 μ m).



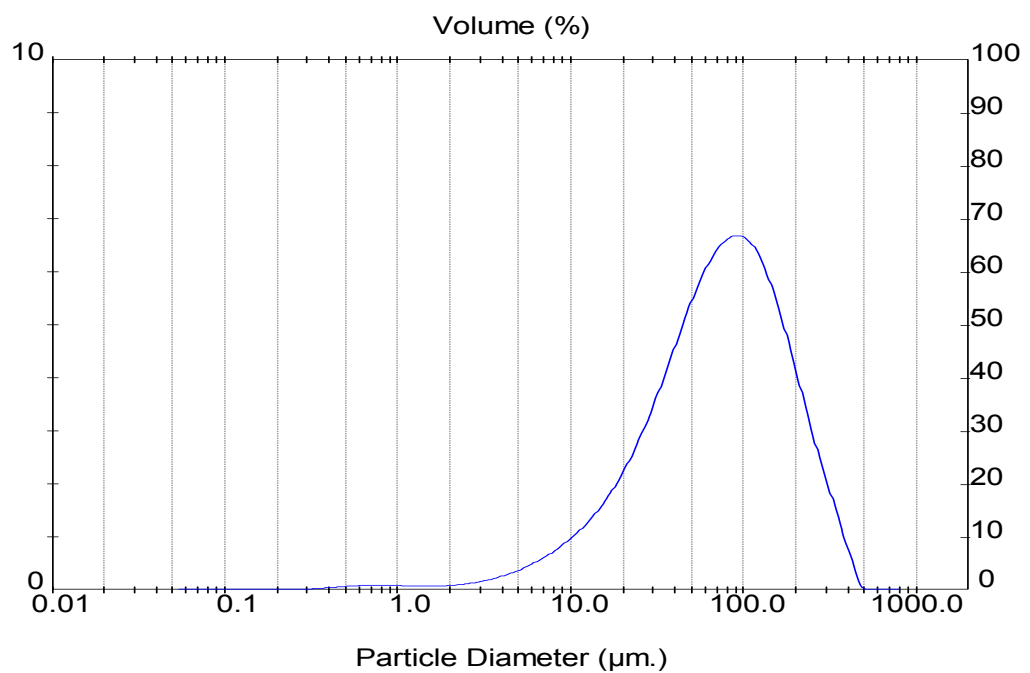
Σχήμα 14: Μέτρηση μέσης διαμέτρου στο δείγμα 4

Στο σχήμα 15 εμφανίζεται το μέγεθος των σωματιδίων της ενεργής ιλύς στο δείγμα 5, στο οποίο εφαρμόστηκε ισχύς 20Watt και χρόνος 90min. Παρατηρείται μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων της ενεργής ιλύς (27 μ m).



Σχήμα 15: Μέτρηση μέσης διαμέτρου στο δείγμα 5

Στο σχήμα 16 εμφανίζεται το μέγεθος των σωματιδίων της ενεργής ιλύς στο δείγμα 6, στο οποίο εφαρμόστηκε ισχύς 20Watt και χρόνος 1min. Παρατηρείται μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων της ενεργής ιλύς (97,22 μ m).



Σχήμα 16: Μέτρηση μέσης διαμέτρου στο δείγμα 6

Το μέγεθος των κροκίδων όπως καταγράφεται στην κοκκομετρία είναι αυτό που δυσκολεύει την αφυδατωσιμότητα της ενεργής ιλύς. Οι μεσαίους μεγέθους κροκίδες μειώνονται με μεγάλης διάρκειας επεξεργασία και οδηγούν σε μειωμένη αφυδατωσιμότητα για τους εξής δύο λόγους (Dewil et al., 2006):

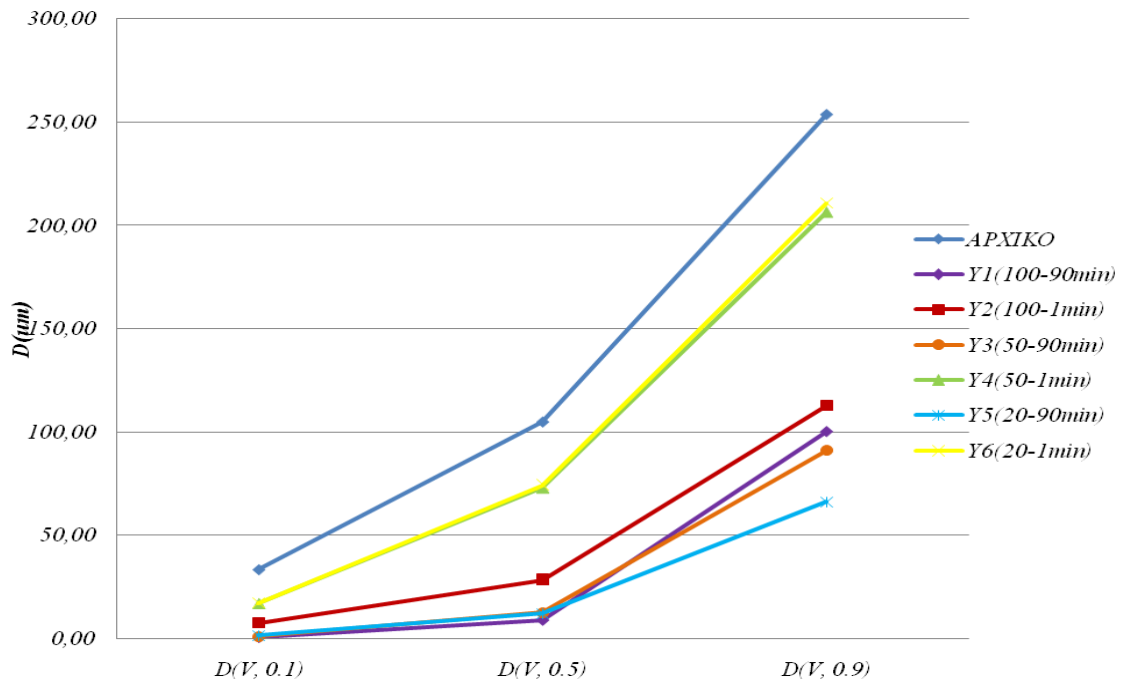
- Οι μικρότερες κροκίδες φράζουν την κρούστα της λάσπης
- Προσφέρουν μία εκτεταμένη επιφάνεια και κατά συνέπεια δεσμεύουν το επιφανειακό νερό που είναι δύσκολο να αποβληθεί.

Η διάμετρος των σωματιδίων με ποσοστά όγκου κάτω από 10%, 50% και 90% αντίστοιχα υπολογίστηκε για τα δείγματά μας και παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6: Διάμετρος σωματιδίων με ποσοστά όγκου

ΔΕΙΓΜΑ	D(V, 0.1)	D(V, 0.5)	D(V, 0.9)
ΑΡΧΙΚΟ	33,29	104,80	253,58
Y1(100Watt-90min)	0,62	8,99	100,28
Y2(100Watt -1min)	7,65	28,49	112,79
Y3(50Watt -90min)	1,04	12,57	90,96
Y4(50Watt -1min)	16,89	72,79	206,27
Y5(20Watt -90min)	1,44	11,90	66,15
Y6(20Watt -1min)	17,32	74,40	210,59

Στο σχήμα 17 απεικονίζεται μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για τον έλεγχο της αφυδατωσιμότητας της ενεργής ιλύς.



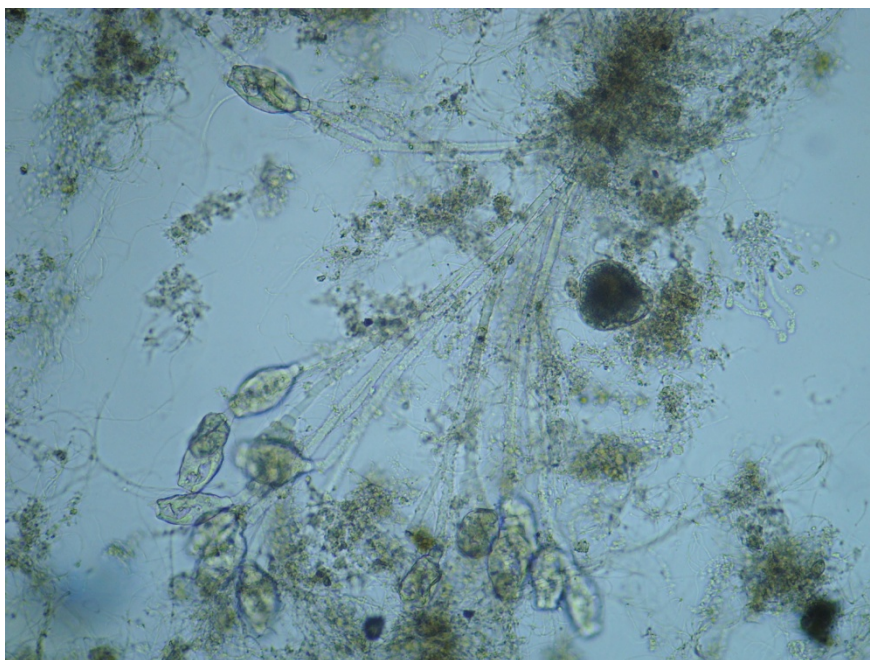
Σχήμα17: Γραφική απεικόνιση της διαμέτρου των σωματιδίων

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 17 πρόκειται για μικροβιακά μεγέθη που ως γνωστόν έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην κινητική της απολύμανσης των λυμάτων. Η διάμετρο των σωματιδίων μειώνεται όσο μεγαλώνει ο χρόνος και η ισχύς των υπερήχων. Αυτή η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων επιβάλλει ορισμένη διαλυτοποίηση των στερεών υλικών (Gibson et al., 2009).

5.1.5 Μικροσκοπική ανάλυση

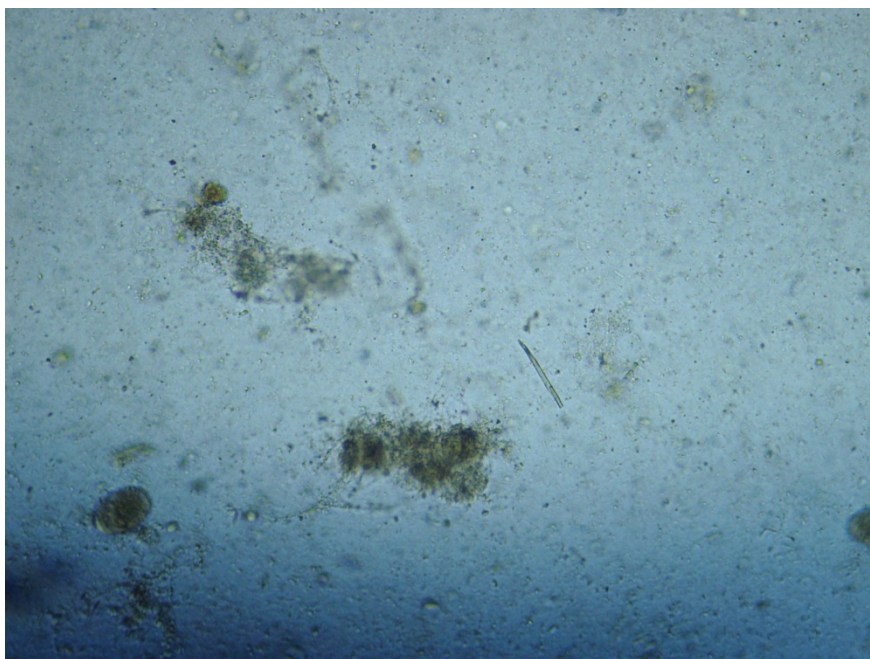
Για την μικροσκοπική ανάλυση των δειγμάτων μας χρησιμοποιήθηκε οπτικό μικροσκόπιο με φακούς μεγέθυνσης (10x και 40x), καθώς και ψηφιακή φωτογραφική μηχανή με καλή ανάλυση. Στις ακόλουθες φωτογραφίες θα παρατηρήσουμε την μορφή του δείγματος μετά την ηχοβόληση καθώς και κάποιους μικροοργανισμούς που περιέχονται στην ενεργή ιλύ. Σύμφωνα με τους Huan et al., (2007) η ηχοβόληση της ενεργής ιλύς προκαλεί αποδόμηση των κροκίδων και σε υψηλές ισχύς καταστροφή των μικροοργανισμών που εμπεριέχονται στην ενεργή ιλύ.

Στο σχήμα 18 έχουμε το αρχικό δείγμα της λάσπης μας το οποίο δεν έχει ηχοβοληθεί. Παρατηρούμε την παρουσία αποικιών *Opercularia sp.* και ελεύθερων κολυμβώντων τα οποία αποτελούν σταθερά είδη, για καλής ποιότητας ιλύ. Ζωντανοί οργανισμοί έκαναν επίσης την εμφάνιση τους κατά την παρατήρηση.



Σχήμα 18: Αρχικό δείγμα ενεργού ιλύος (χωρίς ηχοβόληση)

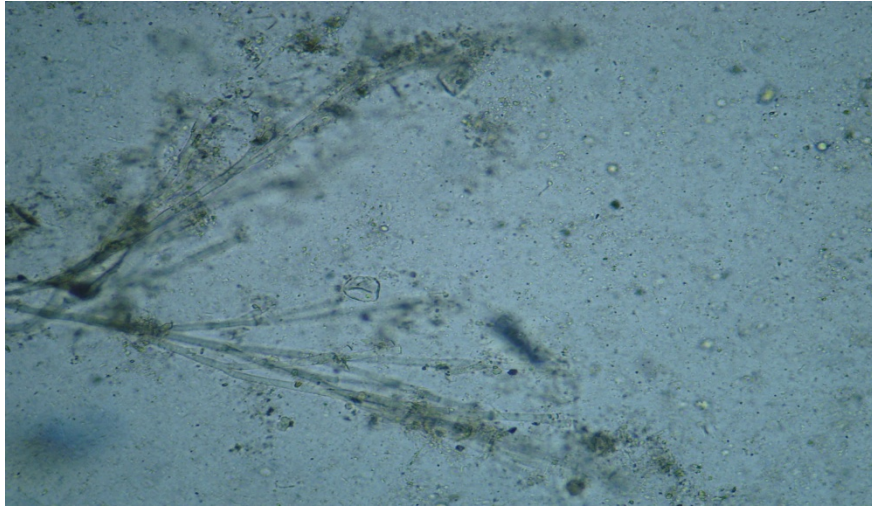
Στο σχήμα 19 έχουμε το πρώτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 30min σε ισχύς 100Watt (μέγιστη ενέργεια). Παρατηρούμε την πλήρη καταστροφή των κροκίδων και κάποια υπολείμματα των μικροοργανισμών που είχαμε στο αρχικό δείγμα.



Σχήμα 19: Πρώτο δείγμα ενεργού ιλύος (30min σε ισχύς 100Watt)

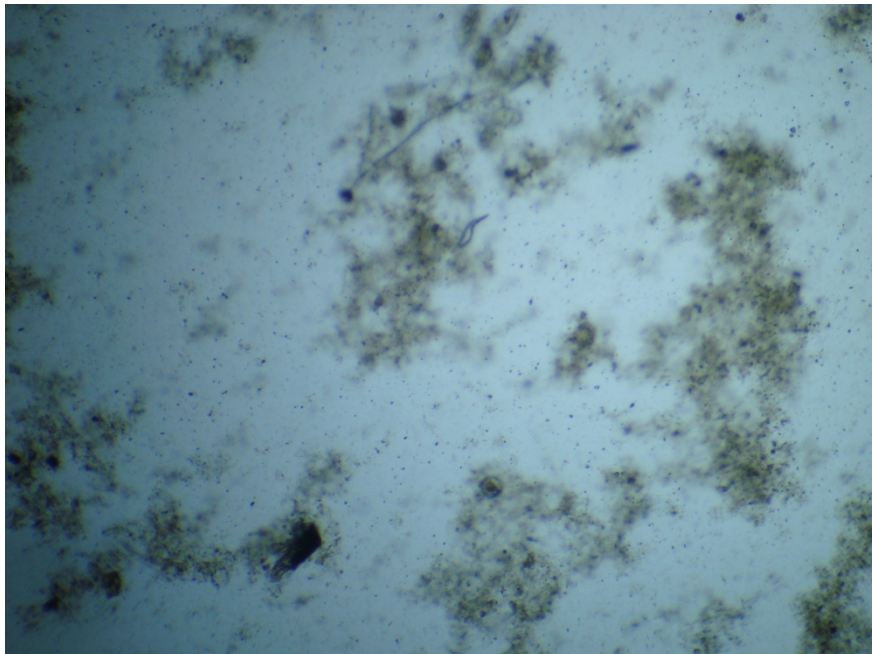
Στο σχήμα 20 έχουμε το δεύτερο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 15min σε ισχύς 100Watt (μέγιστη ενέργεια). Παρατηρούμε την

καταστροφή των κροκίδων και κάποια υπολείμματα των μικροοργανισμών *Opeccularia* sp που είχαμε στο αρχικό δείγμα.



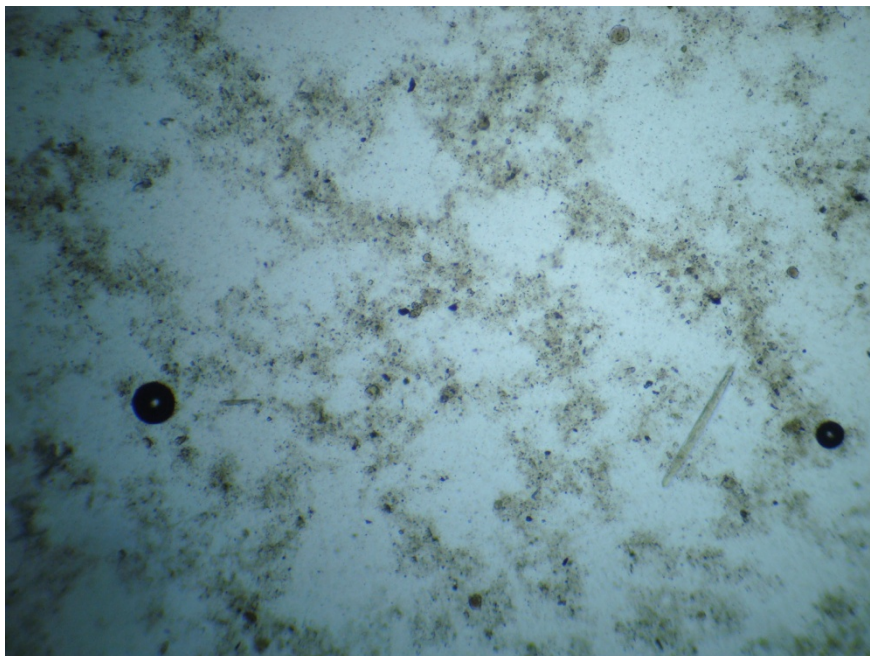
Σχήμα 20: Δεύτερο δείγμα ενεργού ιλύος (15min σε ισχύς 100Watt)

Στο σχήμα 21 έχουμε το τρίτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 5min σε ισχύς 100Watt (μέγιστη ενέργεια). Παρατηρούμε την καταστροφή των κροκίδων και κάποιους μικροοργανισμούς όπως *Amphileptes* sp και *Chilodonella* sp.



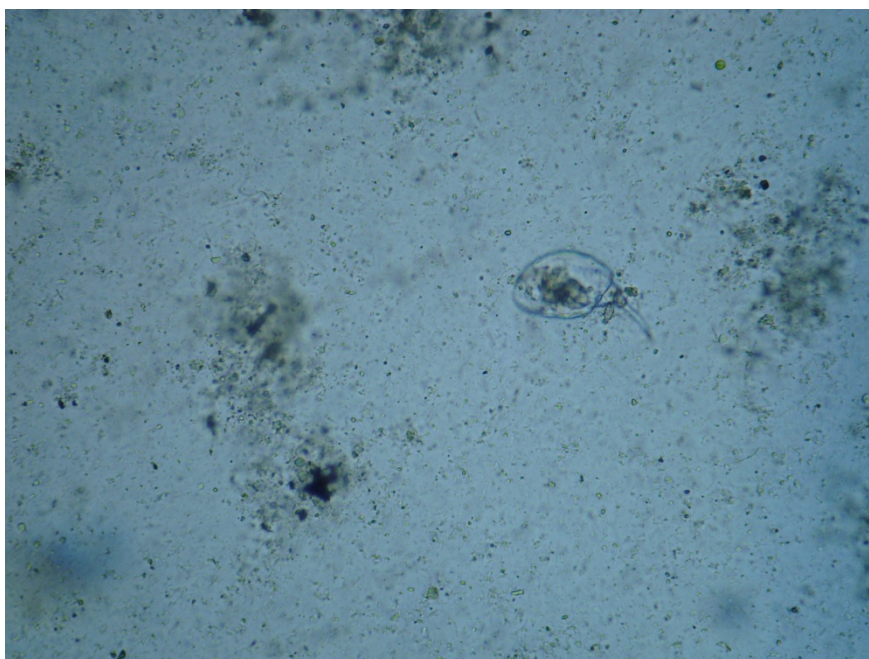
Σχήμα 21: Τρίτο δείγμα ενεργού ιλύος (5min σε ισχύς 100Watt)

Στο σχήμα 22 έχουμε το τέταρτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 30min σε ισχύς 50Watt. Παρατηρούμε μικρότερη καταστροφή των κροκίδων και κάποια υπολείμματα μικροοργανισμών.



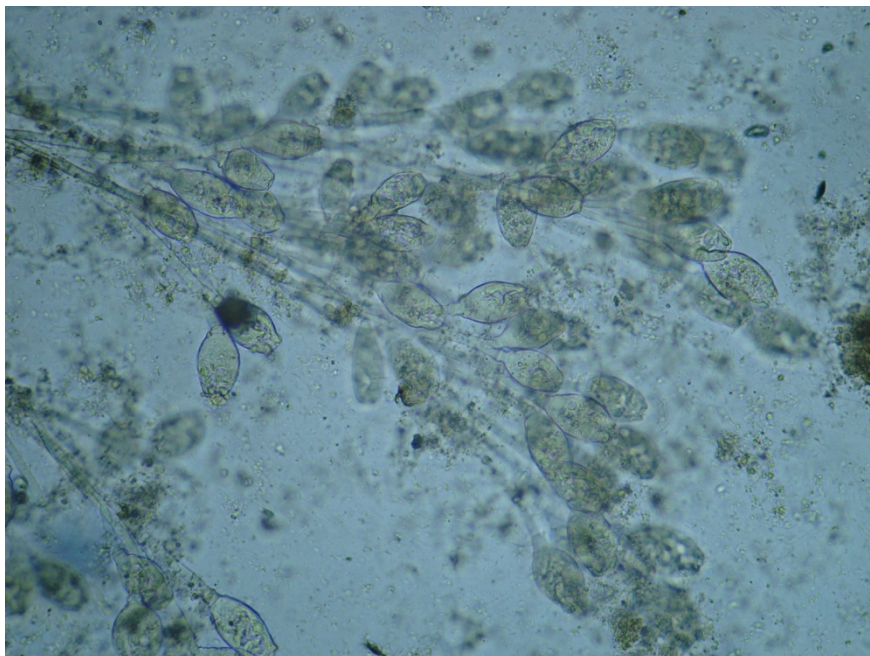
Σχήμα 22: Τέταρτο δείγμα ενεργού ιλύος (30min σε ισχύς 50Watt)

Στο σχήμα 23 έχουμε το πέμπτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 15min σε ισχύς 50Watt. Παρατηρούμε μικρότερη καταστροφή των κροκίδων και κάποια υπολείμματα μικροοργανισμών.



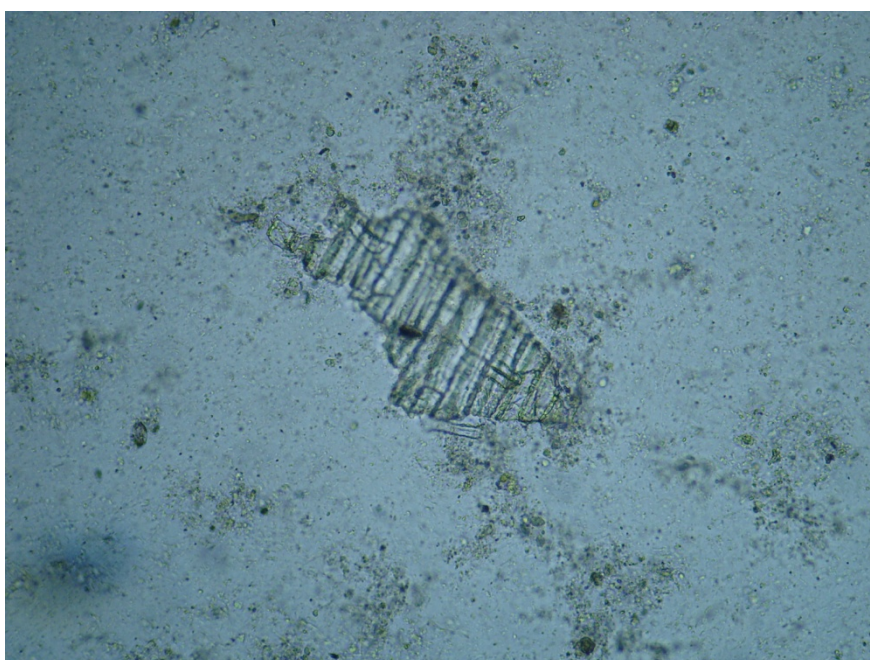
Σχήμα 23: Πέμπτο δείγμα ενεργού ιλύος (15min σε ισχύς 50Watt)

Στο σχήμα 24 έχουμε το έκτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 5min σε ισχύς 50Watt. Παρατηρούμε μικρότερη καταστροφή των κροκίδων και της *Opercularia sp.*



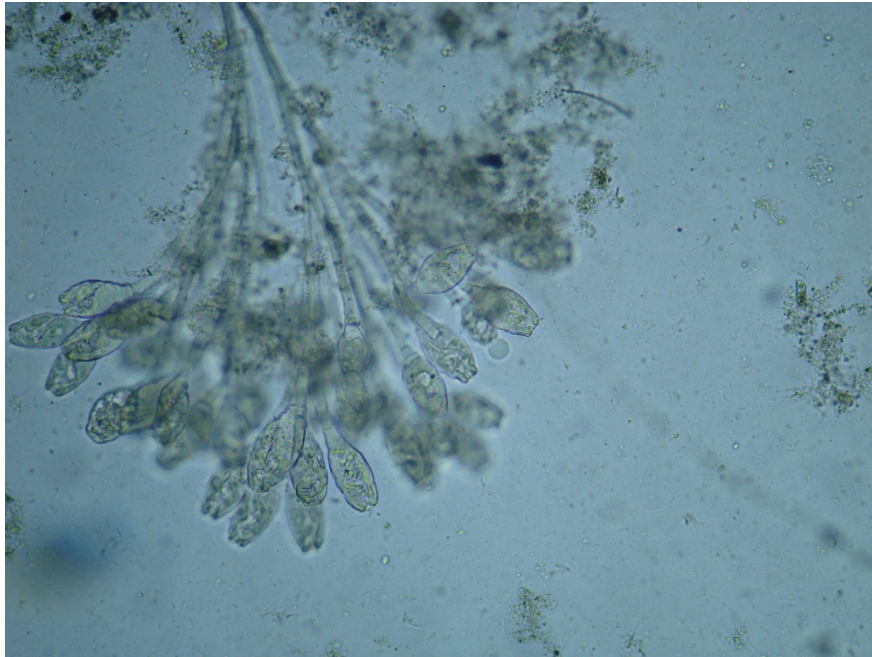
Σχήμα 24: Έκτος δείγμα ενεργού ιλύος (5min σε ισχύς 50Watt)

Στο σχήμα 25 έχουμε το έβδομο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 30min σε ισχύς 20Watt. Παρατηρούμε πολύ μικρότερη καταστροφή των κροκίδων.



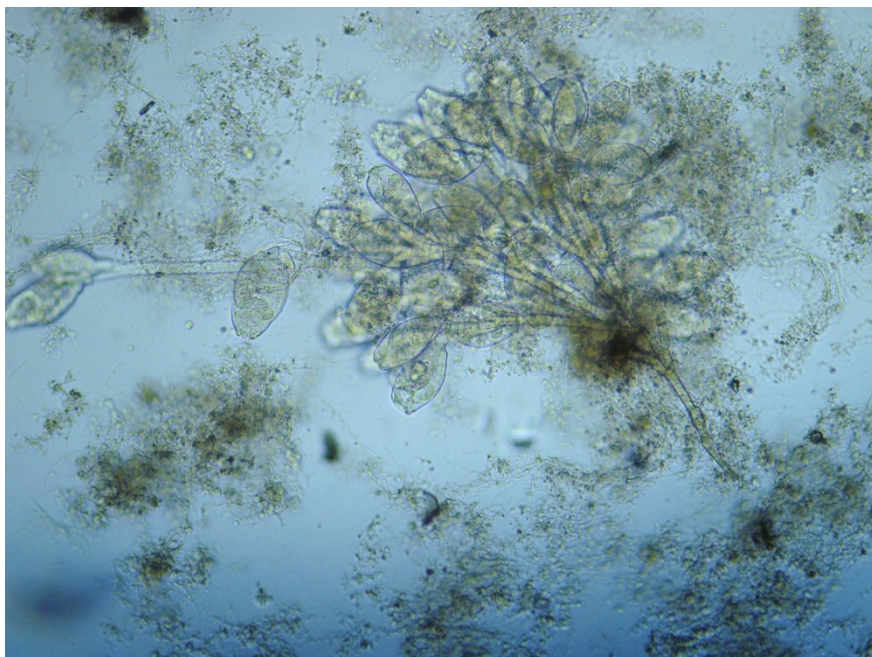
Σχήμα 25: Έβδομο δείγμα ενεργού ιλύος (30min σε ισχύς 20Watt)

Στο σχήμα 26 έχουμε το όγδοο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 15min σε ισχύς 20Watt. Παρατηρούμε πολύ μικρότερη καταστροφή της *Opercularia* sp.



Σχήμα 26: Όγδοο δείγμα ενεργού ιλύος (15min σε ισχύς 20Watt)

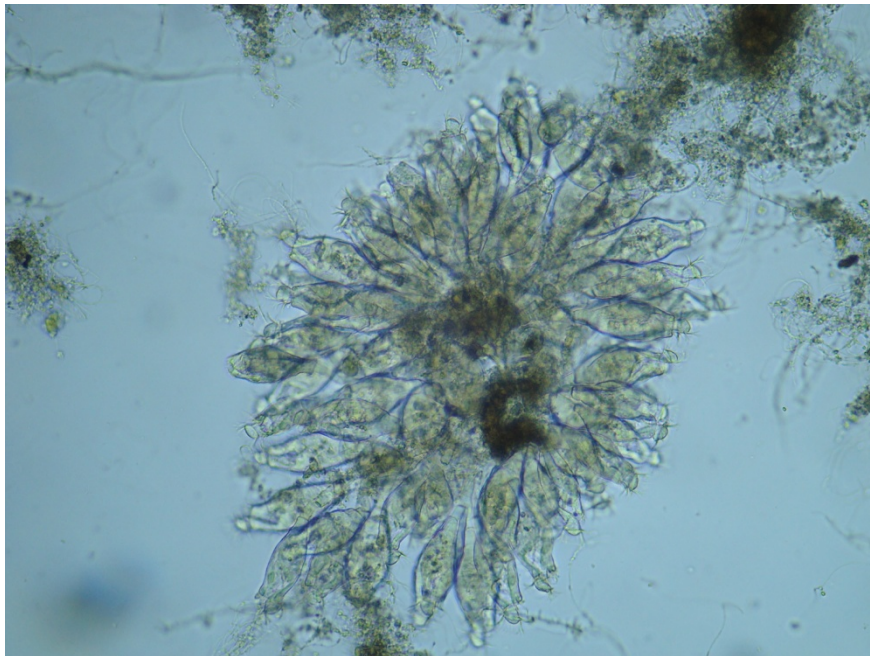
Στο σχήμα 27 έχουμε το ένατο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 5min σε ισχύς 20Watt. Παρατηρούμε πολύ μικρότερη καταστροφή των κροκίδων της ενεργής ιλύς καθώς και κάποιους ζωντανούς οργανισμούς.



Σχήμα 27: Ένατο δείγμα ενεργού ιλύος (5min σε ισχύς 20Watt)

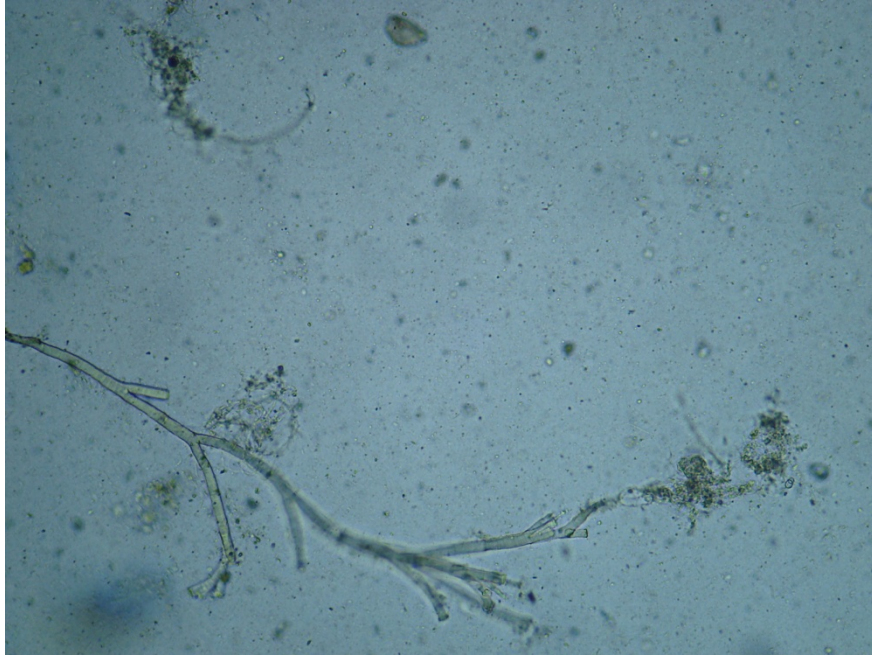
Πραγματοποιήθηκε και μια δεύτερη φωτογραφική απεικόνιση σε δείγματα που ηχοβολήθηκαν σε διαφορετικές συνθήκες από την πρώτη και παρατίθενται στην συνέχεια κάποιες ενδεικτικές φωτογραφίες. Η πλήρη φωτογραφική απεικόνιση των δειγμάτων βρίσκεται στο παράρτημα της εργασίας.

Στο σχήμα 28 έχουμε το αρχικό δείγμα της λάσπης μας το οποίο δεν έχει ηχοβοληθεί. Παρατηρούμε με μεγένθυση 40x την παρουσία αποικιών *Vorticella* sp. και ελεύθερων κολυμβώντων τα οποία αποτελούν σταθερά είδη, για καλής ποιότητας ιλύ. Ζωντανοί οργανισμοί έκαναν επίσης την εμφάνιση τους κατά την παρατήρηση.



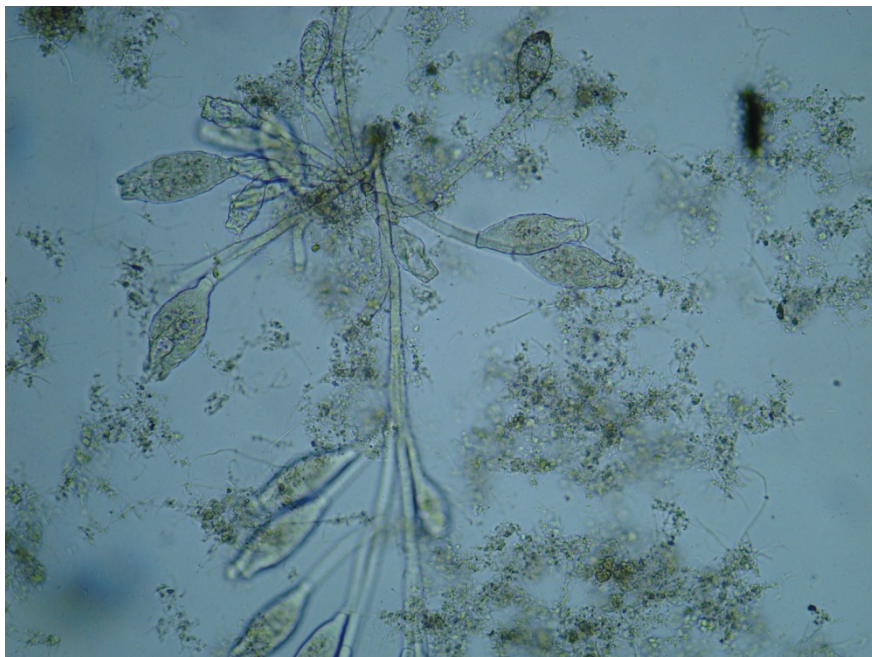
Σχήμα 28: Αρχικό δείγμα ενεργού ιλύος (χωρίς ηχοβόληση)

Στο σχήμα 29 έχουμε το πρώτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 90min σε ισχύς 100Watt (μέγιστη ενέργεια). Παρατηρούμε με μεγένθυση 40x την πλήρη καταστροφή των κροκίδων και κάποια υπολείμματα των μικροοργανισμών που είχαμε στο αρχικό δείγμα καθώς και μια *Arcella* sp.



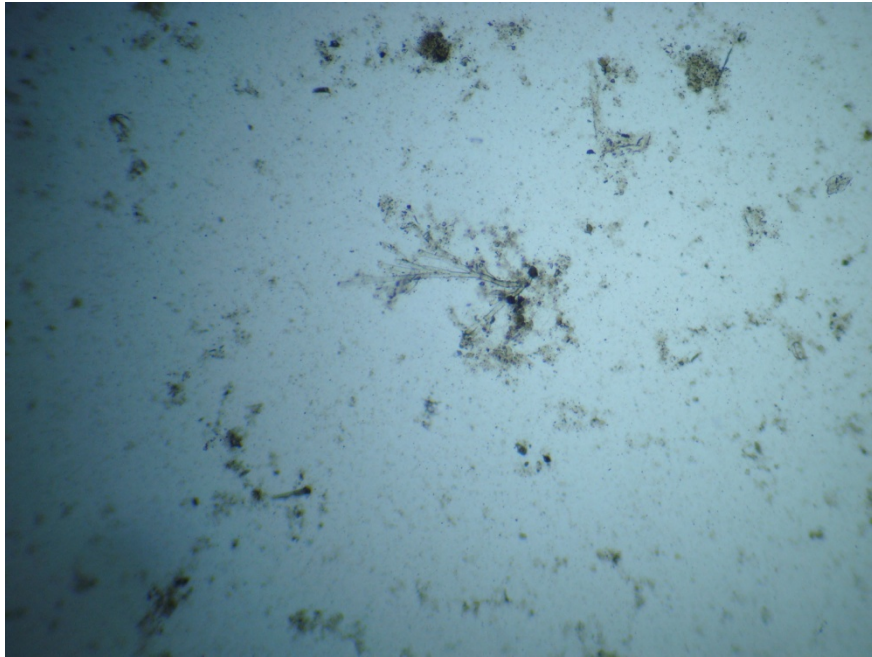
Σχήμα 29: Πρώτο δείγμα ενεργού ιλύος (90min σε ισχύς 100Watt)

Στο σχήμα 30 έχουμε το δεύτερο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 1min σε ισχύς 100Watt (μέγιστη ενέργεια). Παρατηρούμε με μεγέθυνση 40x μερική καταστροφή των κροκίδων και των μικροοργανισμών.



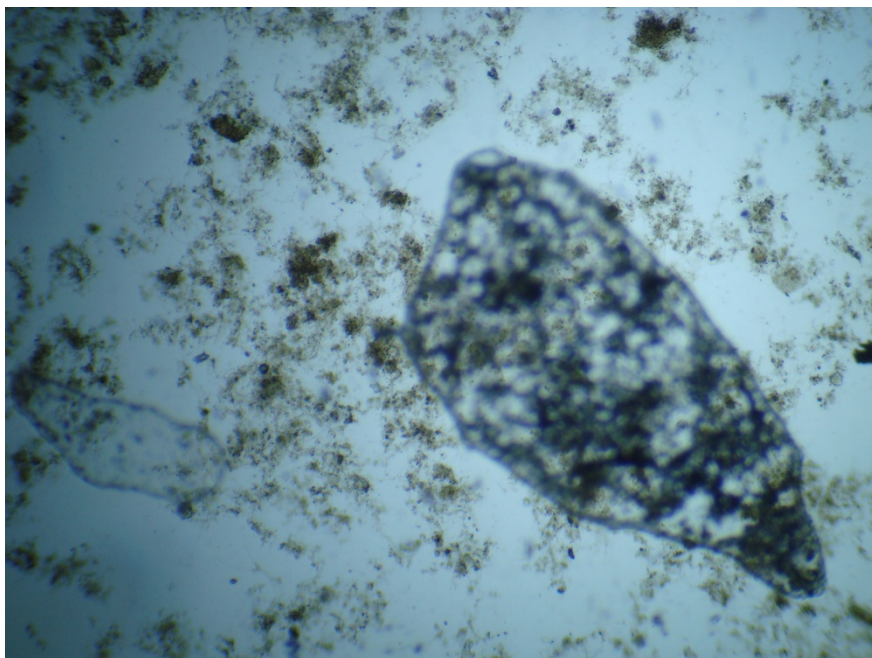
Σχήμα 30: Δεύτερο δείγμα ενεργού ιλύος (1min σε ισχύς 100 Watt)

Στο σχήμα 31 έχουμε το τρίτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 90min σε ισχύς 50Watt. Παρατηρούμε με μεγέθυνση 10x την πλήρη καταστροφή των κροκίδων και κάποια υπολείμματα των μικροοργανισμών που είχαμε στο αρχικό δείγμα και επίσης παρατηρήσαμε και ένα σκουλήκι.



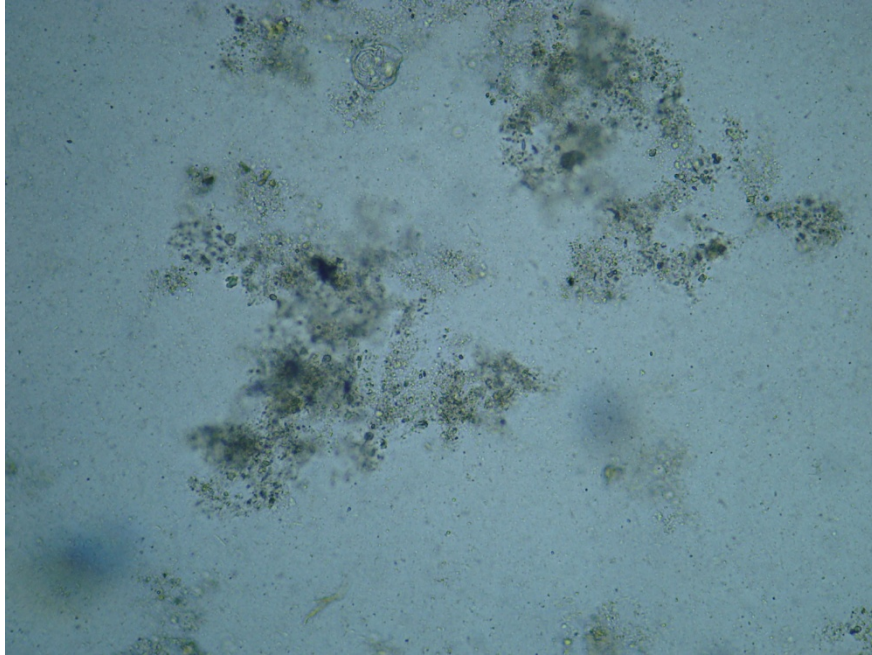
Σχήμα 31: Τρίτο δείγμα ενεργού ιλύος (90min σε ισχύς 50Watt)

Στο σχήμα 32 έχουμε το τέταρτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 1min σε ισχύς 50Watt. Παρατηρούμε με μεγέθυνση 10x την μικρή αποδόμηση των κροκίδων.



Σχήμα 32: Τέταρτο δείγμα ενεργού ιλύος (1min σε ισχύς 50Watt)

Στο σχήμα 33 έχουμε το πέμπτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 90min σε ισχύς 20 Watt. Παρατηρούμε με μεγέθυνση 40x την μικρή αποδόμηση των κροκίδων και μια *Chilodonella* sp.



Σχήμα 33: Πέμπτο δείγμα ενεργού ιλύος (90min σε ισχύς 20Watt)

Στο σχήμα 34 έχουμε το έκτο δείγμα της λάσπης μας, το οποίο έχει ηχοβοληθεί για 1min σε ισχύς 20Watt. Παρατηρούμε με μεγένθυση 40x πολύ μικρή αποδόμηση των κροκίδων και ένα σκουλήκι.



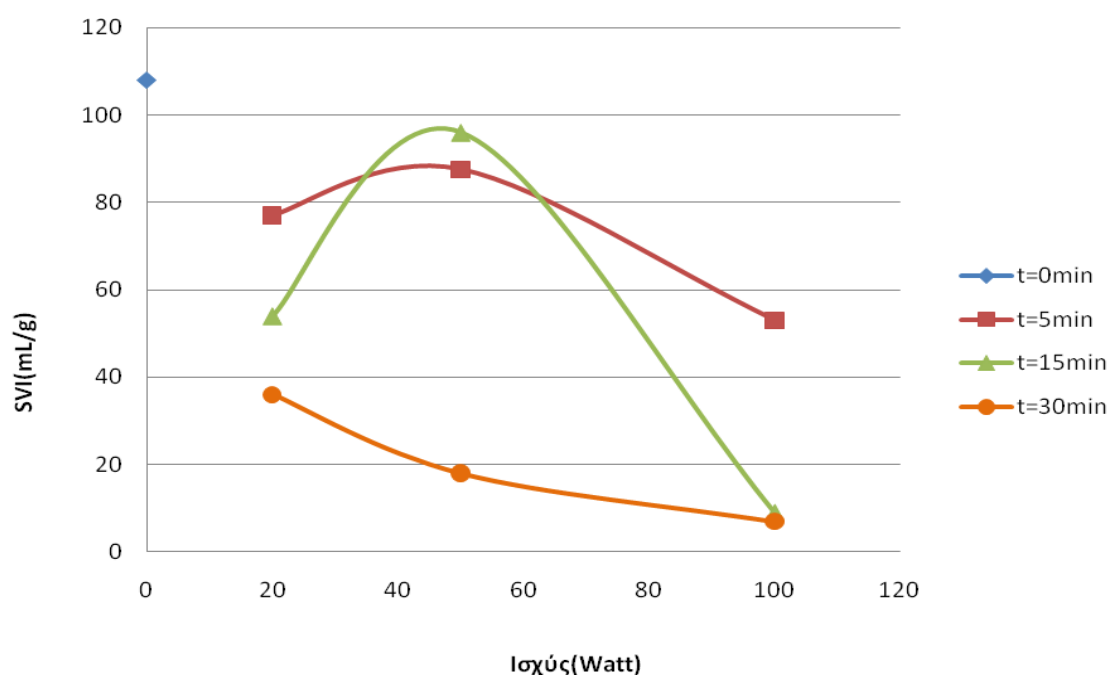
Σχήμα 34: Πέμπτο δείγμα ενεργού ιλύος (90min σε ισχύς 20Watt)

5.2 Επίδραση υπερήχων στο ποσοστό δείκτη όγκου λάσπης

Η μέτρηση του ποσοστού όγκου λάσπης είναι μία ακόμη παράμετρος σημαντική που πρέπει να διερευνηθεί για τον προσδιορισμό της αφυδατωσιμότητας

της ενεργής ιλύς, αφού τα καλά χαρακτηριστικά καθίζησης βελτιώνουν τη αφυδατοσιμότητα.

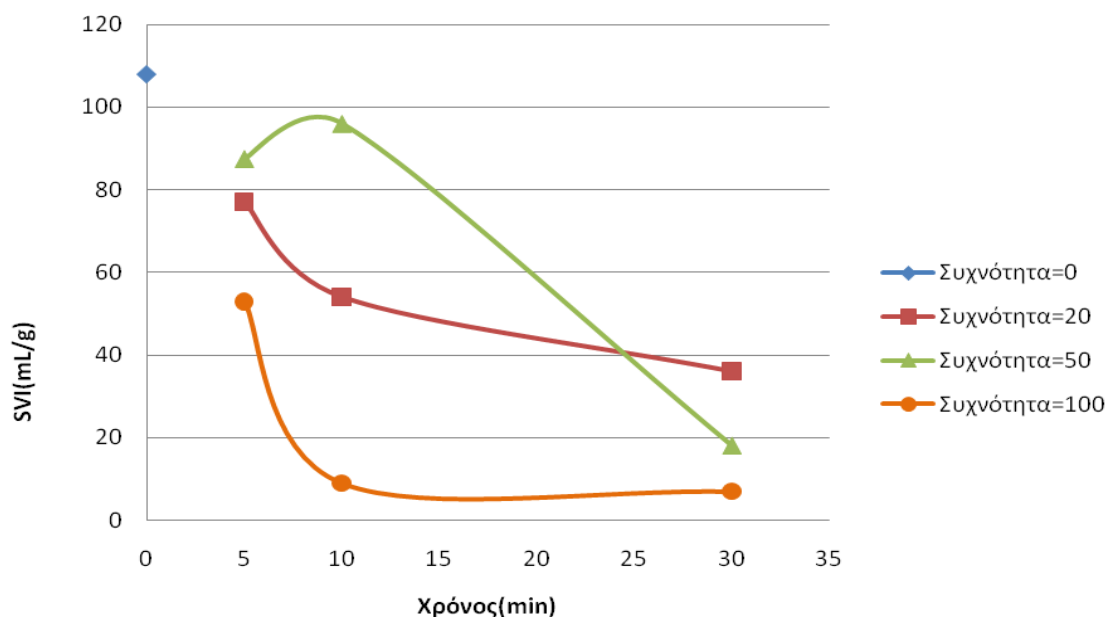
Στο σχήμα 34 παρουσιάζεται η μεταβολή της επίδρασης των υπερήχων στο ποσοστό δείκτη όγκου λάσπης της ενεργής ιλύς σε ισχύς 20-50-100Watt και για χρόνο 5-15-10min.



Σχήμα 34: Επίδραση υπερήχων στο ποσοστό δείκτη όγκου λάσπης

Σύμφωνα με τους Laurent et al., (2008) αυξανόμενης της ενέργειας των υπερήχων έχουμε μείωση του δείκτη όγκου λάσπης, όπου φαίνεται στο σχήμα 34. Η μείωση του ποσοστού των αιωρούμενων στερεών οδηγεί σε αυτό το αποτέλεσμα.

Στο σχήμα 35 παρουσιάζεται η επίδραση του χρόνου ηχοβόλησης στο ποσοστό του δείκτη όγκου λάσπης.



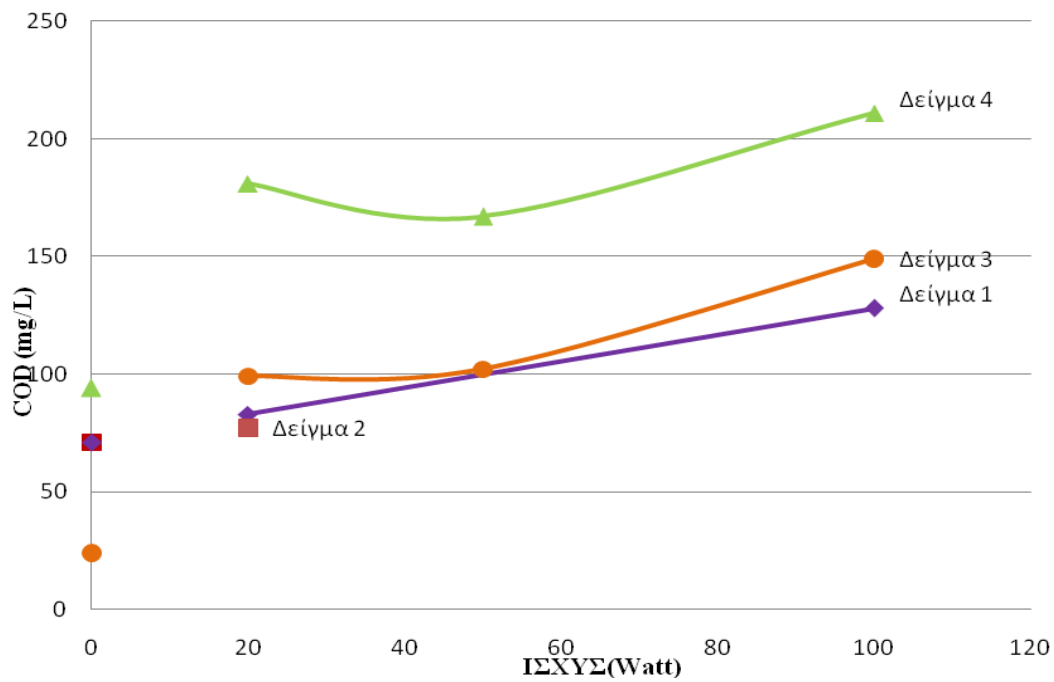
Σχήμα 35: Επίδραση του χρόνου ηχοβόλησης στο ποσοστό του δείκτη όγκου λάσπης

Όπως παρατηρείται στο σχήμα 35 όσο αυξάνεται ο χρόνος ηχοβόλησης τόσο μειώνεται το ποσοστό του δείκτη όγκου λάσπης. Όταν ο δείκτης όγκου λάσπης έχει τιμές μεταξύ 50 και 100ml/L αναγνωρίζεται ως χαρακτηριστικό καλής καθίζησης (Dewil et al., 2006).

5.3 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο στο διαλυτό οργανικό φορτίο

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι μία σφαιρική παράμετρος που δείχνει την απαραίτητη συγκέντρωση οξυγόνου για την οξείδωση όλων των οξειδώσιμων υλικών από ένα ορισμένο οξειδωτικό μέσο παρουσία ενός καταλύτη. Οι αλλαγές στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο παρουσιάζουν έμμεσα την ποσότητα των οργανικών υλικών που έχουν μεταφερθεί στην υγρή φάση από τη λύση της στερεής φάσης.

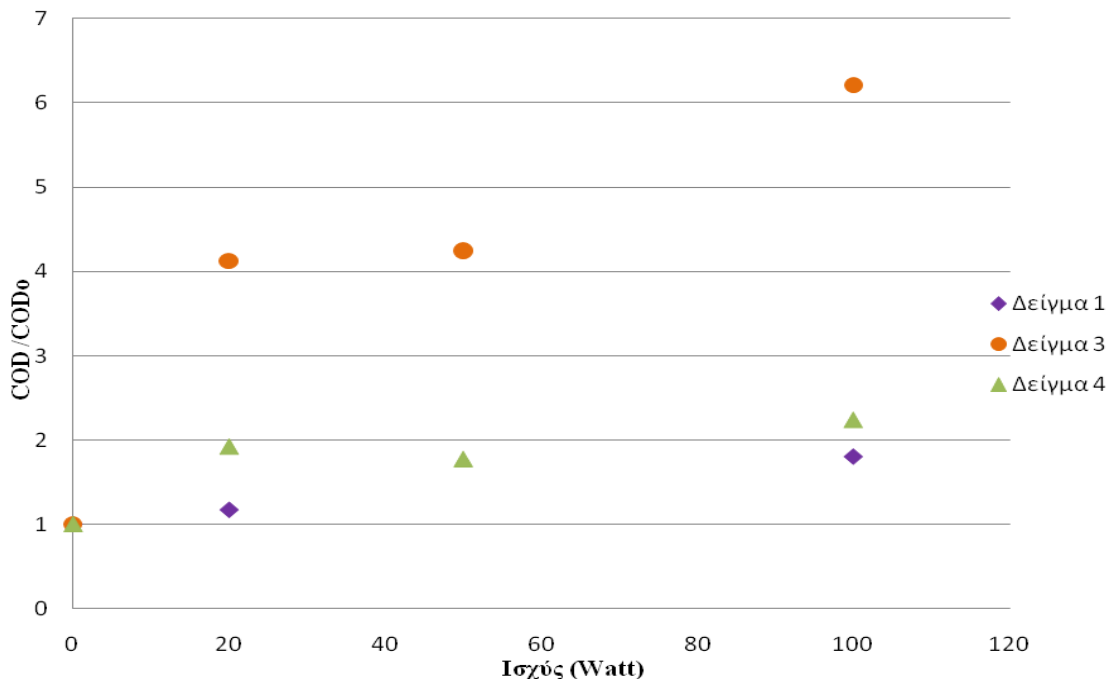
Στο σχήμα 36 παρουσιάζεται η επίδραση των υπερήχων στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο του διαλυτού οργανικού φορτίου. Τα δείγματά μας ηχοβολήθηκαν σε ισχύς 20-50-100Watt για 5min.



Σχήμα 36: Επίδραση των υπερήχων στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο

Η διάσπαση των μικροβιακών κυτταρικών τοιχωμάτων οδηγεί στην απελευθέρωση των ενδοκυτταρικών οργανικών ενώσεων στην υγρή φάση της ύλης, ως εκ τούτου με τον προσδιορισμό του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου μπορεί να καταγραφεί η έκταση της αποσύνθεσης των κυττάρων. Με βάση αυτό δικαιολογείται και η αύξησή του όσο αυξάνεται η ισχύς των υπερήχων (Σχήμα 36) (Kidak et al., 2008).

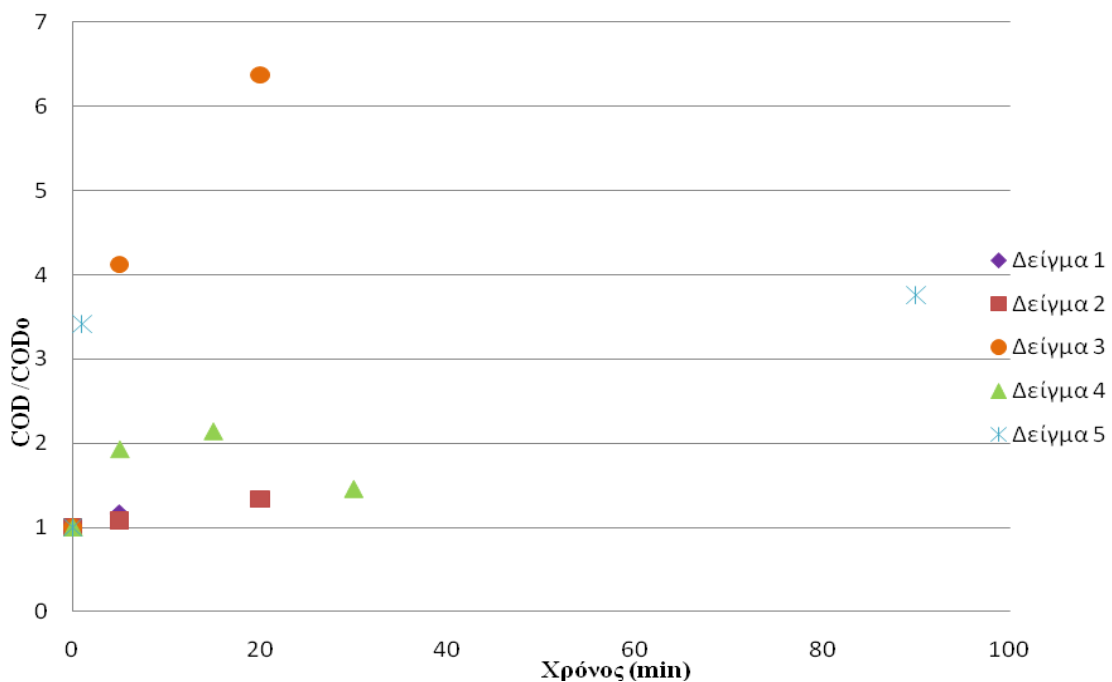
Στο σχήμα 37 παρουσιάζεται η μεταβολή της επίδρασης των υπερήχων στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο.



Σχήμα 37: Μεταβολή επίδραση των υπερήχων στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο

Όπως αναμενόταν τα βιοστερεά μετατρέπονται σε βιοαποικοδομήσιμα οργανικά στερεά και αποδεσμεύουν το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Dewil et al., 2006).

Στο σχήμα 38 παρουσιάζεται η επίδραση του χρόνου των υπερήχων στο ποσοστό του χημικά απαιτούμενο οξυγόνο. Εφαρμόστηκε σε όλα τα δείγματα ηχοβόληση σε 20Watt, για χρονικό διάστημα 1 μέχρι 90min.



Σχήμα 38: Επίδραση των υπερήχων στο χημικά απαιτούμενο οξυγόνο

Σύμφωνα με τους Naddeo et al. (2009), η εφαρμογή των υπερήχων αυξάνει το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που είναι προφανές παρατηρώντας το σχήμα 38.

6. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή εξετάστηκε η επίδραση των υπερήχων στις ιδιότητες της περιόσμιας ιλύος που προέρχεται από μια εγκατάσταση ενεργού ιλύος. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η επίδραση από την εφαρμογή υπερήχων με διαφορετική ισχύ (από 0 μέχρι 100 W) και σε διαφορετικούς χρόνους παραμονής (από 0 μέχρι 90 min), στις ιδιότητες της ιλύος και ειδικότερα στη συγκέντρωση σε αιωρούμενα σωματίδια (ολικά και πτητικά), στη συγκέντρωση σε διαλυτό οργανικό φορτίο, στις ιδιότητες καθίζησης της λάσπης. Από τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

Η επίδραση των υπερήχων στην παρουσία των στερεών σωματιδίων εξαρτάται άμεσα από το χρόνο παραμονής και την ισχύ των υπερήχων. Σε ήπιες συνθήκες και σε μικρούς χρόνους παραμονής παρατηρήθηκε μια αύξηση των συγκεντρώσεων σε αιωρούμενα σωματίδια που πιθανά να οφείλεται σε μεγαλύτερη συσσωμάτωση των σωματιδίων και δημιουργία μεγαλύτερων κροκίδων. Αντίθετα, σε πιο έντονες συνθήκες, όπως μεγάλους χρόνους παραμονής και υψηλές τιμές ισχύος, παρατηρήθηκε μείωση της περιεκτικότητας σε στερεά σωματίδια, που αποδόθηκαν σε καταστροφή των κυττάρων. Σε τέτοιες συνθήκες, οι συγκεντρώσεις των στερεών σωματιδίων μειωνόταν περίπου στο 50% των αρχικών συγκεντρώσεων.

Παρόμοια, εξαιτίας της λύσης των κυττάρων παρουσιαζόταν αύξηση ως προς τη συγκέντρωση των πτητικών συστατικών αλλά και ως προς την περιεκτικότητα σε διαλυτό οργανικό φορτίο στο ανάμικτο υγρό. Έτσι, σε έντονες συνθήκες επίδρασης το διαλυτό COD στο υγρό μίγμα αυξανόταν σε τιμές που ξεπερνούσαν τα 200mg/L, όταν οι αντίστοιχες τιμές στα αρχικά δείγματα, αλλά και στα δείγματα που είχαν υποστεί επεξεργασία δεν ξεπερνούσε τα 100mg/L.

Εξαιτίας της καταστροφής των κυττάρων το μέγεθος αυτών ελαττωνόταν με την επίδραση των υπερήχων, όπως άλλωστε έγινε φανερό και από την παρατήρηση των δειγμάτων με μικροσκόπιο αλλά και από την ανάλυση της κατανομής του μεγέθους των σωματιδίων. Πράγματι, σε έντονες συνθήκες επίδρασης, φαίνεται ότι συμβαίνει λύση των κυττάρων, μείωση του μεγέθους των σωματιδίων και αύξηση του οργανικού υλικού που εισέρχεται στο διάλυμα. Παράλληλα, φαίνεται ότι με την επίδραση των υπερήχων βελτιώνονται οι ιδιότητες καθίζησης της ιλύος, όπως παρατηρήθηκε από τις τιμές του δείκτη όγκου λάσπης, ο οποίος ελαττωνόταν με την επίδραση των υπερήχων.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή των υπερήχων σε ένα ρεύμα περίσσειας ιλύος μπορεί να αποτελέσει μια μέθοδο για την επεξεργασία της ιλύος, που μπορεί να βελτιώσει τις ιδιότητες της λάσπης ως προς την καθίζηση αλλά και να ενισχύσει το επόμενο στάδιο επεξεργασίας της ιλύος πχ με αναερόβια χώνευση.

7. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Από τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, μπορούν να προκύψουν οι εξής προτάσεις, προκειμένου να συνεχιστεί περαιτέρω η ερευνητική αυτή δουλειά:

Μελέτη της επίδρασης των υπερήχων με διαφορετικές συχνότητες προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση της συχνότητας στις ιδιότητες της ιλύος.

Συνδυασμό της διεργασίας αυτής των υπερήχων σε υψηλή ισχύ, με άλλες διεργασίες που εφαρμόζονται κατά την επεξεργασία της ιλύος, πχ αναερόβια χώνευση και διερεύνηση του διαλυτού οργανικού φορτίου στο υπερκείμενο υγρό.

Μελέτη της δυνατότητας επίδρασης των υπερήχων σε ήπιες συνθήκες για την ενεργοποίηση των οργανισμών ενεργού ιλύος με στόχο την αύξηση της απόδοσης μιας τυπικής μονάδας με βιολογική βαθμίδα.

Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης των υπερήχων για την απολύμανση των υγρών αποβλήτων αλλά και για την πιθανή απολύμανση της περίσσειας ιλύος.

8. Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- APHA-AWWA-WEF, “ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20th Edition, 1998
- Arden E. and Lockett W.T. (1914). Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters. *Journal of the Society of Chemical Industry*, **33**, 523–539.
- Bitton G. (1999). *Wastewater Microbiology*, Wiley and Sons, New York, USA.
- Davis M.L. and Cornwell D.A. (1998). *Introduction to environmental engineering*, 3rd edition, pp 683-89, Mc Graw-Hill Inc.
- Davis R.D. and Hall J.E. (1997). *Water Pollution Control*, pp 9-17, JAI Press.
- Dewil R., Baeyens J., Goutvrind R., (2006). *The Use of Ultrasonics in the Treatment of Waste Activated Sludge*, Belgium
- Elpiner I.E. (1964). *Ultrasound: Physical, chemical and biological effects*, Consultants Bureau, pp 31-35, New York.
- Fringuelli F., Taticchi A., (2002) *The Diels – Alder Reaction Selected Practical Methods*, John Wiley & Sons LTD, Italy.
- Gibson J., Hon H., Farnood R., Droppo I. & Seto P. (2009). Effects of ultrasound on suspended particles in municipal wastewater. *Water Research*, 43, 2251–2259, Canada.
- Gray N. F. (1990). *Activated Sludge: Theory and Practise*. Oxford University Press, New York, U.S.A.
- Hall J. & Nina P. (2000). *The new chemistry*, Cambridge Univercity Press, UK.

- Hedrick M., Wayne R., Hykes B., David L., Strachman C., Dale E. and Mosby T. (1995). Ultrasound physics and instrumentation. *Journal of the Society of Chemical Industry*, **67**, 10-12.
- Huan L., Yiyang J., Mahar R., Zhiyu W., Yongfeng N., (2007). Effects of ultrasonic disintegration on sludge microbial activity and dewaterability, China.
- Jenkins D., Richard M. and Daigger G. (1993). Manual on the causes and control of activated sludge. In: *Bulking and Foaming*, 2nd Edition, Lewis Publishers, U.S.A.
- Jorgensen E. S. and Johnsen I. (1989). Principles of Environmental Science and Technology. In: *Environmental science and technology*, 2nd revised Edition, Amsterdam.
- Katoh R., Yanase E., Yokoi H., Usuba S., Kakudate Y. and Fujiwara S. (1998). Ultrasonics Sonochemistry. *JAI Press*, **5**, 37.
- Kidak R., Wilhelm A. & Delmas H. (2008). Effect of process parameters on the energy requirement in ultrasonical treatment of waste sludge. *Chemical Engineering and Processing*, **48**, 1346–1352, France
- Kopp J., Muller J., Dichtl N. and Schwedes J. (1997). Anaerobic digestion and dewatering characteristics of mechanically disintegrated excess sludge. *Water Science and Technology*, **36**, 129-136.
- Laurent J., Casellas M., Pons M. & Dagot C. (2009). Flocculation surface functionality assessment of sonicated activated sludge in relation with physico-chemical properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, **16**, 488–494, France
- Pugin B. & Turner A.T. (1990). Influence of ultrasound on reactions with metals. In: *Advances in Sonochemistry* (Mason T.J., Ed), pp 81-118, JAI Press, London.

- Marthur A., Khare S. and Rupainwar D. (1989). Removal of heavy metals from main sewer-water of Varanasi city by adsorption on fly ash and blast furnace slag, *Journal of Industrial Pollution Control*, **5**, 52-7.
- Metcalf T. and Eddy S. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edition, McGraw Hill, New York, U.S.A.
- Metcalf T. and Eddy S. (2007). *Μηχανική υγρών αποβλήτων*, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα.
- Mues B. and Peiffer A. (1999). Design of ultrasound systems for low and high frequencies. In: *Ultrasound in Environmental Engineering* (Tiehm A. and Neis U., Eds), pp 91-99, TUHH Reports on Sanitary Engineering, Hamburg-Harburg.
- Naddeo V., Belgiorno V., Landi M, Zarra T. & R.M.A. Napoli. (2009). Effect of sonolysis on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability. *Desalination*, 249, 762–767, Italy
- Neis U., Nickel K. & Tiehm A. (2001). Ultrasonic disintegration of sewage sludge for enhanced anaerobic biodegradation. In: *Advances in Sonochemistry* (Mason T., Ed), Band 6, Elsevier Science, England, im Druck.
- Pirkonen P. (2001). Ultrasound in filtration and sludge dewatering. In: *Ultrasound in Environmental Protection* (Mason T.J., Tiehm A., Eds), Band 6, Elsevier Science, England.
- Salsabil M., Prorot A., Casellasa M. & Dagot C. (2008). Pre-treatment of activated sludge: Effect of sonication on aerobic and anaerobic digestibility. *Chemical Engineering Journal*, 148, 327–335, France
- Senapati N. (1991). Ultrasound in chemical processing. In: *Advances in Sonochemistry*, pp 187-210, JAI Press, London.

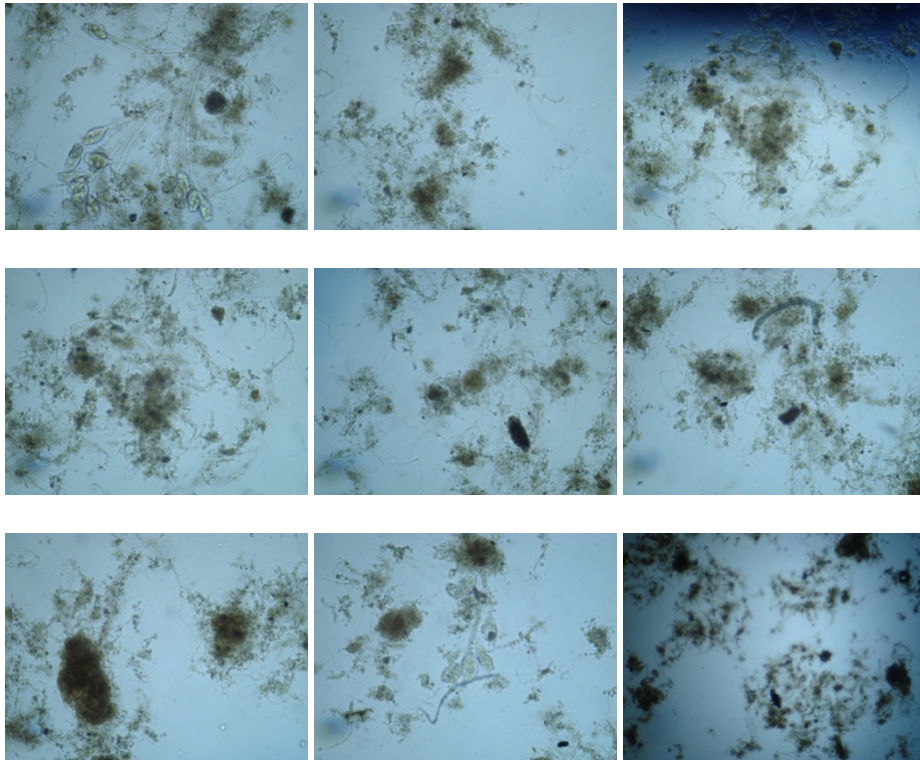
- Schneider D. (1999). Construction of a high performance reactor. In: *Ultrasound in Environmental Engineering* (Tiehm A., Neis U.,Eds), pp 101-121, TUHH Reports on Sanitary Engineering, Hamburg-Harburg.
- Tarleton E.S. and Wakeman R.J. (1997). Ultra-sonically assisted separation processes. In: *Ultrasound in Food Processing* (Povey M.J.W., Mason T.J., Eds), pp 193-210, Thomson Science, London.
- Tchobanoglous G. and Burton F. (1991). Treatment, Disposal and Reuse. In: *Wastewater Engineering*, (Metcalf T. & Eddy A., Eds), 3rd edition, McGraw-Hill, New York, USA.
- Tiehm A., Nickel K. and Neis U. (1997). The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage biosolid. *Water Science and Technology*, **36**, 121-128.
- Wesley W. & Eckenfelder J. (2000). Industrial water pollution control, 3rd Edition, McGraw Hill Companies.
- Wünsch B., Heine W., Neis U., (2002). Combatting bulking sludge with ultrasound,Germany

Ελληνική βιβλιογραφία

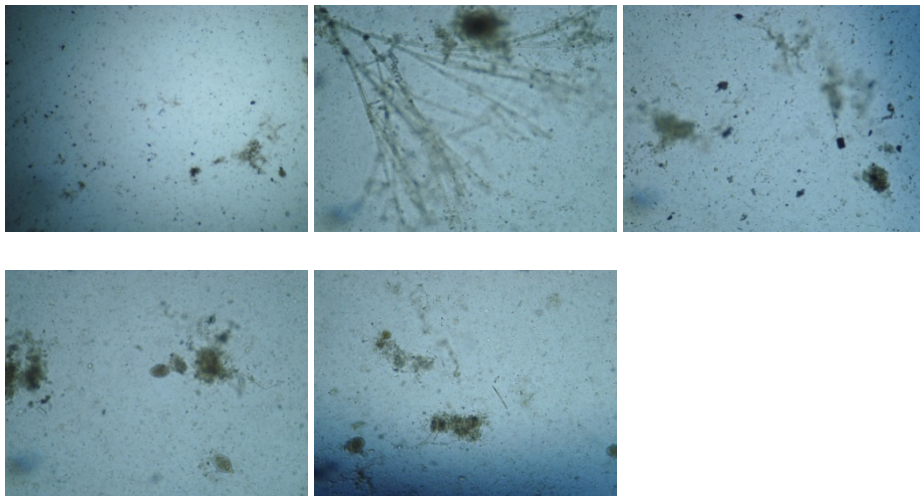
- Ανδρεαδάκης Α., Μαμαής Δ. και Κατσίρη Α. (2001). Επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων, Έκδοση Ε. Α. Π, Πάτρα.
- Καϊμακαμίδου Β. (2002). Βιοκοινωνίες ως δείκτες αξιολόγησης μονάδων επεξεργασίας λυμάτων. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα πολιτικών μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- Μαρκαντωνάτος Γ. (1990). Επεξεργασία και διάθεση υγρών αποβλήτων, Αθήνα.
- Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.
- Παταρούδη Σ. και Μπατσίλα Μ. (2005). Οξειδωση οργανικών ρύπων σε υδατικά διαλύματα διασποράς με υπερήχους και με συμβατικές μεθόδους, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Χριστούλας Δ.Γ., Ανδρεαδάκης Α.Δ., Κουζέλη-Κατσίρη Α., Αφτιάς Ε. και Μάμαης Δ. (1999). Διαχείριση της παραγόμενης ιλύος κατά τη λειτουργία του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Ψυττάλειας, Heleco'99, Τόμος Ι, pp 63-71, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

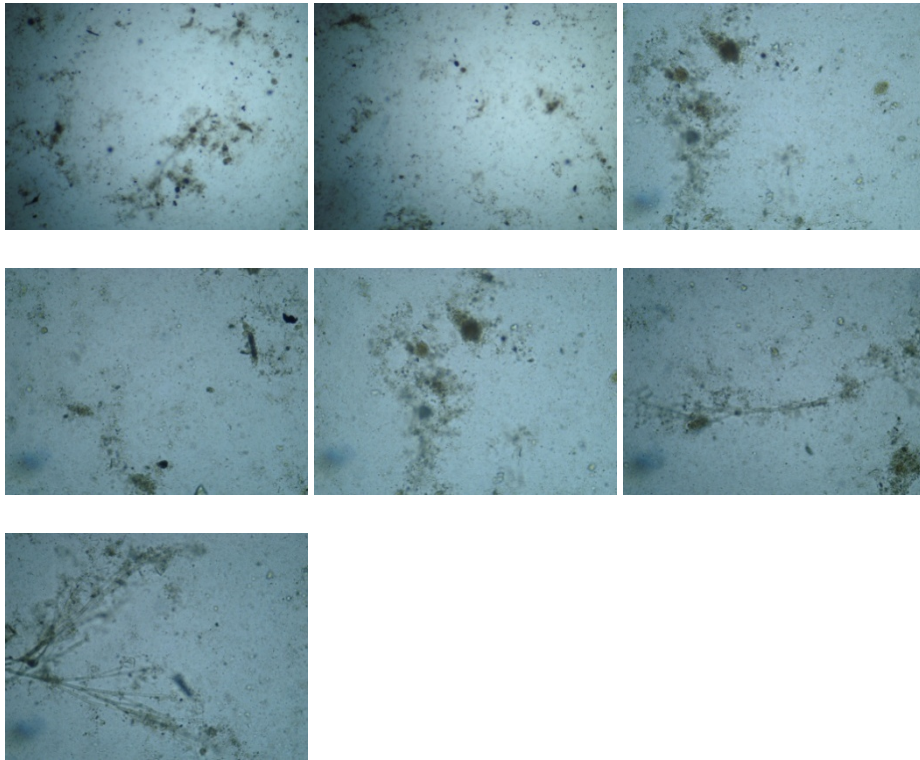
Δείγμα Αρχικό



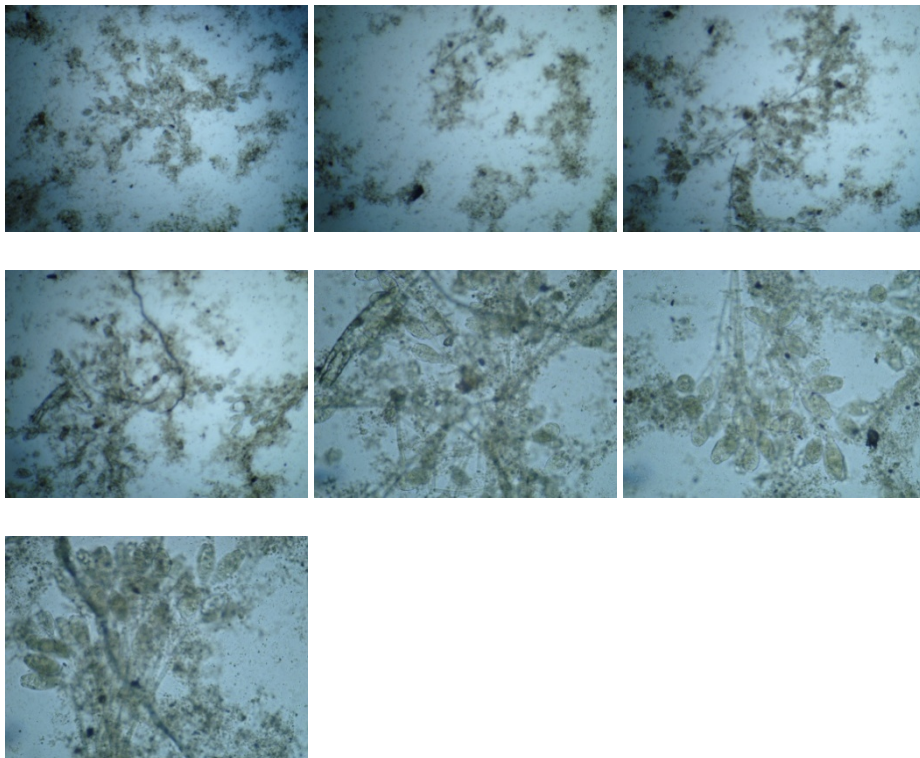
Δείγμα 1^ο (Ηχοβόληση για 30min σε ισχύς 100)



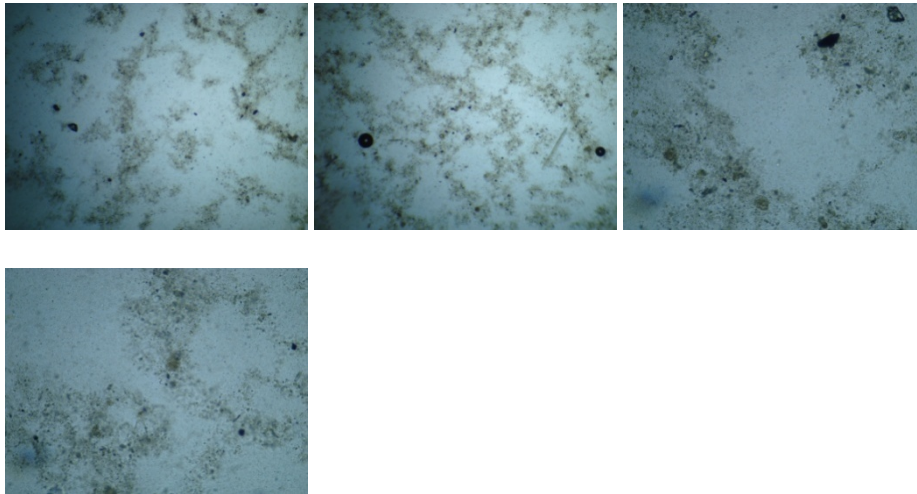
Δείγμα 2^ο (Ηχοβόληση για 15min σε ισχύς 100)



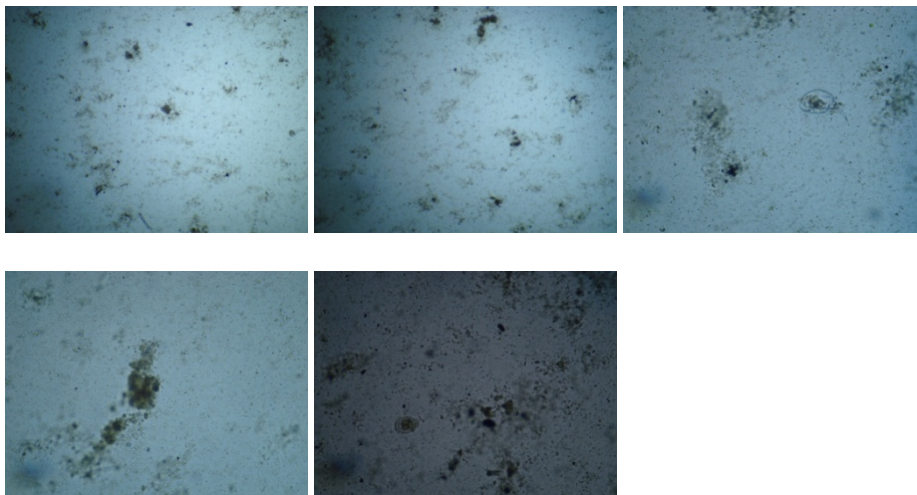
Δείγμα 3^ο (Ηχοβόληση για 5min σε ισχύς 50)



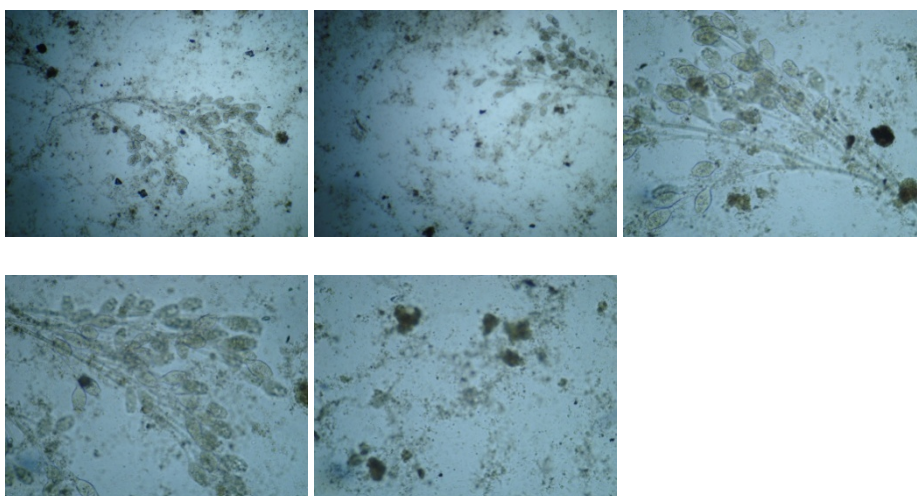
Δείγμα 4° (Ηχοβόληση για 30min σε ισχύς 50)



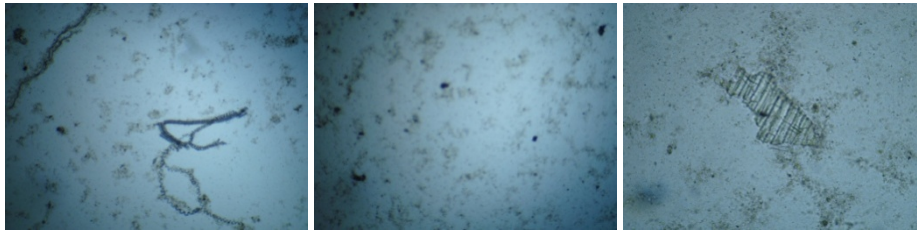
Δείγμα 5° (Ηχοβόληση για 15min σε ισχύς 50)



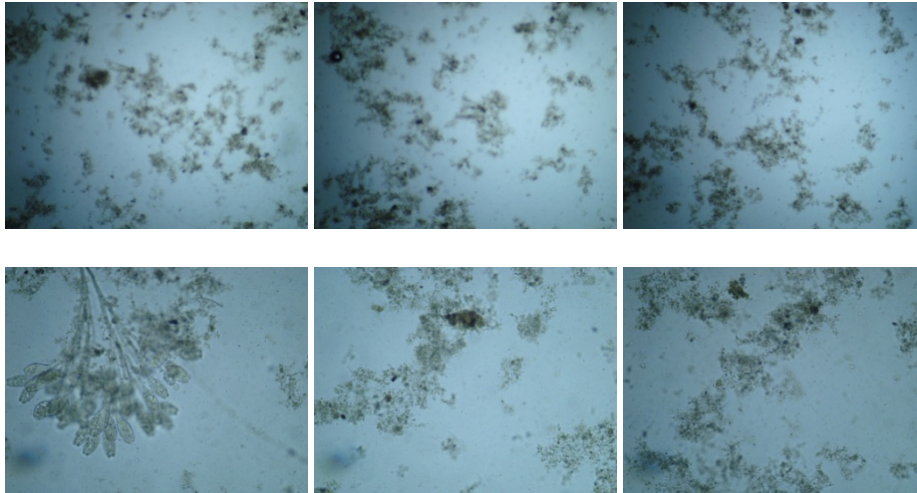
Δείγμα 6° (Ηχοβόληση για 5min σε ισχύς 50)



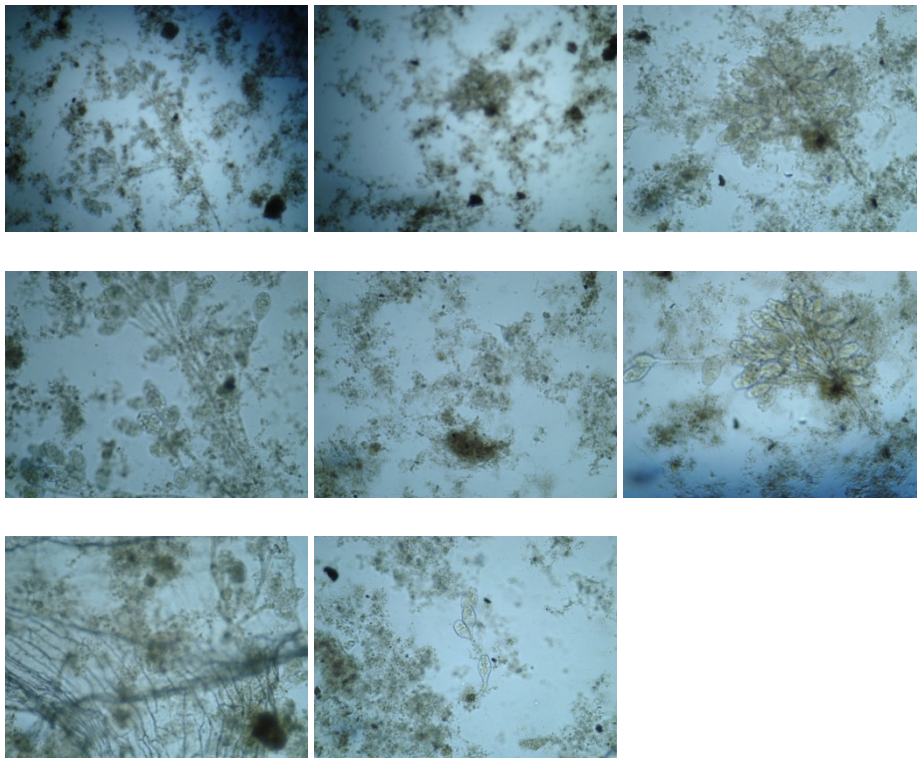
Δείγμα 7^ο (Ηχοβόληση για 30min σε ισχύς 20)



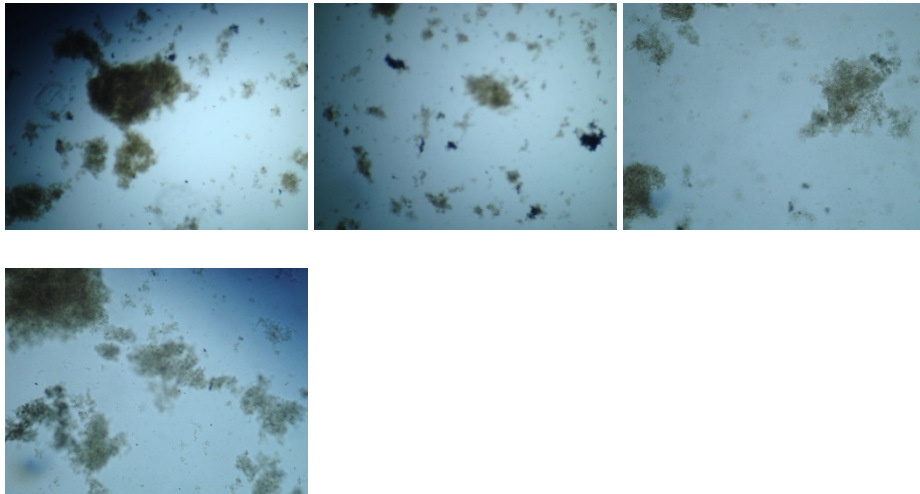
Δείγμα 8^ο (Ηχοβόληση για 15min σε ισχύς 20)



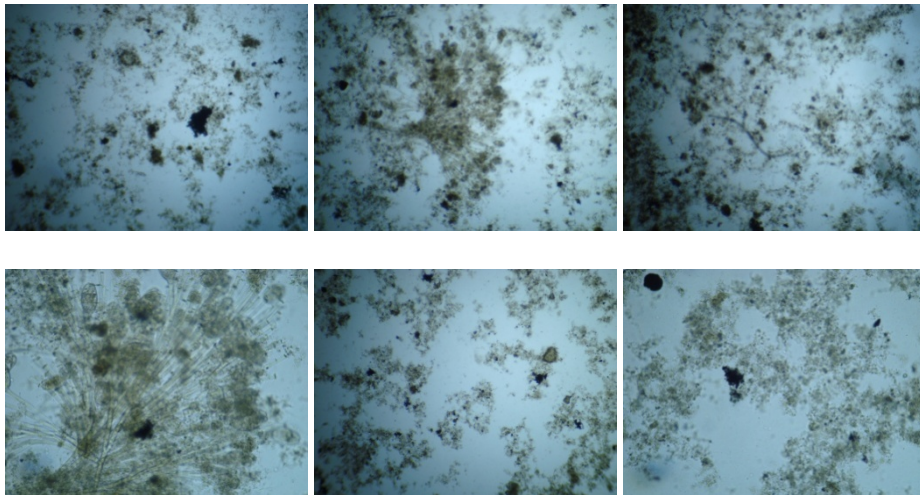
Δείγμα 9^ο (Ηχοβόληση για 5min σε ισχύς 20)



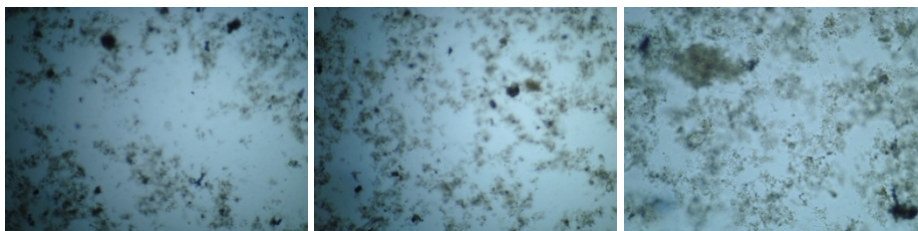
Δείγμα 1^ο (Ηχοβόληση για 20min σε ισχύς 20)



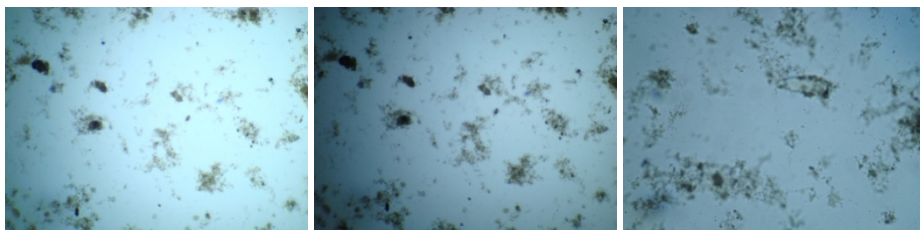
Δείγμα 2^ο (Ηχοβόληση για 5min σε ισχύς 20)



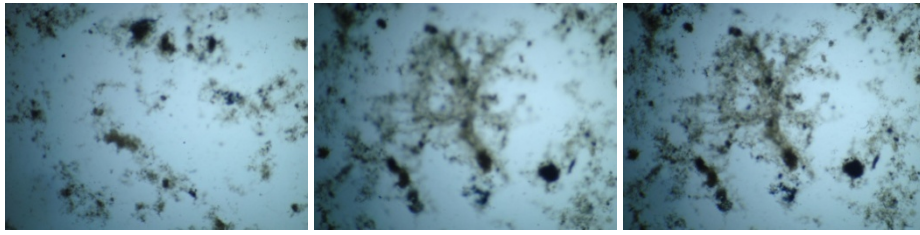
Δείγμα 3^ο (Ηχοβόληση για 20min σε ισχύς 50)



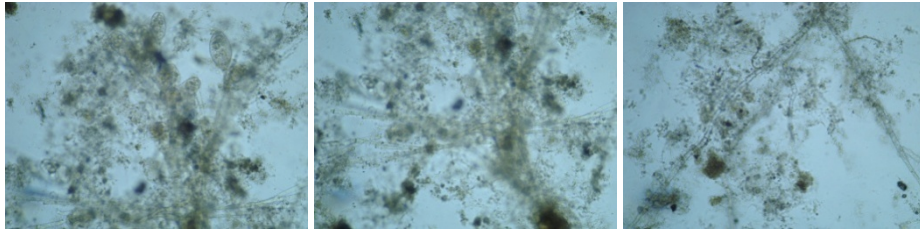
Δείγμα 4^ο (Ηχοβόληση για 5min σε ισχύς 50)



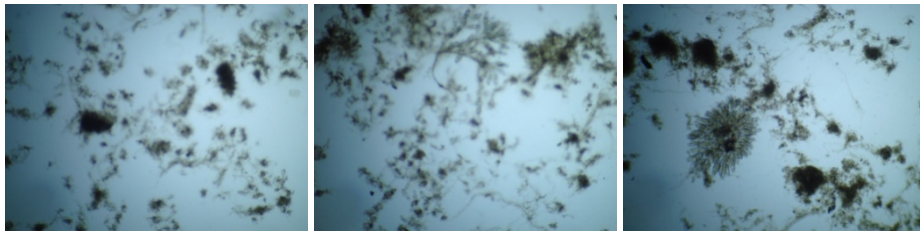
Δείγμα 5° (Ηχοβόληση για 20min σε ισχύς 100)



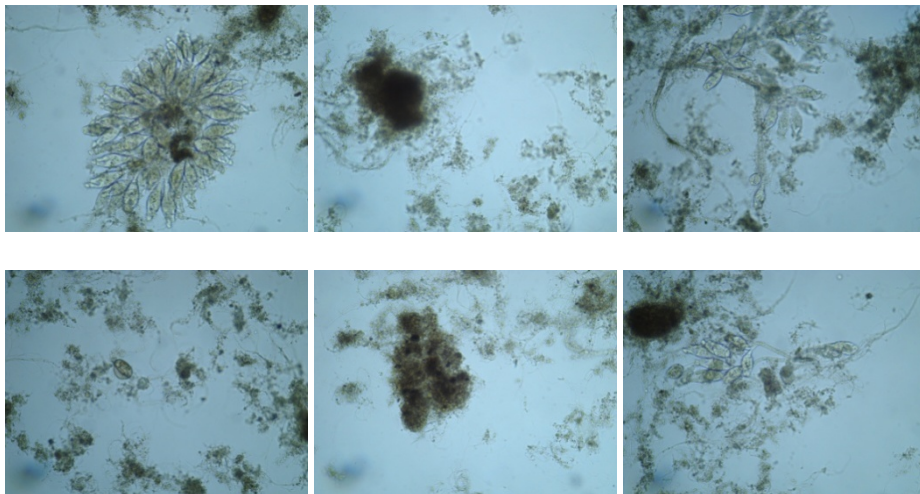
Δείγμα 6° (Ηχοβόληση για 5min σε ισχύς 100)



Αρχικό
(10)

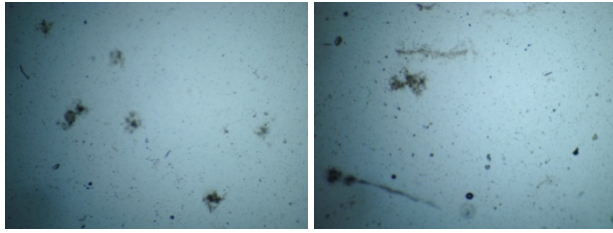


(40)

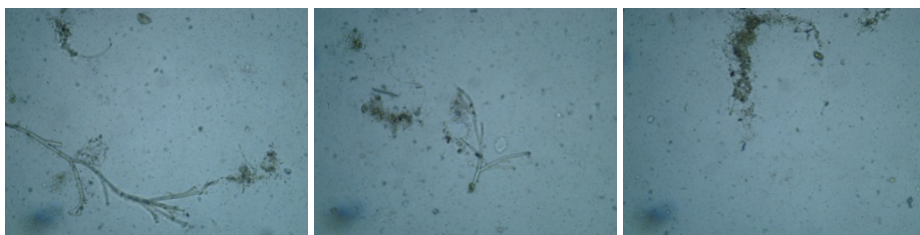


Δείγμα 1° (Ηχοβόληση για 90min σε ισχύς 100)

(10)

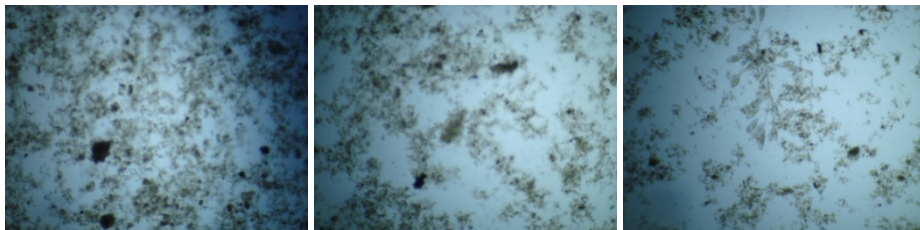


(40)

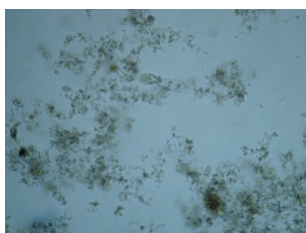
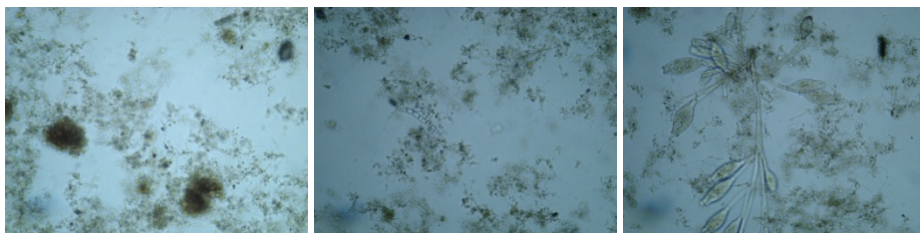


Δείγμα 2° (Ηχοβόληση για 1min σε ισχύς 100)

(10)

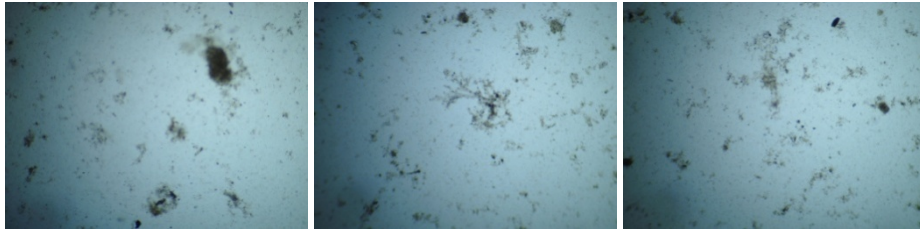


(40)

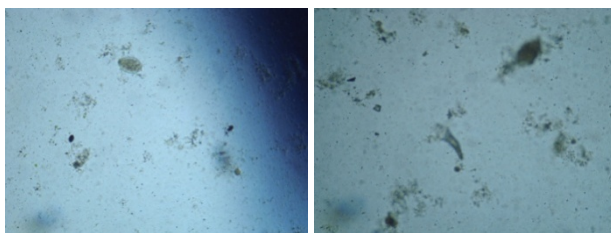


Δείγμα 3° (Ηχοβόληση για 90min σε ισχύς 50)

(10)

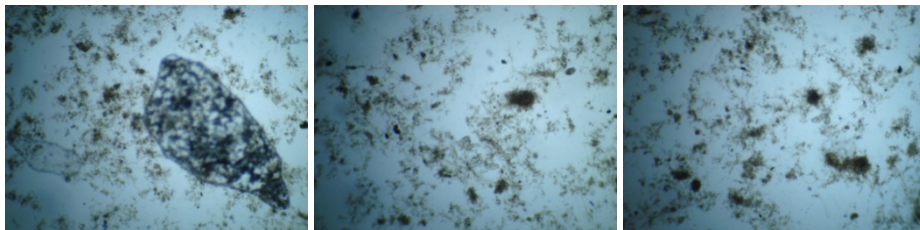


(40)

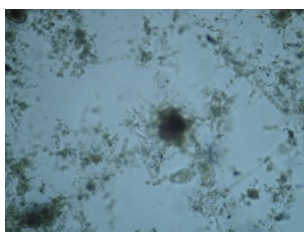
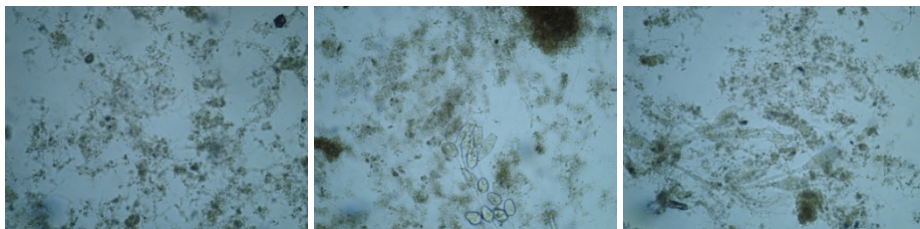


Δείγμα 4° (Ηχοβόληση για 1min σε ισχύς 50)

(10)

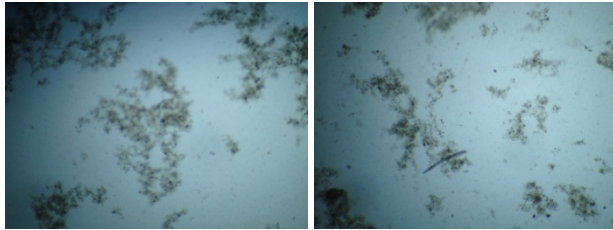


(40)

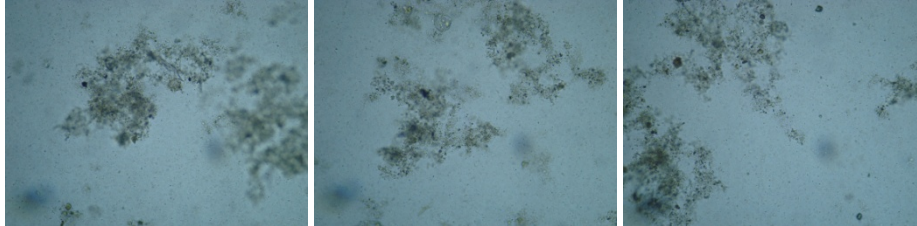


Δείγμα 5° (Ηχοβόληση για 90min σε ισχύς 20)

(10)

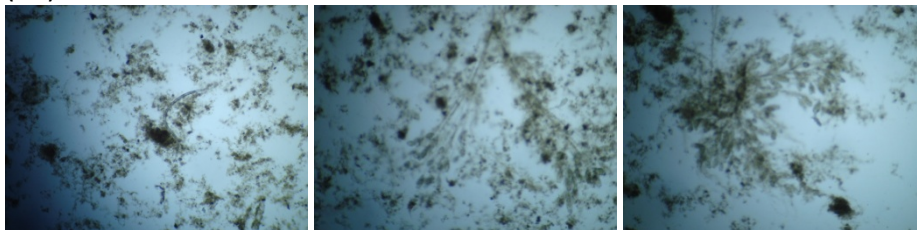


(40)



Δείγμα 6° (Ηχοβόληση για 1min σε ισχύς 20)

(10)



(40)

