



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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση χρωμίου στην ανάπτυξη των
μικροοργανισμών σε συστήματα τύπου ενεργού
ιλύος**

**Κακανά Ιωάννα
Προβατίδου Μαριάνθη**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2010

Επίδραση χρωμίου στην ανάπτυξη των
μικροοργανισμών σε συστήματα τύπου ενεργού
ιλύος

Κακανά Ιωάννα
Προβατίδου Μαριάνθη

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

Ημερομηνία

17-09-2010

Εισηγητής

Σαμαράς Πέτρος

Επίδραση χρωμίου στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε συστήματα τύπου ενεργού ιλύος

Κακανά Ιωάννα
Προβατίδου Μαριάνθη

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

Περίληψη

Η εργασία αυτή έχει ως αντικείμενο τη μελέτη της επίδρασης του χρωμίου στην πορεία ανάπτυξης των μικροοργανισμών, σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος διαλείπουσας λειτουργίας, στο οποίο λαμβάνει χώρα η επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν οι βιοκοινωνίες της ενεργού ιλύος σε δύο συστήματα αντιδραστήρων, ένα σύστημα εναλλασσόμενων φάσεων διαλείπουσας λειτουργίας με αιωρούμενη βιομάζα και ένα παρόμοιο σύστημα στο οποίο όμως είχε προστεθεί πληρωτικό υλικό. Η επίδραση του χρωμίου μελετήθηκε με την προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων του μετάλλου σε δόσεις που κυμαινόταν από 50 μέχρι 200 mg/L.

Η απόδοση λειτουργίας του αντιδραστήρα και η επίδραση του χρωμίου μελετήθηκε με τη μέτρηση της συγκέντρωσης του χρωμίου στην εκροή και με τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης σε στερεά σωματίδια. Παράλληλα σε δείγματα που συλλεγόταν από το ανάμικτο υγρό των αντιδραστήρων έγινε ανίχνευση και προσδιορισμών των σημαντικότερων ειδών από τους ενεργούς μικροοργανισμούς.

Από την ανάλυση του είδους των μικροοργανισμών προέκυψε ότι η μικροπανίδα στην δεξαμενή αερισμού περιλαμβάνει κυρίως *βλεφαριδοφόρα* και *μαστιγοφόρα πρωτόζωα* ως την κύρια μορφή μικροοργανισμών σε τέτοιου είδους συστήματα. Παράλληλα, το είδος του αντιδραστήρα επηρέαζε την ανάπτυξη συγκεκριμένων ειδών, μετά την επίδραση του χρωμίου: στον αντιδραστήρα με το πληρωτικό υλικό εμφανιζόταν παρόμοια είδη με τον αντιδραστήρα χωρίς πληρωτικό υλικό αλλά σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, που μπορεί να έφτανε τη μία εβδομάδα. Επιπλέον, η μικροπανίδα των οργανισμών της ενεργού ιλύος διαταράσσονταν ανάλογα με την συγκέντρωση του χρωμίου, που προστίθονταν μέσα στους αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας. Γενικά, η σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του χρωμίου επέφερε αλλαγές στα είδη των οργανισμών, αλλά και τα δύο συστήματα αντιδραστήρων επέστρεφαν στην αρχική τους κατάσταση μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Περιεχόμενα

	Σελίδα
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	3
1.1 Επεξεργασία αποβλήτων.....	4
1.2 Ενεργός ιλύς.....	9
1.3 Συστήματα τύπου ενεργού ιλύος.....	10
1.4 Μικροβιολογία ενεργού ιλύος.....	17
1.5 Βιοκροκίδωση.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	28
2.1 Αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας SBR.....	28
2.2 Αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας με πληρωτικό υλικό SBBR.....	31
2.3 Σύγκριση μεταξύ των αντιδραστήρων SBR και SBBR.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	35
3.1 Χρήσεις του μεταλλικού χρωμίου.....	38
3.2 Βιομηχανικές χρήσεις του εξασθενούς χρωμίου.....	38
3.3 Νομοθετημένα όρια χρωμίου.....	40
3.4 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	40
3.5 Χρώμιο στο πόσιμο νερό.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	42
4.1 Περιγραφή εργαστηριακής μονάδος επεξεργασίας της ενεργού ιλύος.....	42
4.2 Μέτρηση στερεών.....	45

	Σελίδα
4.3 Μικροσκοπική εξέταση.....	45
4.4 Μέτρηση χρωμίου – Πρότυπη καμπύλη αναφοράς.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	49
5.1 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	65
6.1 Συμπεράσματα.....	65
6.2 Προτάσεις	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διεργασία της ενεργού ιλύος είναι μια βιολογική μέθοδος επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων. Με τον όρο αστικά λύματα αναφερόμαστε στα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τις δραστηριότητες μιας πόλης, ενώ τα βιομηχανικά προέρχονται από τις δραστηριότητες μιας βιομηχανίας. Στόχος αυτής της διεργασίας είναι να απομακρυνθούν οργανικές ουσίες από τα λύματα.

Η μέθοδος της ενεργού ιλύος είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη διεργασία, η οποία βασίζεται στην ανάπτυξη κατάλληλων βακτηριακών ειδών και άλλων οργανισμών σε μια δεξαμενή αερισμού. Αυτοί οι οργανισμοί διαχωρίζονται εύκολα από την υδατική φάση των λυμάτων κατά την διάρκεια περαιτέρω διεργασιών. Το υγρό που περιέχεται στο βιολογικό αντιδραστήρα αποτελείται από ανεπεξέργαστα απόβλητα, καθώς και από την ενεργό ιλύ.

Οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται μέσα σε έναν βιολογικό αντιδραστήρα συναγωνίζονται για την τροφή και σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούν τα ίδια τους τα κύτταρα ως πηγή ενέργειας. Τα βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα μαζί με τα βακτήρια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά την δράση της ενεργού ιλύος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Δείγμα της ενεργού ιλύος εξετάζεται σε μικροσκόπιο για να ελεγχθεί η μικροπανίδα στη δεξαμενή αερισμού του συστήματος.

Το χρώμιο αποτελεί έναν κοινό ρύπο που εμφανίζεται κυρίως σε βιομηχανικά λύματα. Τα άλατα του χρωμίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες, όπως είναι η βυρσοδεψεία, κλωστουφαντουργία και άλλα. Το χρώμιο μπορεί να υπάρξει ως τρισθενές (Cr^{3+}) και εξασθενές (Cr^{6+}) χρώμιο. Ενώσεις του εξασθενούς

χρωμίου είναι ιδιαίτερα τοξικές και θεωρούνται ως μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες ουσίες.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στάδια επεξεργασίας των αποβλήτων καθώς και η μέθοδος της ενεργού ιλύος η οποία στηρίζεται σε ένα βακτηριακό πληθυσμό που βρίσκεται ανάμεικτος σε αιώρηση με τα απόβλητα κάτω από αερόβιες συνθήκες. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας SBR και SBBR (πληρωτικό υλικό) καθώς και τα στάδια διεργασίας τους. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε γενικές χρήσεις και ιδιότητες του χρωμίου. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά το πέρας της πειραματικής μας εργασίας.

Σκοπός της εργασίας ήταν να εξετάσουμε τον ρόλο διαφορετικών συγκεντρώσεων χρωμίου ως προς την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, σε δυο αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας με παρουσία και απουσία πληρωτικού υλικού, αντίστοιχα. Ακόμη, ως στόχο είχαμε την καταμέτρηση των αιωρούμενων στερεών τόσο από τους δυο αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας, όσο και από τα δυο στάδια απόρριψης των τελικών λυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η επεξεργασία λυμάτων είναι η διαδικασία που απομακρύνει τις επικίνδυνες ουσίες από τα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον. Τα λύματα μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις καθαρισμού μέσω των υπονόμων. Ο αντικειμενικός σκοπός της επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων είναι η ασφαλής διάθεση τους σε κάποιον αποδέκτη χωρίς κίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων ή την πρόκληση ρύπανσης στο φυσικό περιβάλλον.

Η επεξεργασία αυτή επιτυγχάνεται με έναν συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών μέσω των οποίων δεσμεύονται και αφαιρούνται οι ρύποι από τη μάζα του νερού ώστε να εξαλειφθούν ή να ελαττωθούν σε αποδεκτό επίπεδο οι δυσμενείς για τον τελικό αποδέκτη (έδαφος, επιφανειακά νερά κ.λπ.) συνέπειες.

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 δευτερεύουσα επιδίωξη η εξουδετέρωση των ρύπων.

1.1 Επεξεργασία αποβλήτων

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων χαρακτηρίζονται από το βαθμό καθαρισμού, ο οποίος καθορίζεται από το ποια βλαβερά συστατικά απομακρύνει. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται σχεδόν πάντα σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, οπότε ο καθαρισμός χαρακτηρίζεται πρωτοβάθμιος. Ο δευτεροβάθμιος ή συχνά αποκαλούμενος βιολογικός καθαρισμός αποσκοπεί στην απομάκρυνση και των οργανικών συστατικών και συχνά των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο τριτοβάθμιος αφορά την απομάκρυνση και των θρεπτικών συστατικών (φώσφορο και άζωτο).

Προ-επεξεργασία

Η προ-επεξεργασία ή προκαταρκτική επεξεργασία σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων γίνεται με στόχο να προστατευτούν οι επόμενες κύριες διαδικασίες επεξεργασίας από υλικά που περιέχονται στα λύματα και εγκυμονούν κινδύνους έμφραξης αγωγών, καταστροφής του μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ. αντλίες) και δυσλειτουργίας των μονάδων που ακολουθούν.

Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, που περιλαμβάνει τη λειτουργία δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης (Δ.Π.Κ.), είναι η απομάκρυνση αξιόλογου μέρους του οργανικού υλικού των λυμάτων που

βρίσκεται σε σωματιδιακή μορφή. Το μέρος αυτό του οργανικού υλικού μπορεί να απομακρυνθεί με καθίζηση και συλλογή των επιπλεόντων. Τυπικά 50 - 70% των συνολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και 30 - 40 % του οργανικού φορτίου (BOD_5) απομακρύνονται στην προκαθίζηση.

Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Σε αυτό το στάδιο γίνεται απομάκρυνση των οργανικών ουσιών των αποβλήτων, με βιολογικές διεργασίες (βιολογικός καθαρισμός) στις οποίες χρησιμοποιούνται μικροοργανισμοί που καταναλώνουν τις οργανικές ουσίες, είτε με οξείδωση και απόληψη ενέργειας, είτε για σύνθεση (δημιουργία νέας μικροβιακής μάζας). Στη συνέχεια οι μικροοργανισμοί απομακρύνονται από τα απόβλητα, μαζί με αιωρούμενα στερεά με καθίζηση ή κάποια άλλη διαδικασία.

Ο βιολογικός καθαρισμός στηρίζεται στην πραγματοποίηση των βιοχημικών διεργασιών που γίνονται ανεξέλεγκτα στη φύση (π.χ. κατά τη διοχέτευση των αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη), με ελεγχόμενο τρόπο σε ειδικές για το σκοπό αυτό δεξαμενές. Στις δεξαμενές αυτές παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες στους μικροοργανισμούς, που είναι η τροφή (οργανικά συστατικά των αποβλήτων) και το οξυγόνο, για να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν. Τη θέση των βλαβερών οργανικών συστατικών παίρνουν οι μικροοργανισμοί αυτοί (κυρίως βακτηρίδια), που όχι μόνο δεν είναι βλαβεροί, όπως οι παθογόνοι, αλλά αποτελούν και το «εργαλείο» καθαρισμού σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Το οξυγόνο παρέχεται στους μικροοργανισμούς τεχνητά, με διατάξεις που καλούνται αεριστήρες, οπότε και οι δεξαμενές καλούνται δεξαμενές αερισμού.

Τα συστήματα αερισμού σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στοχεύουν κυρίως στη μεταφορά ατμοσφαιρικού οξυγόνου

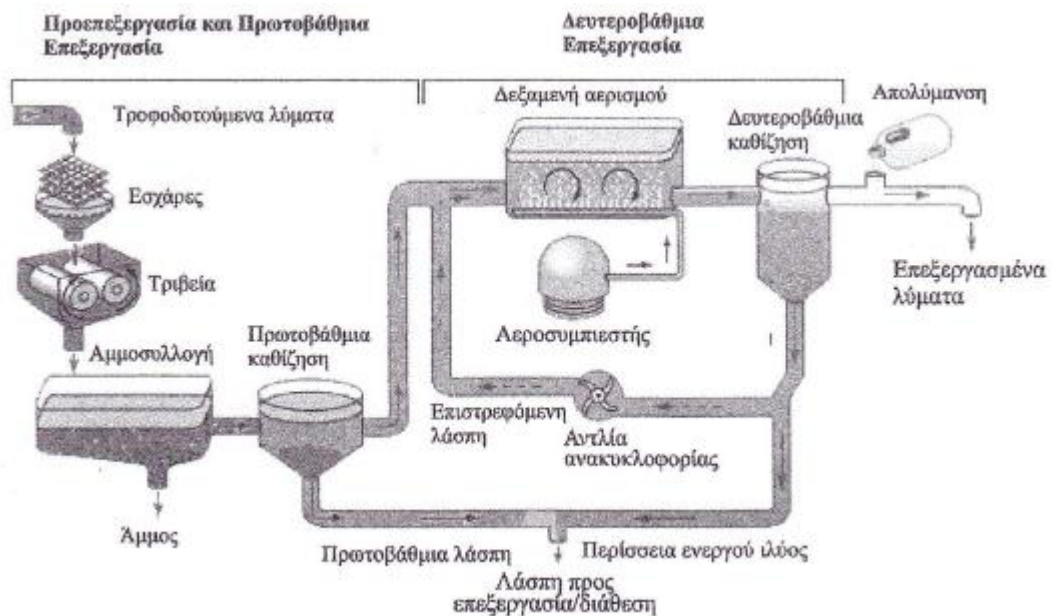
στην υγρή φάση (ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις σε διαλυμένο οξυγόνο για τη βιολογική ανάπτυξη. Λόγω της μικρής διαλυτότητας του οξυγόνου και του χαμηλού ρυθμού μεταφοράς του από τον ατμοσφαιρικό αέρα στην υγρή φάση συνήθως δεν επαρκεί η φυσική μεταφορά για την ικανοποίηση των βιολογικών διεργασιών σε αερόβια συστήματα αιωρούμενης βιομάζας. Για να επιτευχθεί το επίπεδο που είναι απαραίτητο θα πρέπει να δημιουργηθούν πρόσθετες διεπιφάνειες μεταφοράς. Οι διεπιφάνειες αυτές είναι δυνατόν να δημιουργηθούν είτε με είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα (ή οξυγόνου) στην υγρή φάση είτε με διασκορπισμό της υγρής φάσης υπό μορφή σταγονιδίου στην αέρια φάση (ατμοσφαιρικό αέρα).

Η κατανάλωση ενέργειας για αερισμό αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό του λειτουργικού κόστους σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (45%-60% σε συστήματα ενεργού ιλύος κλασσικού τύπου). Οι διατάξεις αερισμού επιτυγχάνουν συνήθως παράλληλα με την πρόσδοση διαλυμένου οξυγόνου και ανάμιξη-ομογενοποίηση του περιεχομένου της δεξαμενής αερισμού. Ο αερισμός γίνεται συνήθως με επιφανειακούς αεριστήρες ή με εμφύσηση αέρα.



Σχήμα 1. Αερόβιος Βιολογικός Καθαρισμός (Δεξαμενή Αερισμού)

Στο Σχήμα 2 φαίνεται το διάγραμμα ροής για μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Οι επιμέρους διεργασίες που είναι ο εσχαρισμός, ο τεμαχισμός σε τριβεία, η αμμοσυλλογή, η πρωτοβάθμια καθίζηση, ο αερισμός του βιολογικού σταδίου, η δευτεροβάθμια καθίζηση και η απολύμανση δίνονται συμβολικά.



Σχήμα 2. Γενική διάταξη μίας εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων

Το μίγμα των μικροοργανισμών και της τροφής αποτελούν την καλούμενη «ενεργό ιλύ» και η μέθοδος καλείται μέθοδος ενεργού ιλύος. Η ιλύς απομακρύνεται από τη μάζα των αποβλήτων, με το να αφεθούν τα απόβλητα να περάσουν σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (όμοιες με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης), όπου η ιλύς καθιζάνει και συλλέγεται στον πυθμένα των δεξαμενών αυτών, αποτελώντας τη λεγόμενη δευτεροβάθμια λάσπη, ενώ τα καθαρισμένα πλέον απόβλητα υπερχειλίζουν από την περιφέρεια των δεξαμενών. Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία, τα καθαρισμένα απόβλητα μπορούν να διατεθούν ακίνδυνα στον υδάτινο αποδέκτη, εφόσον ο αποδέκτης δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος. Τα καθαρισμένα απόβλητα υφίστανται μόνο τη διεργασία της απολύμανσης, συνήθως με χλωρίωση, για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διοχετεύονται στον αποδέκτη.

Τριτοβάθμια επεξεργασία

Σκοπός της τριτοβάθμιας επεξεργασίας αποβλήτων, είναι η απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών που δεν απομακρύνονται στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας όπως διάφορες ανόργανες ουσίες (χλωριούχα, θειικά κ.α.), ιχνοστοιχείων, ρυπαντών προτεραιότητας και πτητικών ενώσεων. Πολλές από τις ενώσεις αυτές είναι τοξικές στον άνθρωπο και στο υδρόβιο περιβάλλον. Έτσι αποκτούν ιδιαίτερη σημασία όταν περιέχονται σε επεξεργασμένα απόβλητα που διατίθενται σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά που μπορούν στη συνέχεια να εισέλθουν στο δίκτυο του πόσιμου νερού. Η απομάκρυνση αυτή αποσκοπεί στην προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος από ορισμένες ουσίες ή στην προετοιμασία των αποβλήτων για επαναχρησιμοποίηση.

Στην τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνονται φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες. Στις φυσικές περιλαμβάνονται η απομάκρυνση της αμμωνίας με εκρόφηση, των ολικών στερεών με διήθηση, και των διαλυτών στερεών με ηλεκτροδιάλυση ή όσμωση, στις χημικές η απομάκρυνση των νιτρικών και της αμμωνίας με ιοντοανταλλαγή, του φωσφόρου με χημική επεξεργασία-καθίζηση και των διαλυμένων οργανικών ουσιών χλωρίου και βαρέων μετάλλων με ενεργό άνθρακα, ενώ από τις βιολογικές σημαντικότεροι είναι η νιτροποίηση-απονιτροποίηση για την απομάκρυνση των ενώσεων του αζώτου (Σαμαράς, 2004).

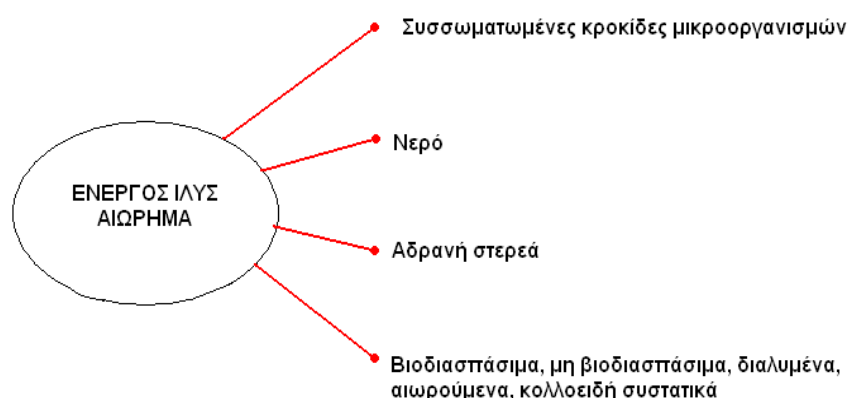
1.2 Ενεργός ιλύς

Η ενεργός ιλύς μπορεί να οριστεί ως αιώρημα από συσσωματωμένες κροκίδες μικροοργανισμών, νερό, αδρανή στερεά, βιοδιασπάσιμα και μη βιοδιασπάσιμα, διαλυμένα, αιωρούμενα και κολλοειδή συστατικά. Το οργανικό αυτό τμήμα, μπορεί να παρασταθεί

με τον τύπο $C_5H_7NO_2$. Επίσης, αποτελείται από ανόργανα στερεά όπως K, Na, Mg, S, Ca, Fe και άλλα ιχνοστοιχεία (ΕΠΕΜ, 2006).

Οι κύριοι στόχοι της επεξεργασίας της ιλύος είναι: η ελάττωση του όγκου με απομάκρυνση μέρους του νερού και η αποδόμηση των οργανικών ουσιών.

Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει συνήθως μετά από την συλλογή και προσωρινή αποθήκευση: συμπύκνωση της ιλύος, χώνευση, πάχυνση και αφυδάτωση, θερμική επεξεργασία και τελική διάθεση της ιλύος.



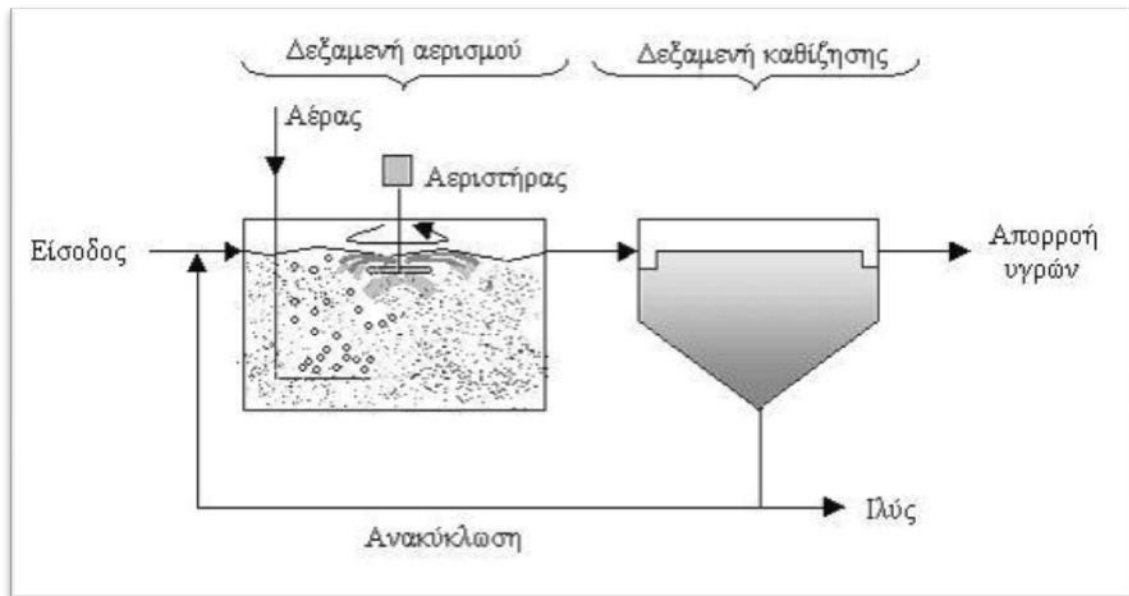
Σχήμα 3. Σύσταση της ενεργού ιλύος

1.3 Συστήματα τύπου ενεργού ιλύος

Η μέθοδος της ενεργού ιλύος επινοήθηκε από τους E. Arden και W. Lockett το έτος 1914 στην Αγγλία. Οι δύο αυτοί ερευνητές παρατήρησαν σε αστικά λύματα, που υποβάλλονται σε αερισμό, το σχηματισμό

αιωρούμενων στερεών με καλά χαρακτηριστικά θρόμβωσης. Το έτος 1917 λειτούργησε στην Αγγλία (Manchester) το πρώτο σύστημα ενεργού ιλύος συνεχούς τροφοδότησης και το ίδιο έτος τοποθετήθηκε σε λειτουργία ένα παρόμοιο σύστημα μεγαλύτερης δυναμικότητας στην Αμερική (Huston, Texas).

Στο Σχήμα 4 δίνεται το διάγραμμα ροής για ένα σύστημα ενεργού ιλύος. Η βασική μονάδα είναι η δεξαμενή αερισμού. Στη δεξαμενή αερισμού τροφοδοτούνται τα προς επεξεργασία υγρά απόβλητα και αναμιγνύονται με το μικτό υγρό που περιέχει. Τα υγρά απόβλητα τροφοδοτούνται με μια τέτοια παροχή ώστε ο υδραυλικός χρόνος παραμονής τους να είναι μερικές ώρες. Κατά το χρονικό αυτό διάστημα οι μικροοργανισμοί (κυρίως βακτήρια) χρησιμοποιούν διαλυτό οργανικό υλικό για την ανάπτυξη τους και παράλληλα οξειδώνουν οργανικό υλικό προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό για να ικανοποιούνται οι ενεργειακές τους ανάγκες. Η εκροή από τη δεξαμενή αερισμού οδηγείται στη δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου γίνεται κατακράτηση των αιωρούμενων στερεών μικτού υγρού και υπερχειλίση της διαωγασμένης εκροής. Ένα μέρος από τα αιωρούμενα στερεά μικτού υγρού, που φθάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης, ανακυκλοφορείται προς τη δεξαμενή αερισμού και ένα άλλο μέρος αφαιρείται από το σύστημα (Τσώνης, 2004).



Σχήμα 4. Τυπικό διάγραμμα ροής συστήματος ενεργού ιλύος

Τα συστήματα ενεργού ιλύος που πρωτοχρησιμοποιήθηκαν ήταν διαλείπουσας λειτουργίας με επαναλαμβανόμενους κύκλους αερισμού και καθίζησης. Μετά από την περίοδο αερισμού αρχίζει η περίοδος καθίζησης οπότε γίνεται διαχωρισμός σε μια περιοχή διαωγασμένου υπερκείμενου υγρού και σε μια περιοχή όπου έχουν καθιζήσει τα αιωρούμενα στερεά μικτού υγρού. Στο τέλος της περιόδου καθίζησης γίνεται εκκένωση του διαωγασμένου υπερκείμενου υγρού από μια στάθμη και πάνω και το υγρό αυτό αποτελεί την επεξεργασμένη εκροή. Αμέσως μετά από την παραλαβή της επεξεργασμένης εκροής αρχίζει η περίοδος τροφοδότησης (με παράλληλο συνήθως αερισμό) και ακολουθεί αερισμός του γεμισμένου αντιδραστήρα. Μετά το πέρας του αερισμού αρχίζει πάλι ένας νέος λειτουργικός κύκλος. Καθώς συνεχίζεται η διαδοχή των λειτουργικών κύκλων αυξάνεται η ποσότητα των αιωρούμενων στερεών μικτού υγρού και αυτό είχε ως αποτέλεσμα βελτίωση στην επιτυγχανόμενη αφαίρεση οργανικού υλικού. Η αύξηση

της ποσότητας των αιωρούμενων στερεών μικτού υγρού αντιστοιχεί σε αύξηση των ζώντων μικροοργανισμών στο σύστημα και έτσι για σταθερή οργανική φόρτιση ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα επιτυγχάνεται καλύτερη αφαίρεση οργανικού υλικού (Τσώνης, 2004).

Ιδιαίτερη σημασία για την ομαλή λειτουργία μίας μονάδας ενεργού ιλύος έχει η διατήρηση στη δεξαμενή αερισμού περιβαλλοντικών συνθηκών που ευνοούν τη δράση των μικροοργανισμών. Τέτοιες συνθήκες είναι η επίτευξη συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου μεγαλύτερης του 1-2 mg/L, η διατήρηση της τιμής του pH σε επίπεδα μεταξύ 6,5-8,0 και η ικανοποίηση του λόγου BOD:N:P ίσου με 100:6:1 (Gray, 1990).

Παράμετροι μέτρησης οργανικού ρυπαντικού φορτίου

- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand – BOD₅)

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να οξειδώσουν αερόβια τα οργανικά απόβλητα, ονομάζεται βιοχημική απαίτηση οξυγόνου ή βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD. Το BOD συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστογραμμάρια απαιτούμενου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτου (mg/l) ή σε ισοδύναμες μονάδες : γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (g/m³).

Η οξείδωση αυτή είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται πρακτικά μέσα σε 20 ημέρες, οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD (BOD_L). Στη συνηθισμένη πρακτική έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD₅), μέσα στις οποίες οξειδώνονται απλές οργανικές ουσίες που αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό 60-70% των συνολικών οργανικών ουσιών. Σε μεγαλύτερους χρόνους λαμβάνει χώρα επιπλέον κατανάλωσης οξυγόνου που οφείλεται

στην αποδόμηση των αζωτούχων ουσιών και την μετατροπή τους σε νιτρικά ιόντα με τη διαδικασία της νιτροποίησης (Σαμαράς, 2004).

Όταν η βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη απορρίπτεται στο νερό, οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο απόβλητο και ιδιαίτερα τα βακτήρια, την αποικοδομούν σε απλούστερα οργανικά και ανόργανα συστατικά. Όταν η αποσύνθεση αυτής της οργανική ύλης λαμβάνει χώρα υπό αερόβιες συνθήκες, δηλαδή παρουσία οξυγόνου, τα προϊόντα της αποικοδόμησης είναι αβλαβή και σταθερά όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα θειικά (SO_4), τα φωσφορικά (PO_4) και τα νιτρικά (NO_3). Μια απλουστευμένη αναπαράσταση αερόβιας αποσύνθεσης δίνεται από την αντίδραση:

Μικροοργανισμοί

Οργανική ύλη + O_2 → CO_2 + H_2O + νέα κύτταρα + σταθ.
Προϊόντα

Όταν το διαθέσιμο οξυγόνο είναι ανεπαρκές, λαμβάνει χώρα αναερόβια αποσύνθεση και γίνεται από εντελώς διαφορετικούς μικροοργανισμούς. Αυτοί παράγουν τελικά προϊόντα που είναι επιβλαβή και ανεπιθύμητα όπως το υδρόθειο (H_2S), η αμμωνία (NH_3) και το μεθάνιο (CH_4). Η αναερόβια αποσύνθεση δίνεται από την αντίδραση:

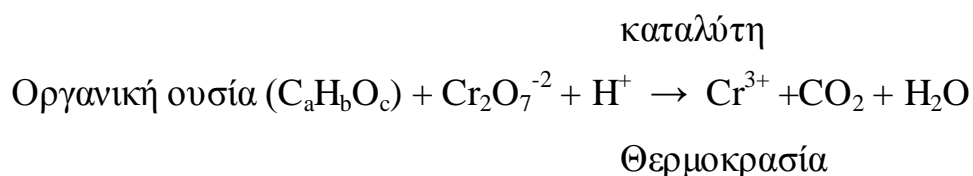
Μικροοργανισμοί

Οργανική ύλη → CO_2 + CH_4 + νέα κύτταρα + ασταθή Προϊόντα

Το μεθάνιο που παράγεται είναι σταθερό, και είναι ένα από τα δραστικά αέρια που συνεισφέρουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

- Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand – COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο αντιπροσωπεύει το ποσό του οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδωθούν οι οργανικές ουσίες με την βοήθεια εργαστηριακών μέσων. Συνήθως χρησιμοποιείται η ισχυρή οξειδωτική ένωση διχρωμικό κάλιο σε όξινο περιβάλλον και θερμοκρασία βρασμού για 2 ώρες, παρουσία καταλύτη θείουχος άργυρος. Η αντίδραση του διχρωμικού καλίου για την οξείδωση των οργανικών ουσιών μπορεί να απεικονιστεί με την ακόλουθη εξίσωση:



Ορισμένες οργανικές ενώσεις όπως η κυτταρίνη, οι φαινόλες, το βενζόλιο, οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, το ταννικό οξύ κ.α. είναι ανθεκτικές στη βιοαποικοδόμηση. Άλλες όπως τα ζιζανιοκτόνα και πολλές ενώσεις που έχουν συντεθεί από τον άνθρωπο για ορισμένες βιομηχανικές χρήσεις δεν είναι βιοαποικοδομήσιμες διότι είναι τοξικές για τους οργανισμούς.

Το COD είναι μια μετρήσιμη ποσότητα η οποία δεν εξαρτάται ούτε από την ικανότητα βιοαποικοδόμησης των μικροοργανισμών ούτε από την γνώση της χημικής σύστασης και δομής των μορίων που υπάρχουν σε ένα απόβλητο. Κατά την μέτρηση του COD, χρησιμοποιείται ένα

ισχυρό οξειδωτικό αντιδραστήριο για να οξειδώσει ποσοτικά την οργανική ύλη.

- Ολικά στερεά (Total Solids <<TS>>

Η σύνθεση των αστικών αποβλήτων όσον αφορά στα περιεχόμενα στερεά είναι:

Συνθετικές οργανικές ύλες (όπως πτητικές ενώσεις), θρεπτικές ύλες (ενώσεις αζώτου και φωσφόρου), χλωροφύλλες, υδρογονάνθρακες (π.χ. γλυκόζες, φρουκτόζες κ.λπ.), πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, βιταμίνες, λιπαρά οξέα, ιοί, βακτήρια και φλόκοι βακτηρίων, άγλη, πρωτόζωα, οργανικά υπολείμματα (π.χ. υπολείμματα τροφών, ανθρώπινης προέλευσης απόβλητα κ.λπ.)

Η κατηγοριοποίηση των ολικών στερεών συνοψίζεται στο πίνακα 1 που ακολουθεί:

Πίνακας 1. Κατηγοριοποίηση ολικών στερεών

ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (TS) η ποσότητα της ύλης που παραμένει ως υπόλειμμα μετά από εξάτμιση στους 103-105 °C			
Μη διηθούμενα - Αιωρούμενα (SS) η ποσότητα των στερεών που παραμένουν σε φίλτρο μεγέθους πόρων 1,2μm		Διηθούμενα (FS) η ποσότητα των στερεών που διέρχονται από φίλτρο με μέγεθος πόρων 1,2μm	
Καθιζάνοντα (Settleable)	Μη καθιζάνοντα (Non settleable)	Κολλοειδή (Colloidal) μεγέθους 0,001-1μm Για την απομάκρυνση τους απαιτείται βιολογική οξείδωση ή θρόμβωση (coagulation)	Διαλυμένα (Dissolved) μεγέθους <0,001μm Οργανικά και ανόργανα μόρια και ιόντα διαλυμένα

(ΕΠΙΕΜ, 2006)

Τα ολικά στερεά που περιέχονται στα απόβλητα μπορούν να προσδιοριστούν με εξάτμιση στους 105°C και υπολογίζονται με ζύγιση.

- Άζωτο (Total Nitrogen)

Το συνολικό άζωτο περιέχει το οργανικό άζωτο, την αμμωνία, τα νιτρώδη και τα νιτρικά. Το άζωτο και ο φώσφορος μαζί με τον άνθρακα και άλλα ιχνοστοιχεία εξυπηρετούν δεδομένου ότι οι θρεπτικές ουσίες επιταχύνουν έτσι την αύξηση υδρόβιων εγκαταστάσεων του φυσικού ύδατος.

- pH

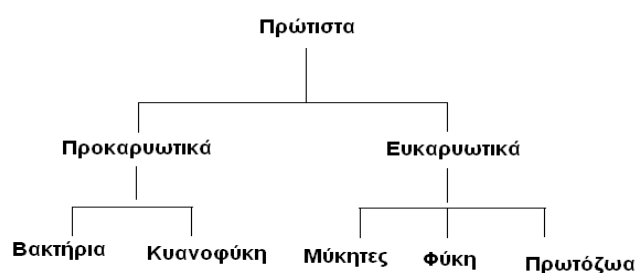
Το pH είναι σημαντικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων γιατί επηρεάζει όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας (χημική και βιολογική επεξεργασία, απολύμανση, επεξεργασία λάσπης κλπ) και σχετίζεται με προβλήματα φθοράς (διάβρωσης) σε αγωγούς, μηχανολογικό εξοπλισμό κλπ. Για τη βέλτιστη απόδοση και λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας απαιτείται ο έλεγχος της τιμής του pH (Σαμαράς, 2004).

1.4 Μικροβιολογία ενεργού ιλύος

Αρχικά οι ζωντανοί οργανισμοί είχαν καταταγεί σε δυο βασίλεια που ήταν το βασίλειο των φυτών και το βασίλειο των ζώων. Οι μικροοργανισμοί όμως περιλαμβάνουν μερικές ομάδες που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά φυτών (όπως π.χ. τα πράσινα φύκη), μερικές που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά ζώων (όπως τα πρωτόζωα) και μερικές που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και φυτών και ζώων

(όπως οι μύκητες). Έτσι, προέκυψε η ανάγκη για την αναγνώριση ενός τρίτου βασιλείου στο οποίο θα γινόταν η κατάταξη των μικροοργανισμών και το βασίλειο αυτό ονομάστηκε βασίλειο των πρωτίστων.

Μια ταξινόμηση των μικροοργανισμών στο βασίλειο των πρωτίστων φαίνεται στο Σχήμα 5. Η ταξινόμηση γίνεται σε κατώτερα ή προκαρυωτικά πρώτιστα και σε ανώτερα ή ευκαρυωτικά πρώτιστα. Τα προκαρυωτικά πρώτιστα περιλαμβάνουν τα βακτήρια και τα κυανοφύκη, ενώ τα ευκαρυωτικά πρώτιστα περιλαμβάνουν τους μύκητες, τα φύκη και τα πρωτόζωα (Τσώνης, 2004).



Σχήμα 5. Κατάταξη διαφόρων μικροοργανισμών του βασιλείου των πρωτίστων

Βακτήρια (*Bacteria*)

Αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς αναπτυσσόμενους μικροοργανισμούς σε σύστημα ενεργού ιλύος. Τα κύτταρα τους μπορεί να έχουν σχήμα σφαίρας, ράβδου ή ακόμα και σπειροειδή μορφή, ενώ το μέγεθος τους κυμαίνεται από 0,5-5,0μm.

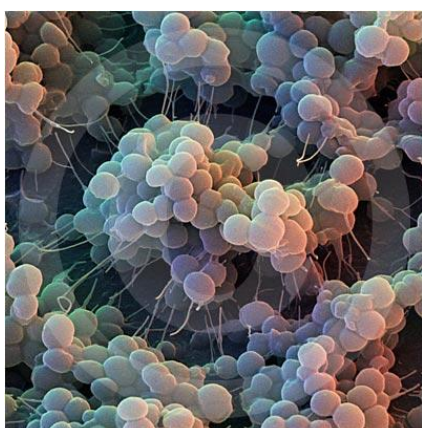
Η συνηθέστερη διάκριση μεταξύ των βακτηριδίων στηρίζεται στην τροφή που απαιτείται για την ανάπτυξη τους. Τα βακτήρια λοιπόν διακρίνονται σε αυτότροφα (οξειδώνουν τις ανόργανες ουσίες και

χρησιμοποιούν το CO₂ ως πηγή ενέργειας) και ετερότροφα (χρησιμοποιούν οργανικές ενώσεις ως ενέργεια και πηγές άνθρακα για να πραγματοποιήσουν τον κύκλο ζωής τους, ενώ διακρίνονται σε αερόβια, αναερόβια και επαμφοτερίζοντα ανάλογα με την απαίτηση τους σε διαλυμένο οξυγόνο).

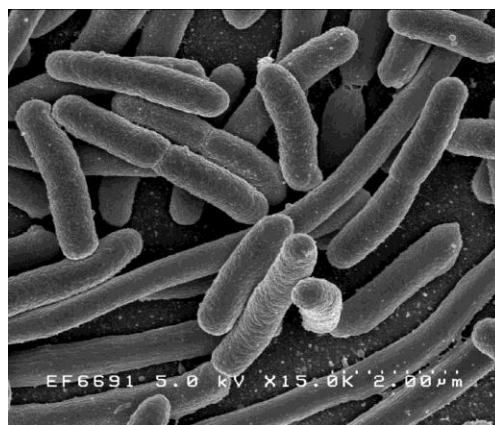
Ο ρόλος των βακτηριδίων είναι πολύ σημαντικός, αφού εκκρίνουν ένα είδος πολυσακχαρώδους ουσίας, η οποία βοηθά στη συγκράτηση των σωματιδίων που συνιστούν τη δομή του φλόκου (μικροοργανισμοί και άλλα αιωρούμενα στερεά).

Ένα πολύ σημαντικό είδος βακτηριδίου είναι τα νηματοειδή βακτήρια τα οποία έχουν άμεση σχέση με τη δημιουργία φλόκων, αλλά και με την ανάπτυξη ενός υγιούς ανάμικτου υγρού.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται δύο μορφές βακτηρίων, μια σε σύμπλεγμα κόκκων (*Staphylococcus aureus*) και μια σε βάκιλλους (*Bacillus subtilis*).



α.) *Staphylococcus aureus*



β.) *Bacillus subtilis*

Σχήμα 6. Διάφορες μορφές βακτηριδίων

Πρωτόζωα (*Protozoa*)

Τα πρωτόζωα είναι μονοκύτταροι μικροοργανισμοί που έχουν μεγάλη σημασία στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 100-500μm και καταναλώνουν βακτήρια ως τροφή, ενώ απορροφούν στερεά οργανική ύλη, την οποία χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας και άνθρακα.

Τα πιο συχνά αναπτυσσόμενα πρωτόζωα στην ενεργό ιλύ, είναι:

- τα **βλεφαριδωτά (*ciliates*)**, τα οποία χρησιμοποιούν μικροσκοπικές προεξοχές για να κινηθούν και να τραφούν. Διακρίνονται σε ελεύθερα και διακλαδισμένα, ανάλογα με τη δυνατότητα κίνησης τους (προώθηση όλου του σώματος τους / του κεφαλιού τους αντίστοιχα)
- τα **μαστιγοφόρα (*flagellates*)**, τα οποία κινούνται στο χώρο για την απόκτηση τροφής κινώντας τις προεξοχές τους
- οι **αμοιβάδες (*amoebas*)** χρησιμοποιούν επίσης τις προεξοχές τους για να κινηθούν και να αποκτήσουν την τροφή τους.

Στο Σχήμα 7 , στο Σχήμα 8, καθώς και στο Σχήμα 9 παρουσιάζονται διάφορα αναπτυσσόμενα πρωτόζωα στην ενεργό ιλύ.

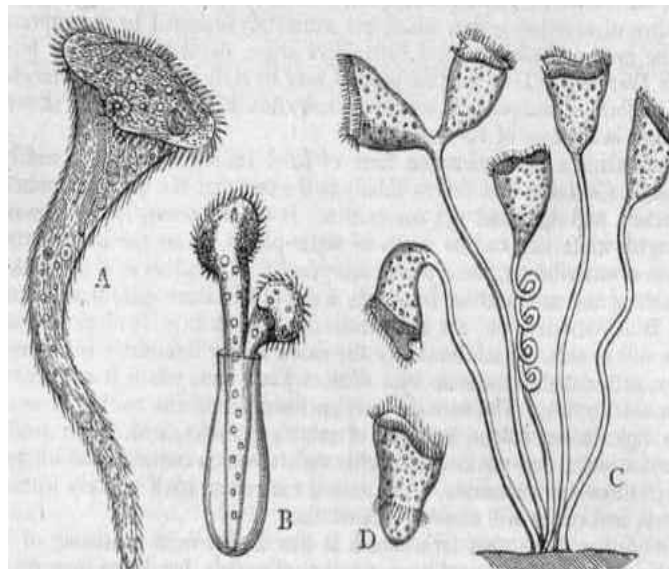




Σχήμα 7. Είδος μαστιγοφόρων πρωτόζωων



Σχήμα 8. Αμοιβάδα



Σχήμα 9. Είδη βλεφαριδωτών πρωτόζωων

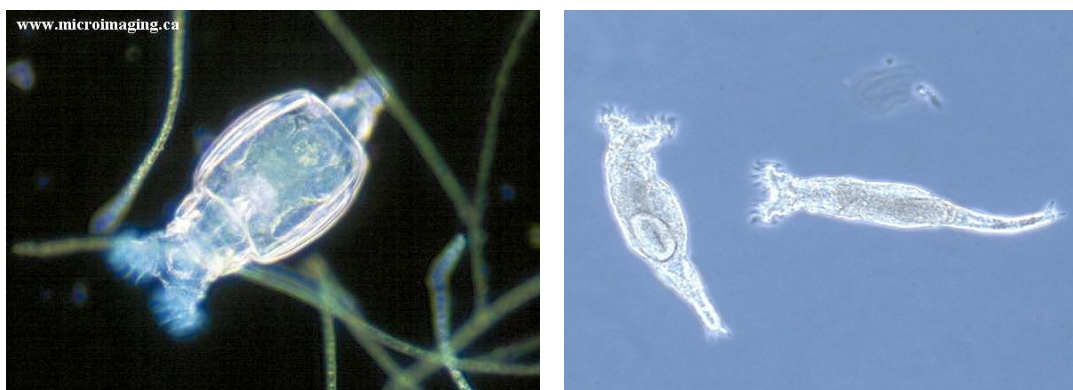
Τροχόζωα (*Rotifers*)

Τα τροχόζωα είναι από τα πιο απλά και μικρά ασπόνδυλα που απαντώνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε μικρότερους συνήθως αριθμούς από τα πρωτόζωα. Τα τροχόζωα (*rotifers = rota ferre = φέροντα τροχούς*) φέρουν συνήθως τροχούς που είναι στεφάνια με βλεφαρίδες στα άκρα τους. Οι βλεφαρίδες είναι διευθετημένες γύρω από τα άκρα δυο δισκοειδών στεφανιαίων λοβών. Παρατήρηση στο μικροσκόπιο δίνει την εικόνα ή την οπτική ψευδαίσθηση κινούμενων τροχών καθώς πάλλονται οι βλεφαρίδες.

Τα τροχόζωα έχουν μέγεθος στην περιοχή 40 έως 50 μm και το σχήμα τους έχει σφαιροειδή ή σακοειδή μορφή (Τσώνης, 2004).

Καταναλώνουν στερεά τροφή (συμπεριλαμβανομένων και βακτηρίων) και χρησιμοποιούν τις βλεφαρίδες που υπάρχουν στο κεφάλι τους για την απόκτηση της τροφής τους (ΕΠΕΜ, 2006).

Παρακάτω στο Σχήμα 10 παρατηρούμε την μορφή που μπορούν να έχουν τα τροχοζώα.



Σχήμα 10. Μορφή τροχοζώων

Μύκητες (*Fungi*)

Οι μύκητες είναι ευκαρυωτικοί μικροοργανισμοί οι οποίοι εμφανίζονται ως κοινοκυτταρικοί και διακρίνονται από μια χαρακτηριστική βλαστική μορφή που είναι γνωστή ως μυκήλιο (μυκητόλλιο) (Τσώνης, 2004).

Αποτελούν μικροσκοπικά μη φωτοσυνθετικά φυτά, τα οποία δεν παίζουν κάποιο ρόλο στη διεργασία της ενεργού ιλύος. Η παρουσία τους όμως αποτελεί προειδοποίηση επικράτησης ανωμαλιών στο σύστημα (χαμηλό pH) (ΕΠΕΜ, 2006).

Νηματώδη (*nematodes*)

Τα νηματώδη (Σχήμα 11) είναι χερσαία μακροασπόνδυλα τα οποία μπορούν να ζουν σε υγρά ή υδάτινα περιβάλλοντα. Στα νηματώδη περιλαμβάνονται σκουλήκια με μορφή χελιού ή νήματος. Το μήκος των μικροοργανισμών αυτών ποικίλει από 0,5 έως 3,0mm και το πλάτος τους από 0,02 έως 0,05mm. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν πρέπει να γίνεται σύγχυση μεταξύ των νηματωδών (*nematodes*) και των νηματοειδών μικροοργανισμών (*filamentous*). Οι νηματώδεις μικροοργανισμοί είναι εκείνοι που συνδέονται με προβλήματα στη δευτεροβάθμια καθίζηση συστημάτων τύπου ενεργού ιλύος.



Σχήμα 11. Τυπική μορφή νηματώδους

1.5 Βιοκροκίδωση

Στη δεξαμενή αερισμού οι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν την τάση σχηματισμού αρνητικά φορτισμένων συσσωματωμάτων με τη βοήθεια κολλοειδών, οργανικών πολυμερών και κατιόντων, μέσω της διεργασίας της βιοκροκίδωσης (Li and Ganczarezyk, 1990). Οι βιοκροκίδες είναι σφαιρικές και αποτελούνται από μικροοργανισμούς, κυρίως βακτήρια και εξωκυτταρικά πολυμερή (EPS).

Η βασική λειτουργική μονάδα της ενεργού ιλύος είναι οι βιοκροκίδες. Χαρακτηρίζεται από μεγάλο πορώδες το οποίο βοηθά στην απομάκρυνση οργανικού φορτίου στη δεξαμενή αερισμού.

Για την δημιουργία των βιοκροκίδων υπάρχουν τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα του είδους *Peritrichia* καθιζάνουν στα ανόργανα συσσωματώματα της ιλύος και ευνοείται η παρουσία σταθερών οργανισμών. Στη συνέχεια οι βλεφαρίδες του είδους *Peritrichia* αποικούνται από βακτήρια, ο αποικισμός αυτός ενισχύεται από την κίνηση των βλεφαρίδων η οποία δημιουργεί ένα συνεχές πλέγμα με θρεπτικά συστατικά γύρω από το βιοφίλμ. Μετά από αρκετές μέρες εκατοντάδες βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα καλύπτουν την επιφάνεια της κάθε κροκίδας δημιουργώντας μια αποικία, η οποία έχει το σχήμα δέντρου, και στην οποία παρουσιάζονται πρωτόζωα των ειδών *Opercularia* και *Epistylis*. Κατά την δεύτερη φάση, έχουμε την περαιτέρω συσσωμάτωση των κροκίδων. Κατά το στάδιο αυτό ο πυρήνας των βιοκροκίδων αποτελείται από υπολείμματα βλεφαριδοφόρων και βακτηρίων που παράγουν EPS. Τα βακτήρια χρησιμοποιούν σαν τροφή για τις βιολογικές τους ανάγκες τα βλεφαριδοφόρα πρωτόζωα τα οποία αποτελούν την βάση για την ανάπτυξη τους. Κατά το τρίτο στάδιο τα περισσότερα κύτταρα των βλεφαριδοφόρων πεθαίνουν και έτσι δημιουργούνται οι σταθερές βιοκροκίδες βασισμένες κυρίως σε

βακτήρια. Η ύπαρξη των EPS είναι απαραίτητη για την δημιουργία σταθερών βιοκροκίδων (Weber et al., 2007).

Υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα στη διάμετρο της βιοκροκίδας και στην ταχύτητα καθίζησης των στερεών στη δεξαμενή καθίζησης. Συνήθως οι βιοκροκίδες που συναντώνται σε συστήματα ενεργού ιλύος έχουν μέγεθος που κυμαίνεται μεταξύ 50-300 μm σε διάμετρο. Τα τελευταία χρόνια επικρατεί η άποψη ότι υπάρχουν δύο τύποι βιοκροκίδων, η μικροδομή και η μακροδομή. Η μικροδομή αποτελεί σύνδεση *floc-formers* βακτηρίων με τη βοήθεια εξωκυτταρικών πολυμερών. Το μέγεθος της βιοκροκίδας στην συγκεκριμένη δομή είναι μικρότερο των 75 μm και το σχήμα της είναι σφαιρικό και συμπαγές. Αντίθετα με την μικροδομή, κατά τη φάση της μακροδομής παρατηρείται ο σχηματισμός ενός πλέγματος – σκελετού εξαιτίας παρουσίας νηματοειδών βακτηρίων (*filamentous bacteria*). Πάνω σε αυτό το πλέγμα προσκολλώνται τα υπόλοιπα βακτήρια. Το μέγεθος της βιοκροκίδας κυμαίνεται από 75-300 μm, ενώ το σχήμα της είναι ακανόνιστο (Jenkins et al., 1993).

Η ύπαρξη μόνο της μικροδομής σ' ένα σύστημα ενεργού ιλύος μπορεί να δημιουργήσει επεξεργασμένα απόβλητα με υψηλή θολότητα, ενώ ακόμα μπορεί να παρατηρηθεί δυσκολία στη διατήρηση των στερεών στη δεξαμενή αερισμού. Στην περίπτωση που υπερισχύει η μακροδομή υπάρχει υπεραφθονία νηματοειδών με συνέπεια να παρατηρούνται τα φαινόμενα της διόγκωσης της ιλύος (*filamentous bulking*) και του αφρισμού (*foaming*) (Crites, Tchobanoglous G., 1998). Κατά την πρώτη περίπτωση, νηματοειδείς μικροοργανισμοί όπως οι *type 1701*, *Nostocoida limicola*, *type 021N*, *Sphaerotilus natans*, συμβάλλουν στη δημιουργία χαλαρών βιοκροκίδων ή στη γεφύρωσή τους, εμποδίζοντας μηχανικά την αποδοτική καθιζησιμότητα και πύκνωση της ιλύος (Jenkins et al., 1993). Στη δεύτερη περίπτωση, ο αφρισμός στη

δεξαμενή αερισμού ή στη δεξαμενή τελικής καθίζησης προκαλείται κυρίως λόγω της παρουσίας νηματοειδών που προέρχονται από τα γένη *Nocardia spp.*, *Microthrix parvicella*, *Rhodococcus*, *Gordona* (Jenkins et al., 1993).

Η ομαλή λειτουργία ενός συστήματος ενεργού ιλύος επιτυγχάνεται με την ταυτόχρονη εμφάνιση μικροδομής και μακροδομής και την ισόρροπη ανάπτυξη νηματοειδών και βακτηρίων που παρουσιάζουν την τάση σχηματισμού βιοκροκίδων. Σε ένα τέτοιο σύστημα, η πλειοψηφία των νηματοειδών παραμένουν εντός των βιοκροκίδων, προσδίδοντας σε αυτές ισχυρή δομή και επιτρέποντας την ικανοποιητική καθίζηση και πύκνωση τους. Οι συνθήκες λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν τόσο την μορφολογία όσο και το μέγεθος των βιοκροκίδων. Συμπαγείς βιοκροκίδες παρατηρούνται σε συστήματα χαμηλής φόρτισης ή με υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου και μεγάλες ηλικίες ιλύος, ενώ χαμηλής και χαλαρής δομής κροκίδες εμφανίζονται σε μικρές ηλικίες ιλύος κάτω των 8 ημερών (Jiwani et al., 1997).

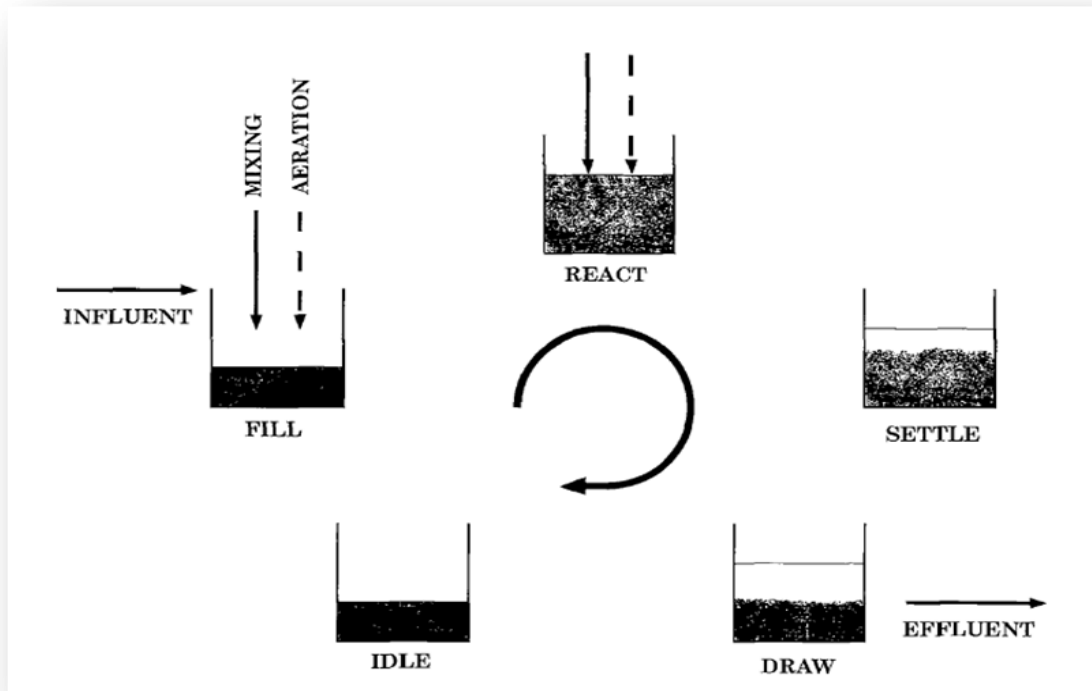
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Οι δεξαμενές ή τα δοχεία στα οποία λαμβάνουν χώρα βιολογικές ή χημικές αντιδράσεις καλούνται αντιδραστήρες. Οι βασικοί τύποι αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι οι αντιδραστήρες συνεχούς λειτουργίας και οι αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας (sequencing batch reactor, SBR).

2.1 Αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας SBR

Ο αντιδραστήρας SBR αποτελεί ένα συνεχές σύστημα ενεργού ιλύος όπου έχει την ικανότητα να επεξεργάζεται όλα τα είδη των αποβλήτων τα οποία επεξεργάζονται από τα συμβατά συστήματα ενεργού ιλύος. Βιομηχανικά και αστικά απόβλητα έχουν επεξεργαστεί επιτυχώς σε αντιδραστήρες SBR. Ο αντιδραστήρας SBR και τα κοινά συστήματα ενεργού ιλύος έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τη μόνη διαφορά ότι στα συμβατά συστήματα ο αερισμός και η καθίζηση πραγματοποιούνται σε διαφορετικές δεξαμενές ενώ στο αντιδραστήρα SBR πραγματοποιούνται στην ίδια δεξαμενή (EPA, 1999).

Οι αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την απομάκρυνση του COD. Όλα τα συστήματα αποτελούνται από πέντε βήματα τα οποία πραγματοποιούνται διαδοχικά και είναι τα εξής :



Σχήμα 12. Στάδια διεργασίας των αντιδραστήρων SBR και SBBR.

Πλήρωση- Fill

Με την πλήρωση προστίθεται στον αντιδραστήρα υπόστρωμα δηλαδή απόβλητα που προέρχονται από πρωτογενή επεξεργασία, ή μη επεξεργασμένα. Η προσθήκη αυτή του υποστρώματος ελέγχεται είτε ως ένα καθορισμένο όγκο είτε ως ένα καθορισμένο χρόνο με αντίστοιχους χρονοδιακόπτες. Περίοδοι αερισμού και ανάδευσης κατά την πλήρωση είναι σημαντικές στην ανάπτυξη μικροοργανισμών που καθιζάνουν εύκολα και στην απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών όπως το άζωτο(N).

Αερισμός-Aeration

Σκοπός του αερισμού είναι η ολοκλήρωση των αντιδράσεων που ξεκίνησαν στο στάδιο της πλήρωσης. Όπως στην πλήρωση έτσι και στον

αερισμό μπορεί να απαιτείται εναλλαγή συνθηκών υψηλού και χαμηλού διαλυμένου οξυγόνου (DO).

Καθίζηση -Settle

Ο ρόλος τη καθίζησης είναι ο διαχωρισμός των στερεών επιτυγγάνοντας το υπερκείμενο υγρό να εκρέει διαυγασμένο έτσι ώστε η λάσπη να μένει κάτω καθ' όλη τη διάρκεια του επόμενου σταδίου.

Εκκένωση-Draw

Πρόκειται για την η απομάκρυνση του διαυγασμένου επεξεργασμένου υγρού από τον αντιδραστήρα.

Ισορροπία-Idle

Σκοπός της τελευταίας φάσης του κύκλου σε ένα σύστημα πολλών δεξαμενών είναι να παρέχει χρόνο στον αντιδραστήρα να ολοκληρώσει ένα κύκλο λειτουργίας. Η φάση ισορροπίας δεν είναι πάντα απαραίτητη και μπορεί να παραληφθεί. Ωστόσο εξαρτάται από τους στόχους που θέτουμε κάθε φορά. Η διάρκεια αυτού του σταδίου εξαρτάται από την παροχή των αποβλήτων στο σύστημα επεξεργασίας τους. Για να υπερνικηθούν τα εμπόδια και να ενισχυθεί η διαδικασία μπορούν να γίνουν πολλές μετατροπές στην βασική διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω.

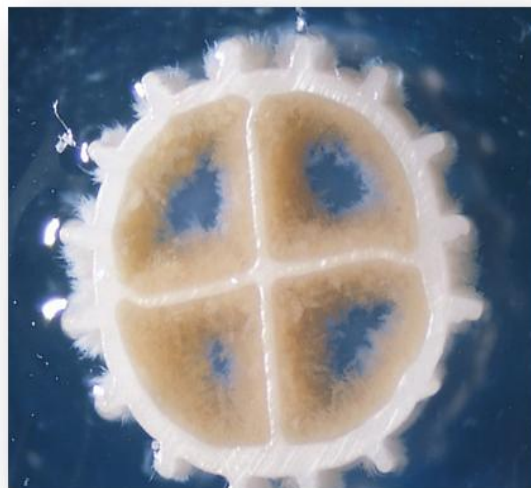
Σε ένα αντιδραστήρα SBR σημαντικός παράγοντας είναι η απόρριψη της ιλύος. Στους αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας η λάσπη απομακρύνεται είτε στο στάδιο της καθίζησης είτε στο στάδιο της ισορροπίας και αυτό γιατί δεν υπάρχει ανάγκη της επιστροφής μέρους της λάσπης όπως αυτό συμβαίνει με τα συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος (EPA, 1999).

Πλεονεκτήματα αντιδραστήρα SBR

- Καλός διαχωρισμός των στερεών λόγω έλλειψης της στροβίλωσης κατά την απομάκρυνσή τους.
- Δυνατότητα περιοδικής λειτουργίας του συστήματος και περιοδική ροή τροφοδοσίας.
- Παρουσιάζει μεγάλη προσαρμοστικότητα και απαιτεί λίγο χώρο.
- Ικανότητα συσσωμάτωσης αερόβιων αποxic φάσεων σε ένα αντιδραστήρα.
- Ιδανικές συνθήκες καθίζησης.
- Ευελιξία λειτουργίας και ελέγχου
- Μη απαραίτητη η χρήση διαχωριστών (Yimaz G., Ozturk., 2003).

2.2 Αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας με πληρωτικό υλικό SBBR

Ο τύπος αυτού του αντιδραστήρα διαφέρει από τον προηγούμενο ως προς το πληρωτικό υλικό που περιέχει. Η λειτουργία του SBBR βασίζεται στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών οι οποίοι προσκολλούνται στα τοιχώματα του πληρωτικού υλικού (biofilm). Το Σχήμα 13 του πληρωτικού υλικού προσφέρει μεγάλη ειδική επιφάνεια για την ανάπτυξη της βιομάζας και αφήνει κενά στα οποία κυκλοφορεί ελεύθερα το νερό με τη βοήθεια του αέρα. Η βιομάζα η οποία αναπτύσσεται στην επιφάνεια του υλικού πλήρωσης έρχεται σε επαφή με τα λύματα και οξυγονώνεται με τη βοήθεια του συστήματος αερισμού. Η βιολογική διήθηση, δηλαδή



Σχήμα 13. Πληρωτικό υλικό με εμφανή ανάπτυξη μικροοργανισμών

η απαλλαγή των λυμάτων από το οργανικό τους φορτίο κατά την διέλευση τους από το πληρωτικό υλικό, πραγματοποιείται με δύο μηχανισμούς ο πρώτος μηχανισμός είναι η προσρόφηση των ρυπαντών από την εξωτερική στοιβάδα της βιομάζας που έρχεται σε επαφή με τον αέρα και ο μεταβολισμός τους από τους αερόβιους μικροβιακούς πληθυσμούς. Η κατανάλωση της βιομάζας από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς είναι ο δεύτερος μηχανισμός απορρύπανσης που εξασφαλίζει την λειτουργία του πληρωτικού υλικού γιατί όταν καταναλωθεί το οργανικό υπόστρωμα η βιομάζα δεν μπορεί να παραμείνει προσκολλημένη στο αδρανές υλικό, οπότε αποκολλάται και συμπαρασύρεται από τη ροή των λυμάτων. Η βιομάζα συμπαρασύρεται σε μορφή συσσωματωμάτων, που στη συνέχεια διαχωρίζονται από τα καθαρά νερά. Η ελεύθερη επιφάνεια του πληρωτικού υλικού καλύπτεται ξανά από βιομάζα και το φαινόμενο επαναλαμβάνεται κυκλικά.

Σημαντικός παράγοντας της λειτουργίας του πληρωτικού υλικού είναι ο αερισμός και αυτό γιατί παρέχει στο σύστημα την απαραίτητη ποσότητα του οξυγόνου η οποία απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την κατανάλωση των οργανικών ενώσεων του άνθρακα.

Τα βιοφίλμ απομακρύνουν μεγάλες ποσότητες παθογόνων μικροοργανισμών και βοηθούν ώστε να διατηρηθούν οι μικροοργανισμοί που εμπλέκονται στην μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων (Chabaud et al., 2006).

2.3 Σύγκριση μεταξύ των αντιδραστήρων SBR και SBBR

Οι υψηλές συγκεντρώσεις βιομαζών που μπορούν να επιτευχθούν από ένα σύστημα SBBR οδηγούν σε μειωμένο χρόνο διατήρησης σε σύγκριση με το συνηθισμένο σύστημα SBR με τον ισοδύναμο στερεό χρόνο διατήρησης (SRT) (Lessel, 1994). Ο μειωμένος χρόνος διατήρησης

HRT οδηγεί σε μικρότερου μεγέθους αντιδραστήρες και στη ικανότητα επεξεργασίας μεγαλύτερης δυναμικότητας υγρών αποβλήτων σε ίδιου μεγέθους αντιδραστήρες.

Η βιολογική επεξεργασία αλυσιδών που προέρχονται από επικίνδυνα απόβλητα οδόστρωσης χρησιμοποιώντας το σύστημα SBBR υιοθετήθηκε από τους *Dollerer* και *Wilderer* (1996). Αναφέρεται ότι στην περίπτωση των οργανικών ενώσεων με χαμηλή βιολογική διαθεσιμότητα, όταν απαιτούνται εξειδικευμένοι οργανισμοί ή όταν μια μείωση στην αναλογία BOD/COD του υγρού απόβλητου είναι πεπειραμένη, το σύστημα SBBR είναι επιθυμητό.

Με την πάροδο των χρόνων, τα περισσότερα από τα συστήματα SBBR μελετήθηκαν για τα πλεονεκτήματά τους στη βιολογική αφαίρεση θρεπτικών ουσιών (Garzon Z., Gonzalez M., 1996, Munoz C., Gonzalez M., 1996).

Στον αντιδραστήρα SBBR οι υψηλές συγκεντρώσεις των συστημάτων βιομάζας μπορούν να διατηρηθούν ανεξάρτητες από τα χαρακτηριστικά της ιζηματογένεσης των βιολογικών συνόλων και τον υδραυλικό χρόνο διατήρησης του αντιδραστήρα. Τα συστήματα SBBR είναι ιδιαίτερα κατάλληλα όταν ο μικροβιακός πληθυσμός αυξάνεται με αργούς ρυθμούς ή όταν η παραγωγή της βιομάζας είναι χαμηλή (Vieira et al, 2008).

Οι μικροοργανισμοί σε ένα σύστημα SBR εκτίθενται σε συνεχείς περιοδικές περιβαλλοντικές αλλαγές, δηλαδή ποικιλία όγκων υγρού και συγκεντρώσεως υποστρωμάτων (χορηγοί και δέκτες ηλεκτρονίων). Όταν έρχονται αντιμέτωποι με τέτοιες περιόδους ανταλλαγής "υψηλές" και "χαμηλές", οι βακτηριακοί πληθυσμοί προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες συνθήκες επιβίωσης. Συγκεκριμένα, συχνά συσσωρεύονται και παραμερίζουν τον οργανικό άνθρακα ως εσωτερικά πολυμερή σώματα όπως poly-b-hydroxybutyrate (PHB). Ενώ τα φαινόμενα αποθήκευσης

μελετώνται για ανασταλμένα συστήματα βιομαζών όπως για παράδειγμα SBR, υπάρχουν ελλιπής βιβλιογραφίες για τα συστήματα που χρησιμοποιούν biofilms, όπως το SBBR (Alves et al, 2004). Εντούτοις, διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των λειτουργιών της βιομάζας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Χρώμιο - Cr₂₄

Το χρώμιο είναι χημικό στοιχείο με σύμβολο Cr και ατομικό αριθμό (αριθμό πρωτονίων πυρήνα) 24. Είναι αργυρόχρωμο γυαλιστερό μέταλλο με ελαφριά κυανή απόχρωση. Το χρώμιο δεν απαντάται ελεύθερο στην φύση. Εξάγεται από τα ορυκτά του, κυριότερο από τα οποία είναι ο χρωμίτης (FeCr₂O₄).

Το χρώμιο είναι το 21ο πιο συνηθισμένο στοιχείο στην επιφάνεια της γης με μέση συγκέντρωση 100ppm. Ενώσεις του χρωμίου βρίσκονται στο περιβάλλον εξαιτίας του εμποτισμού πετρωμάτων με υδατικά διαλύματα αποβλήτων που περιέχουν χρώμιο. Η συγκέντρωση του στο χώμα είναι μεταξύ 1 και 3000 mg/kg, στο θαλασσινό νερό 5 με 800 μg/L και στα ποτάμια και τις λίμνες 26 μg/L με 5,2 mg/L. Η σχέση μεταξύ του Cr⁺³ (τρισθενούς χρωμίου) και του Cr⁺⁶ (εξασθενούς χρωμίου) εξαρτάται άμεσα από το pH και τα οξειδωτικά στοιχεία της περιοχής, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις το Cr⁺³ υπερισχύει, παρόλο που σε μερικές περιοχές τα υπόγεια ύδατα μπορούν να περιέχουν έως και 39 μg χρωμίου συνολικά και τα 30 μg από αυτά να είναι Cr⁺⁶.

Το χρώμιο, επίσης, είναι αξιοσημείωτο για τις μαγνητικές του ιδιότητες: είναι το μόνο στερεό στοιχείο που μπορεί, όταν βρίσκεται στη φύση σαν στοιχείο και όχι σε ενώσεις, να μην έλκεται μαγνητικά σε θερμοκρασία δωματίου (ή χαμηλότερη). Πάνω από τους 38°C έρχεται σε παραμαγνητική κατάσταση (el.wikipedia.org/wiki/χρώμιο).

Το χρώμιο είναι ευρέως διαδεδομένο στην φύση με φυσική αφθονία στον φλοιό της Γης 100ppm. Τα φυσιολογικά επίπεδα στα μη ρυπασμένα επιφανειακά ύδατα κυμαίνονται στην περιοχή 1-10μg/l. Σχεδόν όλο το χρώμιο στην φύση βρίσκεται ως τρισθενές χρώμιο. Το

εξασθενές χρώμιο Cr^{+6} , που συναντάται στο περιβάλλον, είναι σχεδόν αποκλειστικά ανθρωπογενές (προέρχεται από δραστηριότητες του ανθρώπου). Θεωρείται ευκίνητο στο υδάτινο περιβάλλον, παραμένει στη διαλυτή φάση και είναι βιοδιαθέσιμο. Σύμφωνα με τον *Merian* (1991) η συγκέντρωση που θανατώνει το 50% του πληθυσμού σε διάφορους μικροοργανισμούς κυμαίνονται από 0,032-6,4 mg/l. Το εξασθενές χρώμιο Cr^{+6} , είναι σταθερό στον αέρα και στο καθαρό νερό, αλλά ανάγεται ταχύτατα προς Cr(III) , όταν έρθει σε επαφή με οργανική ύλη στο νερό, στο έδαφος και σε ζωντανούς οργανισμούς (INCHEM, 1988).

Τα χρωμικά άλατα είναι κρυσταλλικά στερεά με κίτρινο (π.χ. K_2CrO_4) έως βαθύ ερυθρό χρώμα (π.χ. Ag_2CrO_4). Τα διχρωμικά άλατα έχουν κατά κανόνα πορτοκαλί χρώμα. Διαφορετικό χρώμα μπορεί να έχουν χρωμικά και διχρωμικά άλατα εγχρώμων κατιόντων (www.chem.uoa.gr).

Τα άλατα του σχετικά ισχυρού χρωμικού οξέος του H_2CrO_4 , παρασκευάζονται εύκολα με οξείδωση του Cr^{+3} με ήπια οξειδωτικά μέσα σε αλκαλικό περιβάλλον. Έτσι π.χ. σε αλκαλικά διαλύματα το Cr^{+3} παρέχει διαλυτά υδροξυσύμπλοκα, τα οποία στη συνέχεια οξειδώνονται προς χρωμικά άλατα με υπεροξείδιο του υδρογόνου. Βιομηχανικά τα χρωμικά άλατα παρασκευάζονται με σύντηξη χρωμίτη με Na_2O_2 (υπεροξείδιο του νατρίου).

Τα κίτρινα χρωμικά ιόντα με οξύνιση μετατρέπονται αντιστρεπτά σε πορτοκαλόχρωμα διχρωμικά ιόντα. Η ισορροπία χρωμικών - διχρωμικών είναι μια από τις πιο χαρακτηριστικές αντιδράσεις του Cr^{+6} . Στο Σχήμα 14 παρατηρούμε ορισμένες ενώσεις εξασθενούς χρωμίου.



Χρωμικό κάλιο ($K_2 Cr O_4$)



Διχρωμικό κάλιο ($K_2 Cr_2 O_7$)



Τριοξείδιο του χρωμίου ή
χρωμύλιο
χρωμικός ανυδρίτης ($Cr O_3$)



Χλωριούχο
($Cr O_2 Cl_2$)

Σχήμα 14. Τυπικά παραδείγματα ενώσεων εξασθενούς χρωμίου (Cr^{+6})

Ιδιαίτερη σημασία έχει ο προσδιορισμός του εξασθενούς χρωμίου στα βιομηχανικά απόβλητα αλλά και στα αστικά υγρά απόβλητα, γιατί συχνά ανιχνεύονται υψηλές συγκεντρώσεις (Stasinakis et al, 2003). Σύμφωνα με τον Stasinakis et al (2002) οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις είναι δυνατόν να επηρεάσουν και την βιολογική επεξεργασία τους (κυρίως στην νιτροποίηση), ειδικά σήμερα όπου υπάρχει τάση συνεπεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων σε μονάδες ενεργού ιλύος. Ωστόσο, αποδείχθηκε από τους Stasinakis et al (2004) ότι η μέθοδος ενεργού ιλύος είναι η πλέον κατάλληλη για την επεξεργασία

αποβλήτων επιβαρυνμένων με Cr (VI), καθώς αυτό ανάγεται προς Cr (III), το οποίο προσροφάτε σχεδόν ποσοτικά στις βιοκροκίδες και συσσωρεύεται στη λυματολάσπη. Έτσι το τοξικό Cr⁺⁶ απομακρύνεται από τη διαλυτή φάση και προστατεύεται ο τελικός υδάτινος αποδέκτης (Stasinakis et al, 2003).

3.1 Χρήσεις του μεταλλικού χρωμίου

Η μεγαλύτερη ποσότητα χρωμίου χρησιμοποιείται στην παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα. Με προσθήκη χρωμίου σε ποσοστό 13% (κατ' ελάχιστο), το οποίο μπορεί να αυξηθεί μέχρι 30%, οι χρωμοχάλυβες εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τον κοινό χάλυβα στη διάβρωση και στην οξείδωση σε φυσικό και αστικό περιβάλλον. Το χρώμιο σχηματίζει μια αδρανή επικάλυψη Cr₂O₃, απρόσβλητη από το νερό και τον αέρα, αλλά ταυτόχρονα εξαιρετικά λεπτή ώστε το κράμα να μην χάνει τη λάμψη του.

3.2 Βιομηχανικές χρήσεις του εξασθενοῦς χρωμίου

Το Cr⁺⁶ έχει πολλές βιομηχανικές χρήσεις. Οι μεταλλοβιομηχανίες χρησιμοποιούν πολλές ενώσεις του Cr(VI) ως επιστρώσεις προστασίας μεταλλικών επιφανειών από τη διάβρωση. Στη συγκεκριμένη διεργασία, τμήμα της μεταλλικής επιφάνειας μετατρέπεται με χημικό ή ηλεκτροχημικό τρόπο σε αδρανή επίστρωση.

Η διεργασία επίστρωσης με χρωμικά εφαρμόζεται για την παθητικοποίηση (passivation) μεταλλικών επιφανειών αλουμινίου, ψευδαργύρου, καδμίου, χαλκού, άργυρου, μαγνησίου, κασσιτέρου και κραμάτων τους. Τα κυριότερα χρωμικά άλατα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διεργασία είναι το χρωμικό ασβέστιο, το χρωμικό στρόντιο και ο

χρωμικός ψευδάργυρος. Για την ίδια διεργασία χρησιμοποιείται και το τριοξειδίο του χρωμίου.

Τα χρωμικά συχνά χρησιμοποιούνται ως χρωστικές στη φωτογραφία. Ο χρωμικός μόλυβδος ($PbCrO_4$), γνωστός ως κίτρινο του χρωμίου (Chrome Yellow) είναι μια εξαιρετικής ποιότητας κίτρινη χρωστική, χρησιμοποιείται στο χρωματισμό του βινυλίου, του ελαστικού (rubber) και του χαρτιού, αλλά λόγω της μεγάλης τοξικότητάς του η χρήση του πλέον αποθαρρύνεται. Επίσης οι ενώσεις του $Cr(VI)$ χρησιμοποιούνται σε βαφές υφασμάτων και δέρματος, χρώματα και μελάνια.

Οι ενώσεις του χρωμίου (Cr) χαρακτηρίζονται ως ισχυρά τοξικές και επικίνδυνες για το περιβάλλον. Το χρώμιο έχει πολλές βιομηχανικές χρήσεις, όπως στις μεταλλοβιομηχανίες, στην επεξεργασία του ξύλου, στην κατεργασία των δερμάτων (INCHEM, 1988). Ενώσεις του Cr^{+6} χρησιμοποιούνται ως συντηρητικά ξύλου. Το 1996, το 52% της παραγωγής των ενώσεων Cr στις ΗΠΑ χρησιμοποιούνταν στην παρασκευή ενός συντηρητικού ξύλου, του χρωμιωμένου αρσενικού χαλκού (chromated copper arsenate, CCA). Το CCA είναι μίγμα χρωμικών αλάτων, οξειδίου του χαλκού και οξειδίου του αρσενικού (As_2O_5). Τα χρωμικά βασικά δρουν ως χημικά στερεωτικά μέσα (chemical fixing) του χαλκού και αρσενικού, τα οποία δρουν ως μυκητοκτόνα/βακτηριοκτόνα και ως εντομοκτόνα, αντίστοιχα (www.chem.uoa.gr). Επίσης οι ενώσεις του (Cr) χρησιμοποιούνται σε βαφές υφασμάτων, δέρματος καθώς και σε μελάνια. Λόγω της μεγάλης τοξικότητας του η χρήση του πλέον αποθαρρύνεται, έτσι η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζοντας την επιβλαβή δράση του, έθεσε περιορισμούς στην βιομηχανική χρήση του (European Parliament, 2003).

3.3 Νομοθετημένα όρια χρωμίου

Στο πόσιμο νερό έχει θεσπιστεί με την Οδηγία 98/83/EC ως ανώτατο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου τα 50 µg/L. Ωστόσο, δεν υπάρχει ανώτατο επιτρεπτό όριο ειδικά για το εξασθενές χρώμιο. Στις ΗΠΑ, η EPA έχει θεσπίσει ως ανώτατο επιτρεπτό όριο ολικού χρωμίου στο πόσιμο και υπόγειο νερό τα 100 µg/L, θεωρώντας αυτό το επίπεδο ασφαλές για την υγεία του ανθρώπου.

Στην Ελλάδα, με την ΚΥΑ 4859/726 ρυθμίζονται οι εκπομπές ολικού χρωμίου από απόβλητα βιομηχανιών σε υδάτινους αποδέκτες, σε συγκεντρώσεις που κυμαίνονται (ανάλογα με τον αποδέκτη) από 0,6 έως 3 mg/L. Οι εκπομπές ρύπων των βιομηχανιών στην Ελλάδα (φυσικά και του εξασθενούς χρωμίου) μπορούν να καθοριστούν από τις Νομαρχιακές Αυτοδιοικήσεις, κατά περίπτωση και κυμαίνονται για το Cr⁺⁶ από 0,3 έως 1 mg/L στα υγρά απόβλητα.

3.4 Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Το χρώμιο εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της αναπνοής και της κατανάλωσης τροφής και ποτών που το περιέχουν. Το τρισθενές χρώμιο, θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον οργανισμό, αφού φαίνεται να συμμετέχει στον παράγοντα ανοχής της γλυκόζης (Glucose Tolerance Factor, GTF). Ο παράγοντας GTF μαζί με την ινσουλίνη ρυθμίζουν την ποσότητα της γλυκόζης στο αίμα. Έλλειψη χρωμίου, όπως παρατηρήθηκε σε πειραματόζωα, προκαλεί αύξηση του σακχάρου στο αίμα και εμφάνιση γλυκόζης στα ούρα. Ενδείκνυται η πρόσληψη 30 έως 50 µg Cr⁺³ ημερησίως, ενώ ποσότητες μέχρι 200 µg δεν έχει αναφερθεί ότι προκαλούν προβλήματα υγείας. Αντίθετα, το εξασθενές χρώμιο έχει χαρακτηριστεί ως αποδεδειγμένο καρκινογόνο.

Επίσης, εισπνοή σωματιδίων που περιέχουν σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις Cr^{+6} μπορεί να προκαλέσει έλκος, αιμορραγία, κνησμό και φτέρνισμα. Κατάποση υψηλών ποσοτήτων Cr^{+6} μπορεί να προκαλέσει καταστροφή των νεφρών και του ήπατος, έλκος στομάχου και γαστρεντερικό ερεθισμό, ακόμα και θάνατο.

3.5 Χρώμιο στο πόσιμο νερό

Μελέτες σε πειραματόζωα έδειξαν ότι η πόση νερού επιβαρυσμένου με Cr^{+6} μπορεί να προκαλέσει καρκίνο του γαστρεντερικού συστήματος. Ωστόσο, δεν είναι σαφές αν τα επίπεδα που προσδιορίζονται σε πόσιμα ύδατα είναι ικανά να προκαλέσουν καρκίνο. Το Cr^{+6} που προσλαμβάνεται με το νερό μετατρέπεται σε μεγάλο ποσοστό σε Cr^{+3} στο όξινο περιβάλλον του στομάχου, γεγονός που δεν επιτρέπει την περαιτέρω απορρόφηση του χρωμίου από τον οργανισμό, καθώς το Cr^{+3} δεν μπορεί να διαπεράσει την κυτταρική μεμβράνη.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της ανάπτυξης των μικροοργανισμών σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος διαλείπουσας λειτουργίας με παράλληλη καταμέτρηση των στερεών σε διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωμίου (Cr).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Περιγραφή εργαστηριακής μονάδος επεξεργασίας της ενεργού ιλύος

Για τον προσδιορισμό των στερεών, την μελέτη και την ταυτοποίηση των μικροοργανισμών χρησιμοποιήθηκαν δύο μονάδες ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας, ο ένας αντιδραστήρας ήταν διαλείπουσας λειτουργίας (Sequential Batch Reactor) και ο άλλος ήταν αντιδραστήρας διαλείπουσας λειτουργίας με βιοφίλμ ως πληρωτικό υλικό (Sequential Batch Biofilm Reactor). Το σύνολο των μετρήσεων της παρούσας εργασίας διεξήχθησαν στο Εργαστήριο Περιβαλλοντικών και Ενεργειακών Διεργασιών του Ινστιτούτου Τεχνικής Χημικών Διεργασιών του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης στον δήμο Θέρμης.

Στο παρακάτω Σχήμα 15 παρουσιάζεται η εργαστηριακή διάταξη του αντιδραστήρα διαλείπουσας λειτουργίας (SBR) και του αντιδραστήρα διαλείπουσας λειτουργίας με βιοφίλμ (SBBR). Στους δύο εργαστηριακούς αντιδραστήρες πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι πειραμάτων. Στον πρώτο κύκλο προστέθηκε στο αστικό λύμα διάλυμα χρωμίου συγκέντρωσης 50 mg/L, στον δεύτερο κύκλο 100 mg/L χρωμίου στον τρίτο κύκλο διάλυμα χρωμίου συγκέντρωσης 200 mg/L.



Σχήμα 15. Εργαστηριακή παράταξη των αντιδραστήρων επεξεργασίας λυμάτων.

Οι δύο αντιδραστήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι κατασκευασμένοι από Plexiglass και έχουν χωρητικότητα 7L ο καθένας. Το περιεχόμενο των αντιδραστήρων αναδευόταν με τη χρήση αναδευτήρα, ενώ κεραμικοί διανομείς, τοποθετημένοι κοντά στον πυθμένα των αντιδραστήρων, παρείχαν επαρκή αερισμό (2-3 mg/L O₂).



Σχήμα 16. Πληρωτικό υλικό (βιοφίλμ).

Χρησιμοποιήθηκαν περισταλτικές αντλίες για την είσοδο του λύματος και την απομάκρυνση της επεξεργασμένης εκροής. Στον έναν αντιδραστήρα (SBBR) το 50% του όγκου πλήρωσεως (5L), καλύφθηκε με πλαστικό πληρωτικό υλικό (AnoxkaldnessTM, model K1). Το

πληρωτικό υλικό διέθετε 7 mm μήκος και 9 mm διάμετρο, με συνολική ενεργό επιφάνεια $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Οι δύο αντιδραστήρες λειτουργούσαν σε επαναλαμβανόμενους κύκλους διάρκειας 12 ωρών ο καθένας. Ο κάθε κύκλος αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

- ◆ 2 ώρες τροφοδοσίας του αντιδραστήρα με ταυτόχρονη ανάδευση του περιεχομένου.
- ◆ 6 ώρες περίοδος αντίδρασης/αερισμός, την οποία συνιστούσαν 4 ώρες αερισμού και ακολουθούσαν 2 ώρες ανοξικής περιόδου.
- ◆ 2 ώρες καθίζηση.
- ◆ 2 ώρες απόρριψης της επεξεργασμένης εκροής.

Οι δύο εργαστηριακές μονάδες SBR και SBBR ενοφθαλμίστηκαν με ενεργό ίλυ η οποία προήλθε από την δεξαμενή αερισμού του Δήμου Χορτιάτη.

Κατά την διάρκεια των τριών περιόδων ελήφθησαν **38** δείγματα από το στάδιο του αερισμού προκειμένου να προσδιοριστούν τα στερεά και να χαρακτηριστούν οι μικροοργανισμοί. Επίσης, μετά το στάδιο της απόρριψης ελήφθησαν δείγματα για την μέτρηση του εξερχόμενου χρωμίου.

4.2 Μέτρηση στερεών

Έξοδος: Για την μέτρηση των στερεών της εξόδου συλλέχθηκαν 50 mL δείγματος, με την βοήθεια ενός σιφωνίου, από το σημείο απόρριψης του κάθε αντιδραστήρα. Το δείγμα στη συνέχεια τοποθετείται σε συσκευή διήθησης. Πριν πραγματοποιηθεί η διήθηση υπό κενό, έχουμε ζυγίσει το διηθητικό χαρτί (ηθμό) που τοποθετήσαμε στη συσκευή. Αφού ολοκληρωθεί η διήθηση τοποθετούμε τους διηθημένους ηθμούς σε κλίβανο στους 110 °C για 2h. Στη συνέχεια ζυγίζονται και πάλι οι ηθμοί ούτως ώστε να πάρουμε το απόβαρο των στερεών κατά την έξοδο σε mg/L.

Αερισμός: Για την μέτρηση των στερεών κατά τον αερισμό συλλέχθηκαν 20 mL δείγματος, με την βοήθεια ενός σιφωνίου, μέσα από τους αντιδραστήρες αερισμού. Το δείγμα στη συνέχεια τοποθετείται σε συσκευή διήθησης. Πριν πραγματοποιηθεί η διήθηση υπό κενό, έχουμε ζυγίσει το διηθητικό χαρτί (ηθμό) που τοποθετήσαμε στη συσκευή. Αφού ολοκληρωθεί η διήθηση τοποθετούμε τους διηθημένους ηθμούς σε κλίβανο στους 110 °C για 2h. Στη συνέχεια ζυγίζονται και πάλι οι ηθμοί ούτως ώστε να πάρουμε το απόβαρο των στερεών κατά την διάρκεια του αερισμού σε mg/L.

4.3 Μικροσκοπική εξέταση

Για την μικροσκοπική εξέταση παίρνετε δείγμα μέσα από κάθε δεξαμενή αερισμού και τοποθετείται μια μικρή σταγόνα σε μικροσκόπιο. Το δείγμα εξετάζεται προσεκτικά και με σωστή διαχείριση του μικροσκοπίου για να εντοπιστούν όσο το δυνατόν περισσότεροι μικροοργανισμοί της ενεργού ιλύος.

Στη συνέχεια μέσα από κάθε ογκομετρική φιάλη παίρνουμε 20mL του δείγματος και το τοποθετούμε σε κωνική φιάλη, ούτως ώστε να προσθέσουμε τα κατάλληλα αντιδραστήρια. Έτσι λοιπόν, γίνεται προσθήκη 1mL διαλύματος 75% H₂SO₄ και 1mL διαλύματος Diphenylcarbazide το οποίο έχουμε παρασκευάσει (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1). Τα δείγματα αφήνονται σε ηρεμία για 10min και στη συνέχεια γίνεται η μέτρηση της απορρόφησης τους στα 540nm (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Τιμές απορρόφησης (Abs) για διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωμίου

Συγκέντρωση Cr (mg/L)	Abs
5	-
2,5	-
1,25	0,735
0,625	0,359
0,3125	0,175
0,1563	0,091

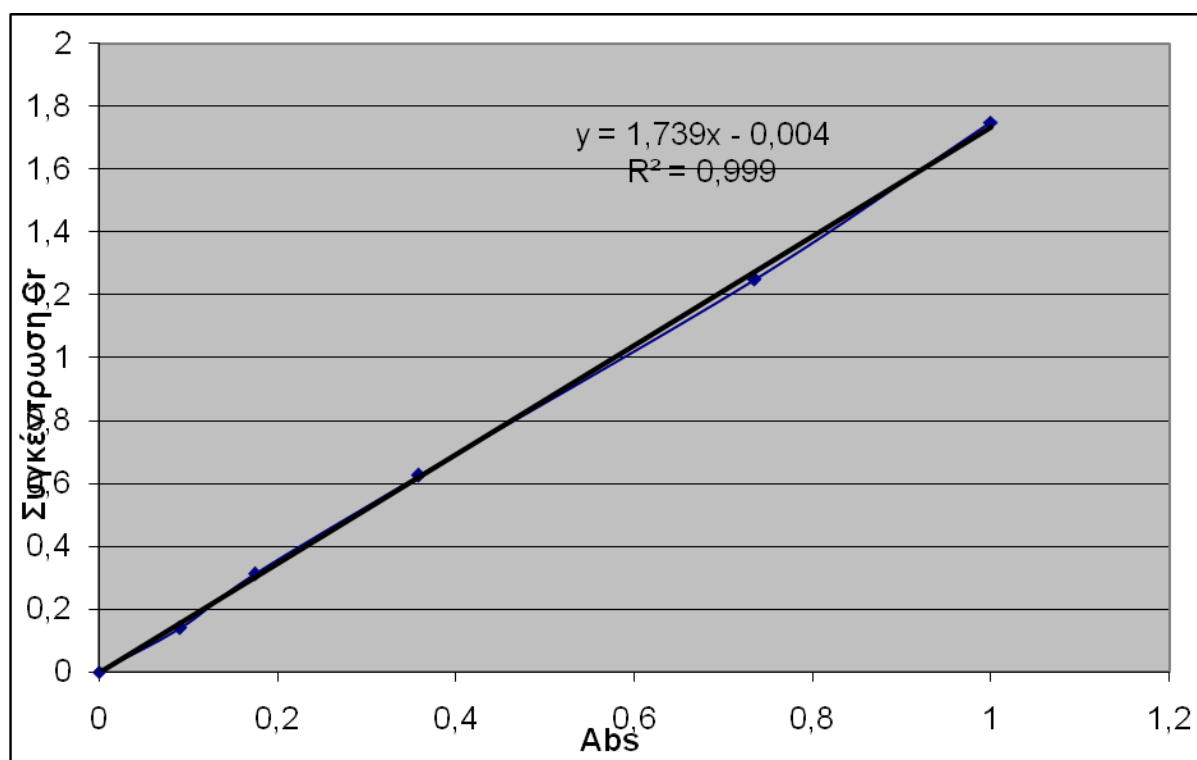
Παρατηρούμε όμως ότι για τις δυο πρώτες συγκεντρώσεις δεν έχουμε τιμές απορρόφησης. Πρόκειται για υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου τις οποίες δεν μπορεί να ανιχνεύσει το φασματοφωτόμετρο. Έτσι λοιπόν, κάναμε μια επιπλέον αραίωση στα 1,75mg/L (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2).

Στον Πίνακα 3 βλέπουμε τις συνολικές μετρήσεις απορρόφησης που πήραμε από το φασματοφωτόμετρο.

Πίνακας 3. Συνολικές τιμές απορρόφησης

Συγκέντρωση Cr (mg/L)	Abs
1,75	1,0
1,25	0,735
0,625	0,359
0,3125	0,175
0,1563	0,091

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που πήραμε από το φασματοφωτόμετρο δημιουργήσαμε την πρότυπη καμπύλη που φαίνεται στο Σχήμα 17.



Σχήμα 17. Πρότυπη καμπύλη χρωμίου

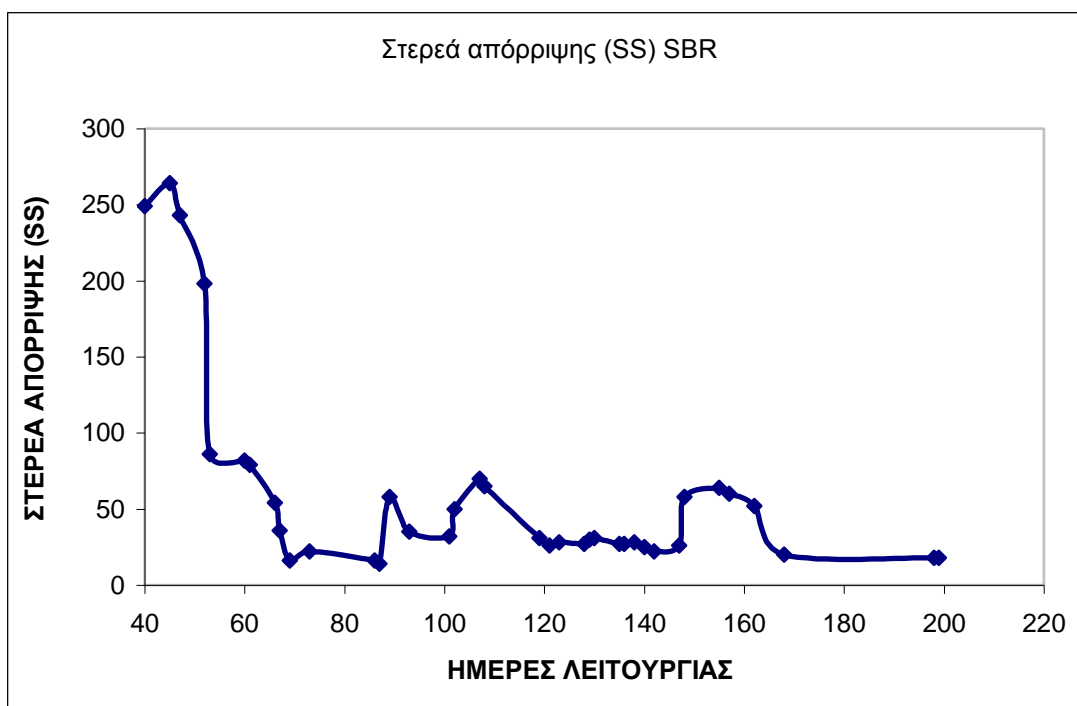
Η πρότυπη καμπύλη χρωμίου δημιουργήθηκε μετά τον πρώτο κύκλο λειτουργίας εργαστηριακής διάταξης ενεργού ιλύος. Ο πρώτος κύκλος λειτουργίας θεωρήθηκε ως μια περίοδος προσαρμογής του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

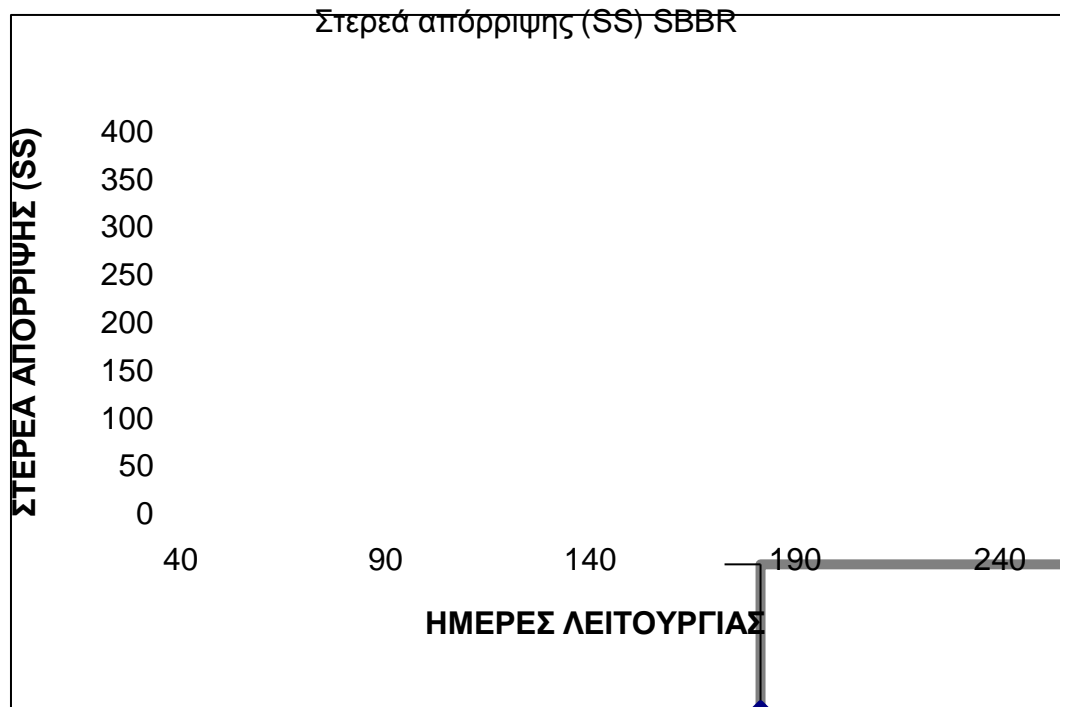
5.1 Αποτελέσματα και συζήτηση

Στερεά απόρριψης και αερισμού

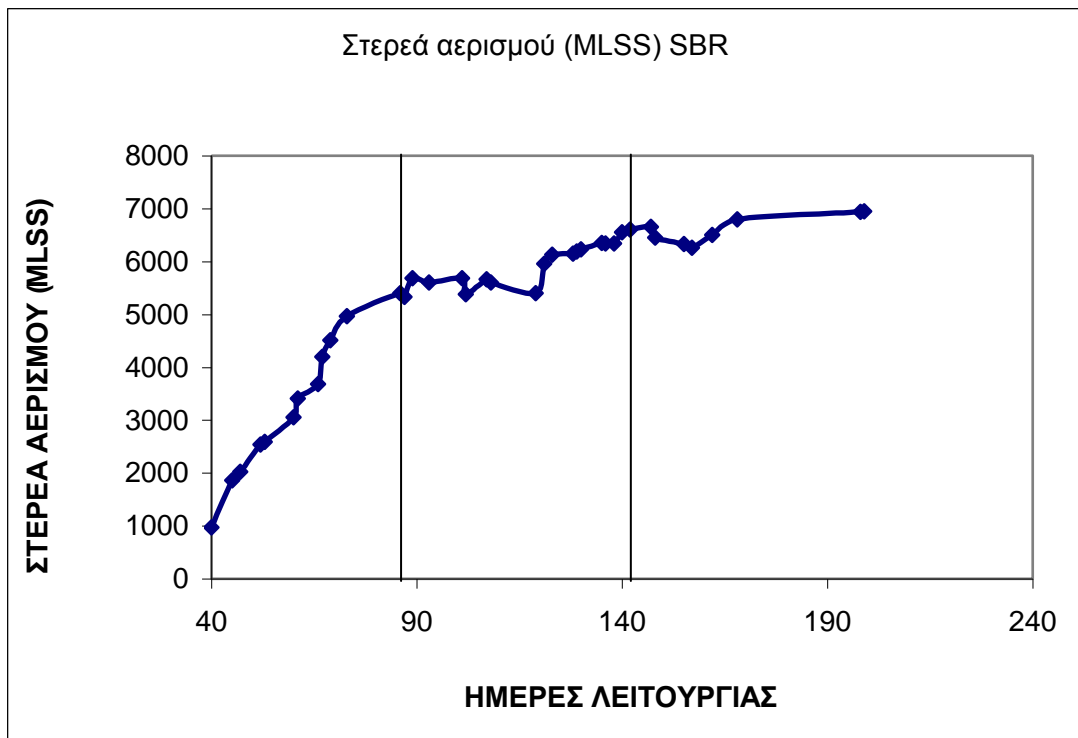
Στα Σχήματα 18, 19, 20 και 21 απεικονίζονται οι τιμές των στερεών σωματιδίων σε δείγματα που συλλέχθηκαν από τα συστήματα των αντιδραστήρων SBR και SBBR τόσο κατά το στάδιο της απόρριψης όσο και για το στάδιο του αερισμού για τις διάφορες συγκεντρώσεις χρωμίου με τις οποίες πειραματιστήκαμε.



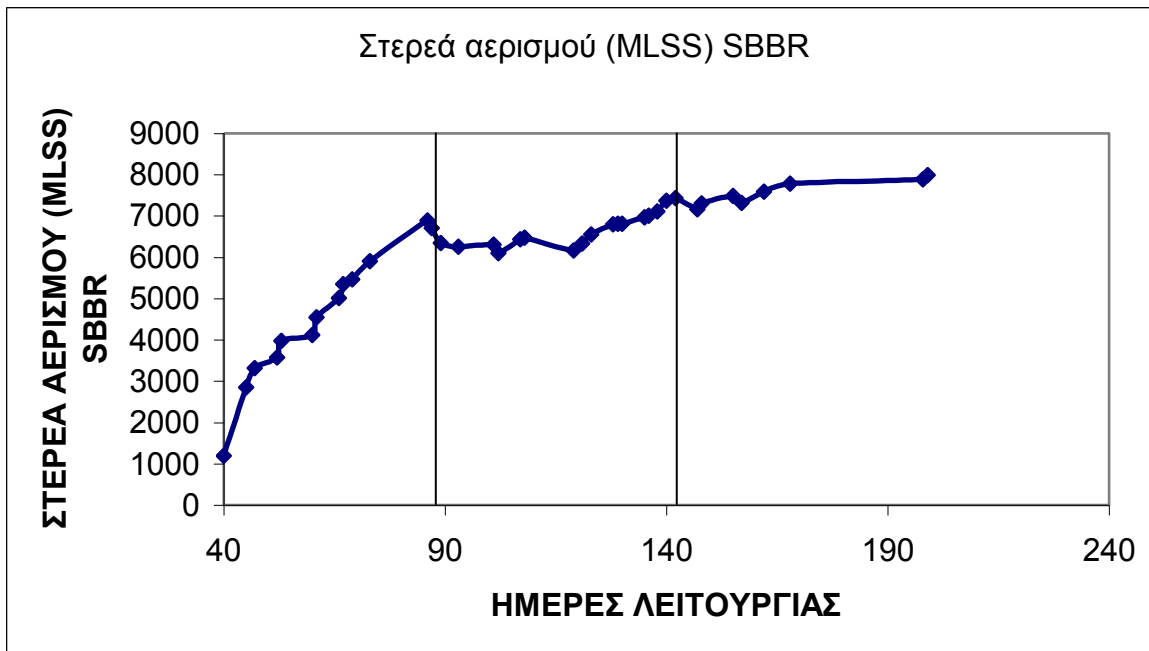
Σχήμα 18. Στερεά σωματίδια στην εκροή (mg/L) συναρτήσει των ημερών λειτουργίας



Σχήμα 19. Στερεά σωματίδια στην εκροή (mg/L) συναρτήσει των ημερών λειτουργίας



Σχήμα 20. Στερεά σωματίδια στο ανάμικτο υγρό (mg/L) συναρτήσει των ημερών λειτουργίας



Σχήμα 21. Στερεά σωματίδια στο ανάμικτο υγρό (mg/L) συναρτήσει των ημερών λειτουργίας

Στους Πίνακες 4 και 5 αναγράφονται οι μέσοι όροι και το εύρος τιμών των στερεών σωματιδίων στην εκροή κατά τις τρεις περιόδους λειτουργίας των αντιδραστήρων SBR και SBBR.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικές τιμές στερεών σωματιδίων στην εκροή από τον αντιδραστήρα SBR κατά τις τρεις περιόδους λειτουργίας του συστήματος.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΣΥΝΟΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ
1η	46	12	50 mg/L χρώμιο	112,083	248
2η	53	17	100 mg/L χρώμιο	35,529	50
3η	57	9	200 mg/L χρώμιο	37,555	46

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικές τιμές στερεών σωματιδίων στην εκροή από τον αντιδραστήρα SBBR κατά τις τρεις περιόδους λειτουργίας του συστήματος.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ
1η	46	12	50 mg/L χρώμιο	117,333	336
2η	53	17	100 mg/L χρώμιο	36,470	26
3η	57	9	200 mg/L χρώμιο	41,333	43

Στους Πίνακες 6 και 7 αναγράφονται οι μέσοι όροι και το εύρος τιμών των στερεών σωματιδίων στο ανάμικτο υγρό κατά τις τρεις περιόδους λειτουργίας των αντιδραστήρων SBR και SBBR.

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικές τιμές στερεών σωματιδίων στο ανάμικτο υγρό από τον αντιδραστήρα SBR κατά τις τρεις περιόδους λειτουργίας του συστήματος.

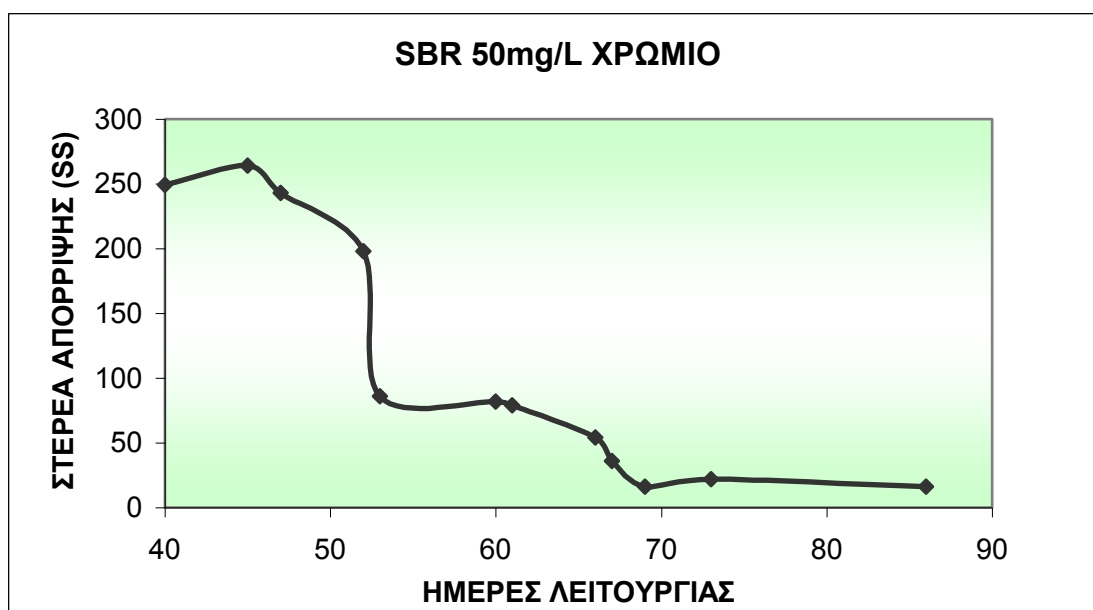
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ
1η	46	12	50 mg/L χρώμιο	3267,583	4425
2η	53	17	100 mg/L χρώμιο	5916,470	1215
3η	57	9	200 mg/L χρώμιο	6608,888	350

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικές τιμές στερεών σωματιδίων στο ανάμικτο υγρό από τον αντιδραστήρα SBBR κατά τις τρεις περιόδους λειτουργίας του συστήματος.

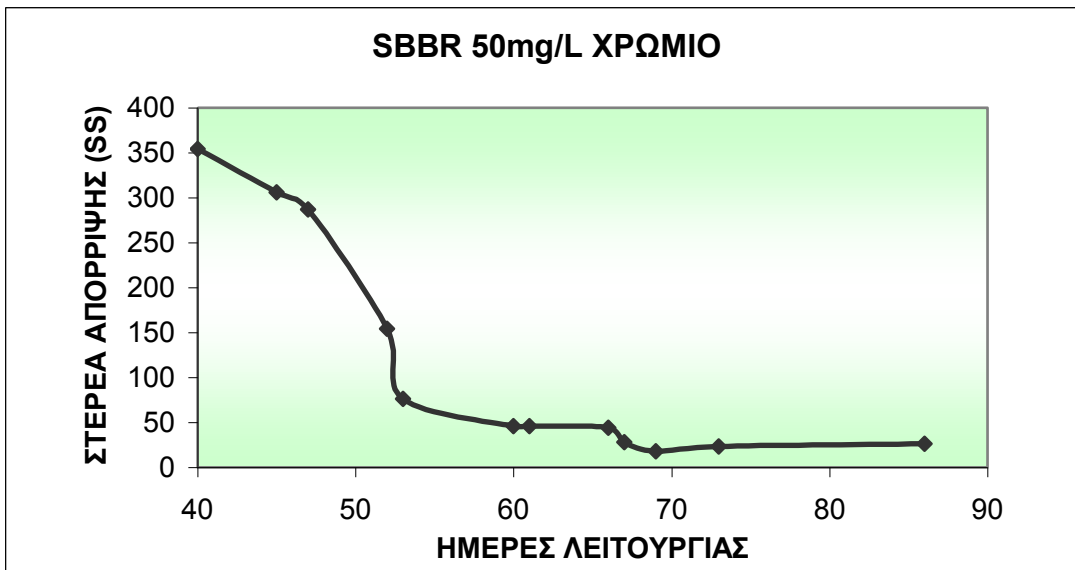
ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ
1η	46	12	50 mg/L χρώμιο	4347,50	5705
2η	53	17	100 mg/L χρώμιο	6620,00	1115
3η	57	9	200 mg/L χρώμιο	7548,88	835

Τα σχήματα που ακολουθούν εμφανίζουν αναλυτικά την πορεία των στερεών για κάθε συγκέντρωση χρωμίου, σε ξεχωριστές περιόδους λειτουργίας, του κάθε αντιδραστήρα χωριστά.

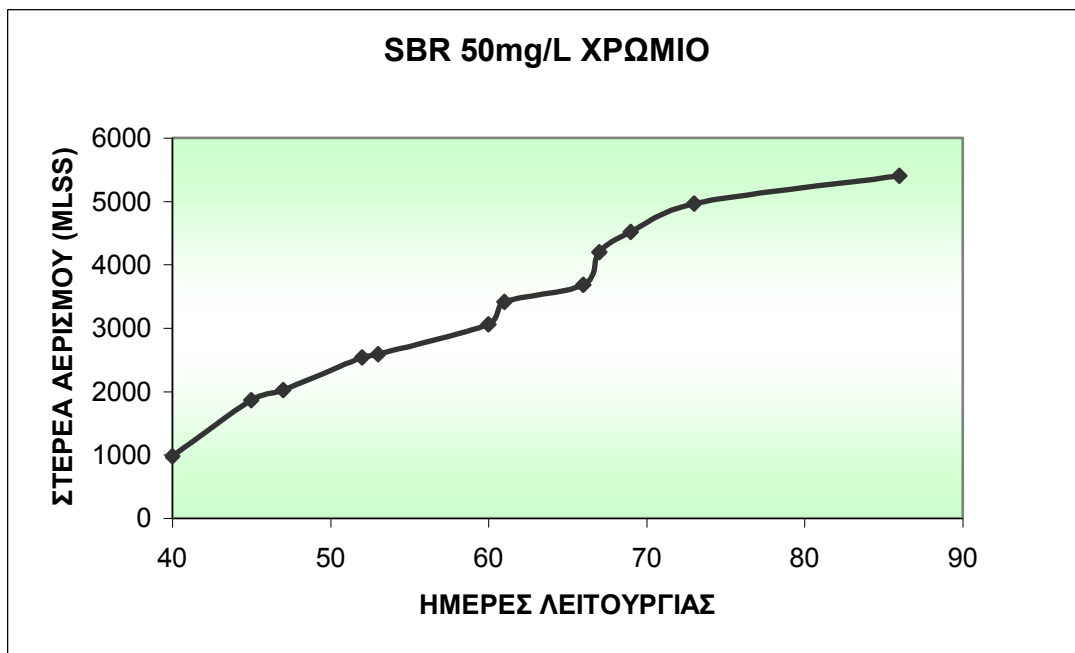
1^η Περίοδος. Η πρώτη περίοδος λειτούργησε με συγκέντρωση χρωμίου 50mg/L και για χρονικό διάστημα 46 ημερών.



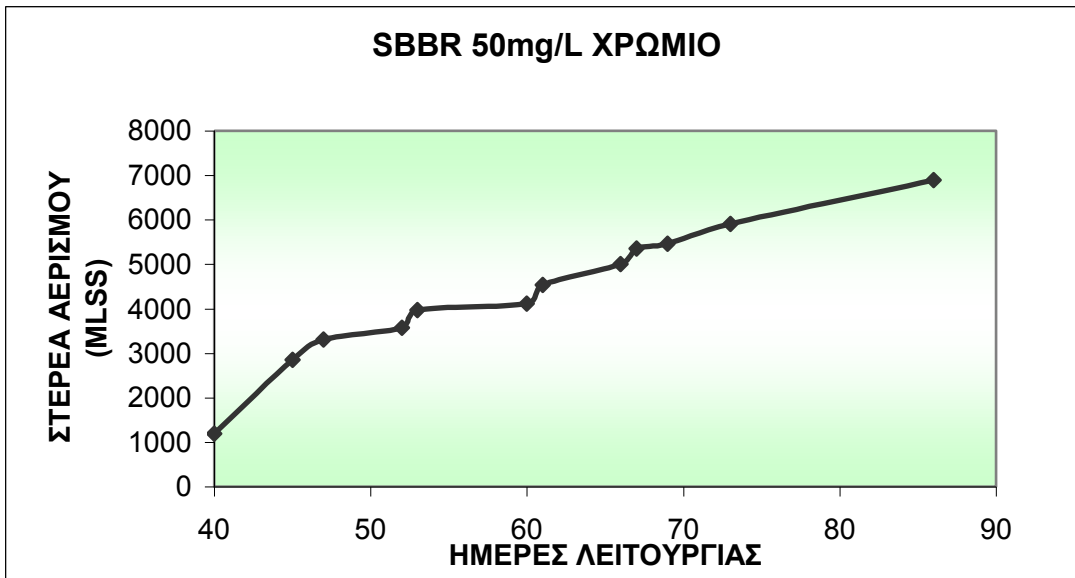
Σχήμα 22. Συγκέντρωση στερεών στην εκροή (SS) για την πρώτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBR.



Σχήμα 23. Συγκέντρωση στερεών στην εκροή (SS) για την πρώτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBBR.

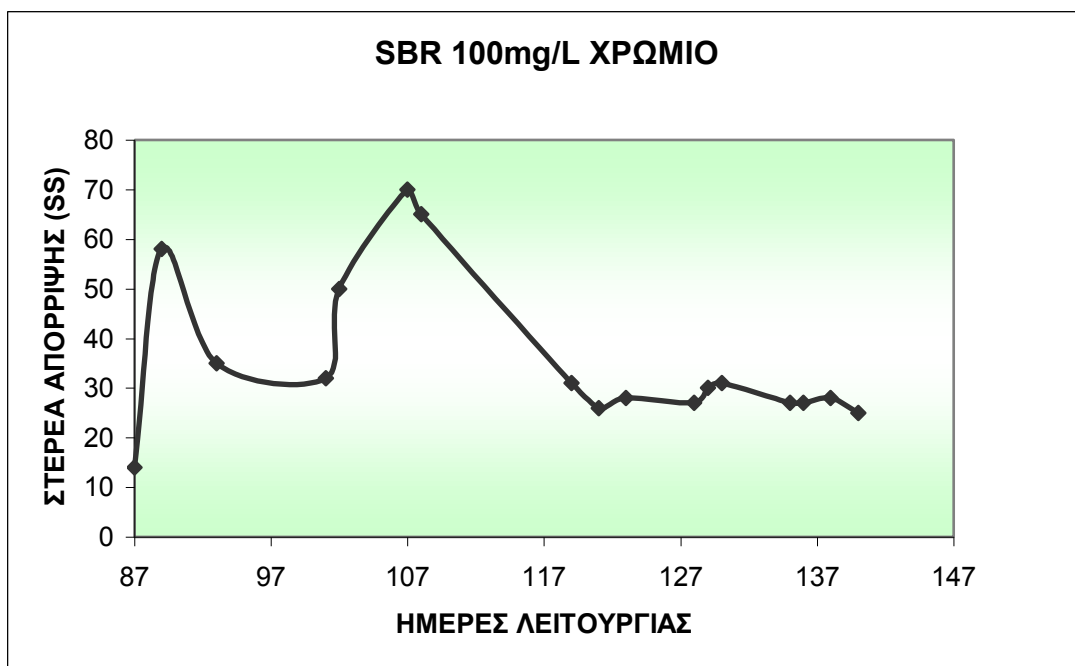


Σχήμα 24. Συγκέντρωση στερεών (MLSS) κατά το στάδιο του αερισμού για την πρώτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBR.

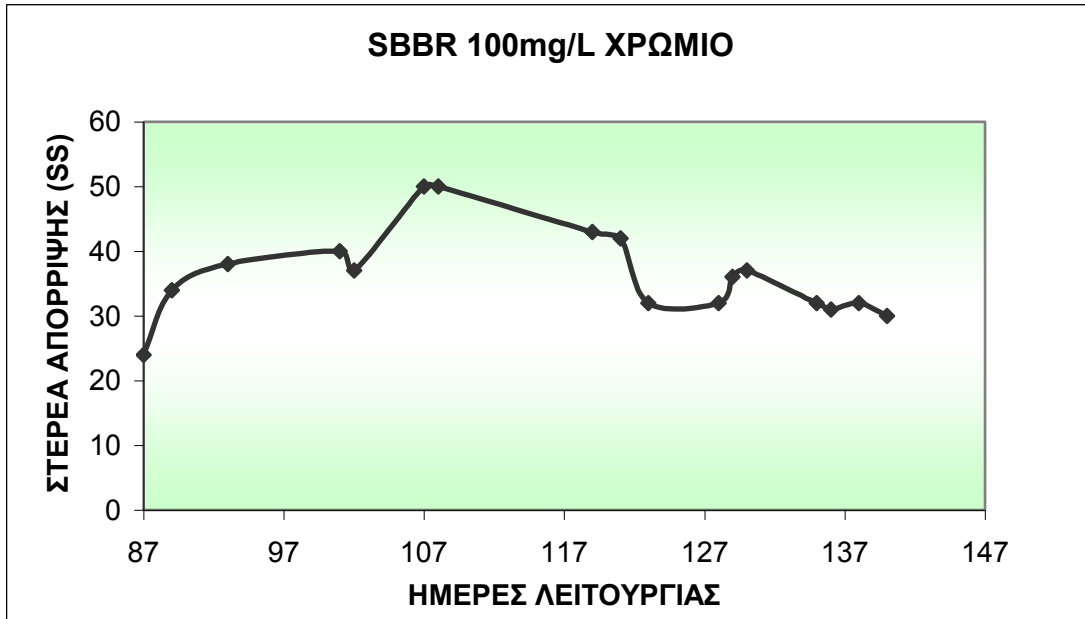


Σχήμα 25. Συγκέντρωση στερεών (MLSS) κατά το στάδιο του αερισμού για την πρώτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBBR.

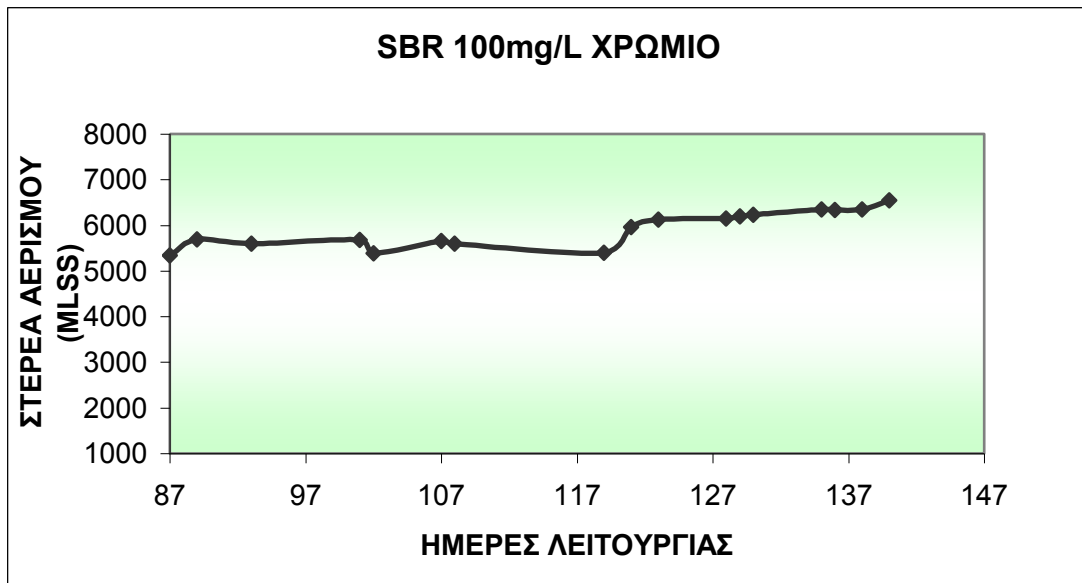
2^η Περίοδος. Η δεύτερη περίοδος λειτούργησε με συγκέντρωση χρωμίου 100 mg/L και για χρονικό διάστημα 53 ημερών.



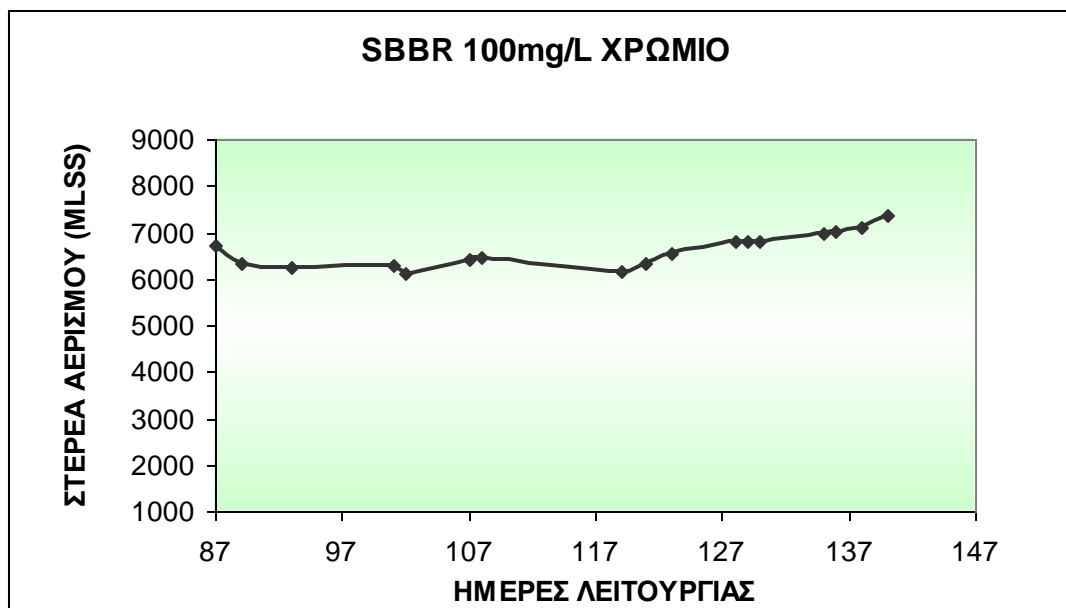
Σχήμα 26. Συγκέντρωση στερεών στην εκροή (SS) για την δεύτερη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBR.



Σχήμα 27. Συγκέντρωση στερεών στην εκροή (SS) για την δεύτερη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBR.

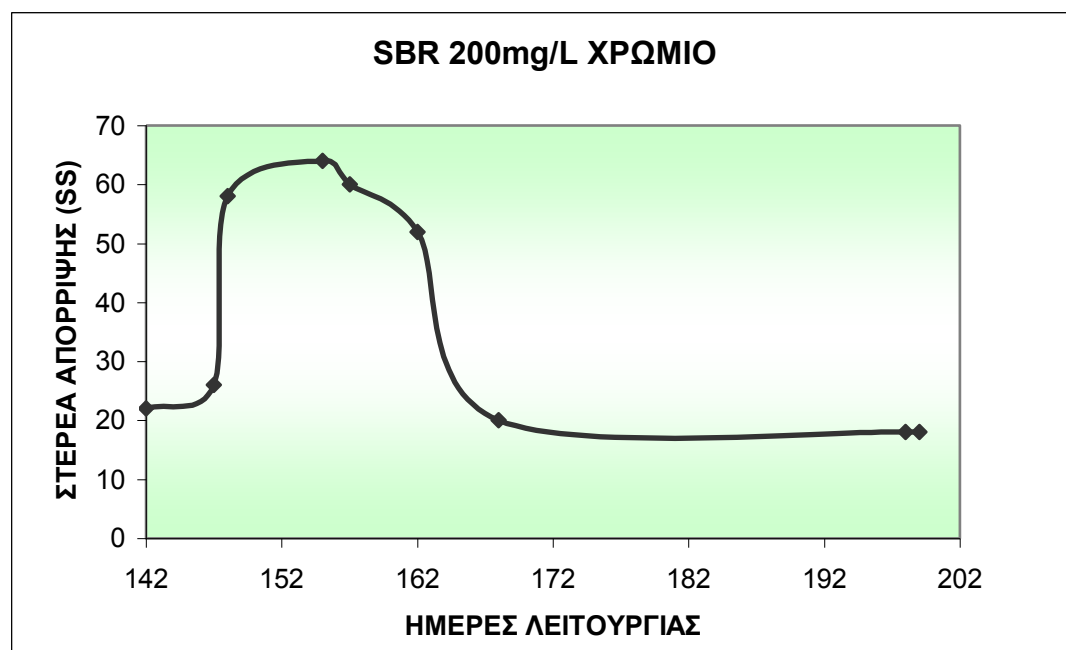


Σχήμα 28. Συγκέντρωση στερεών (MLSS) κατά το στάδιο του αερισμού για την δεύτερη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBR.

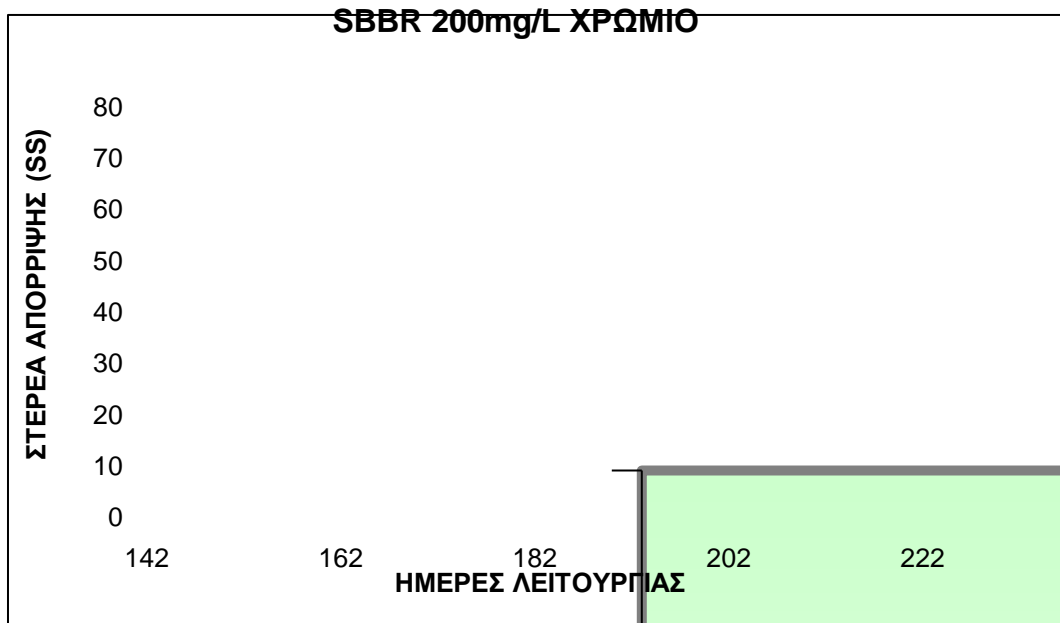


Σχήμα 29. Συγκέντρωση στερεών στην εκροή (MLSS) για την δεύτερη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBBR.

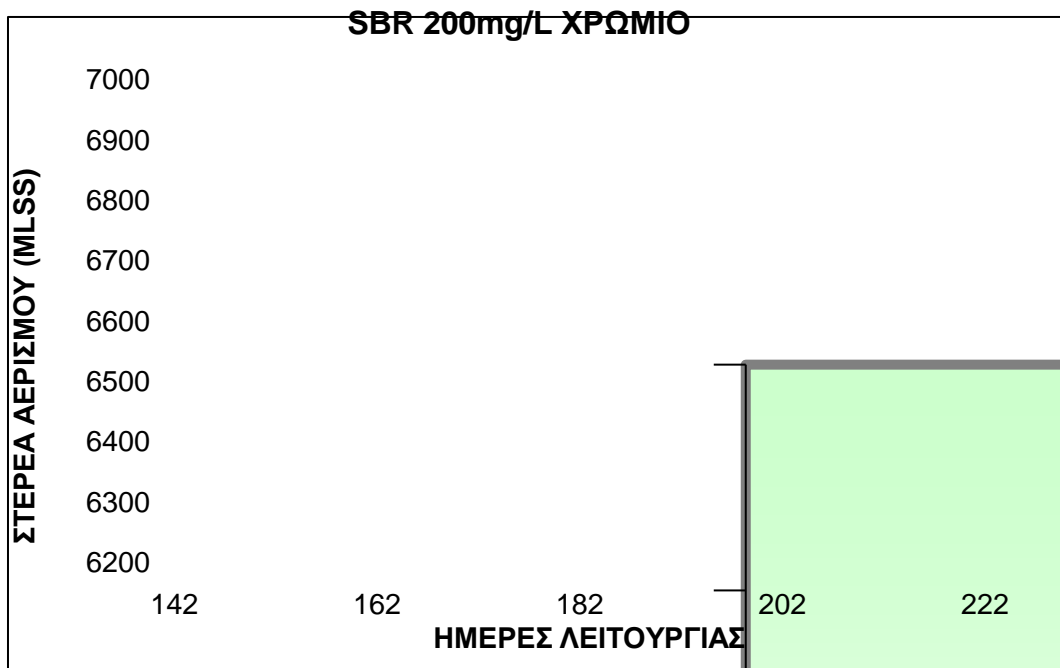
3^η Περίοδος. Η τρίτη περίοδος λειτούργησε με συγκέντρωση χρωμίου 200 mg/L και για χρονικό διάστημα 57 ημερών.



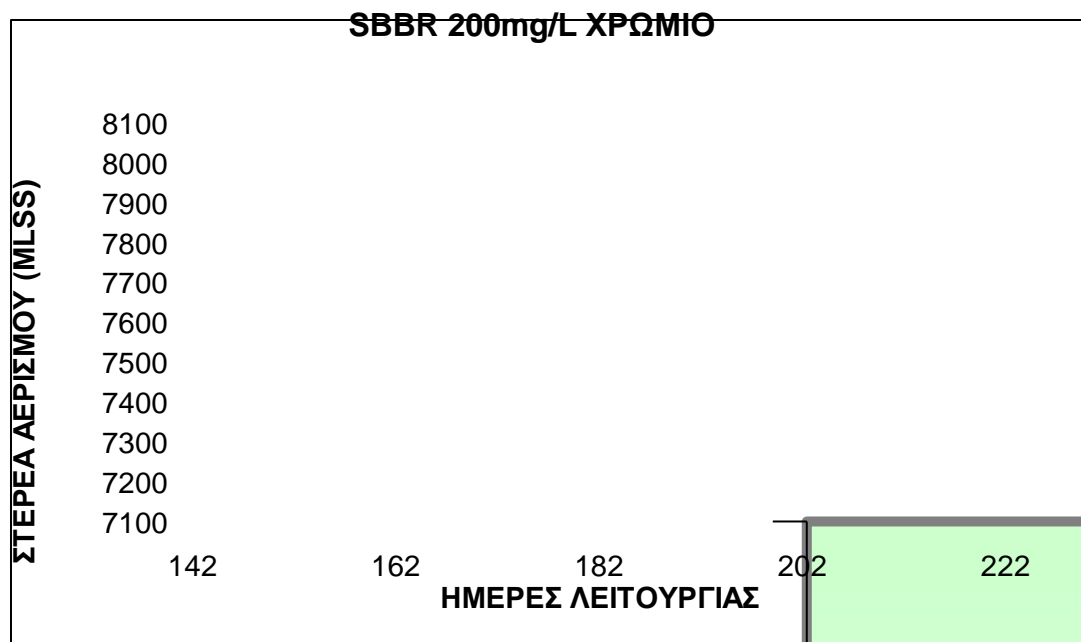
Σχήμα 30. Συγκέντρωση στερεών στην εκροή (SS) για την τρίτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBR.



Σχήμα 31. Συγκέντρωση στερεών στην εκροή (SS) για την τρίτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBBR.



Σχήμα 32. Συγκέντρωση στερεών (MLSS) κατά το στάδιο του αερισμού για την τρίτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBR.



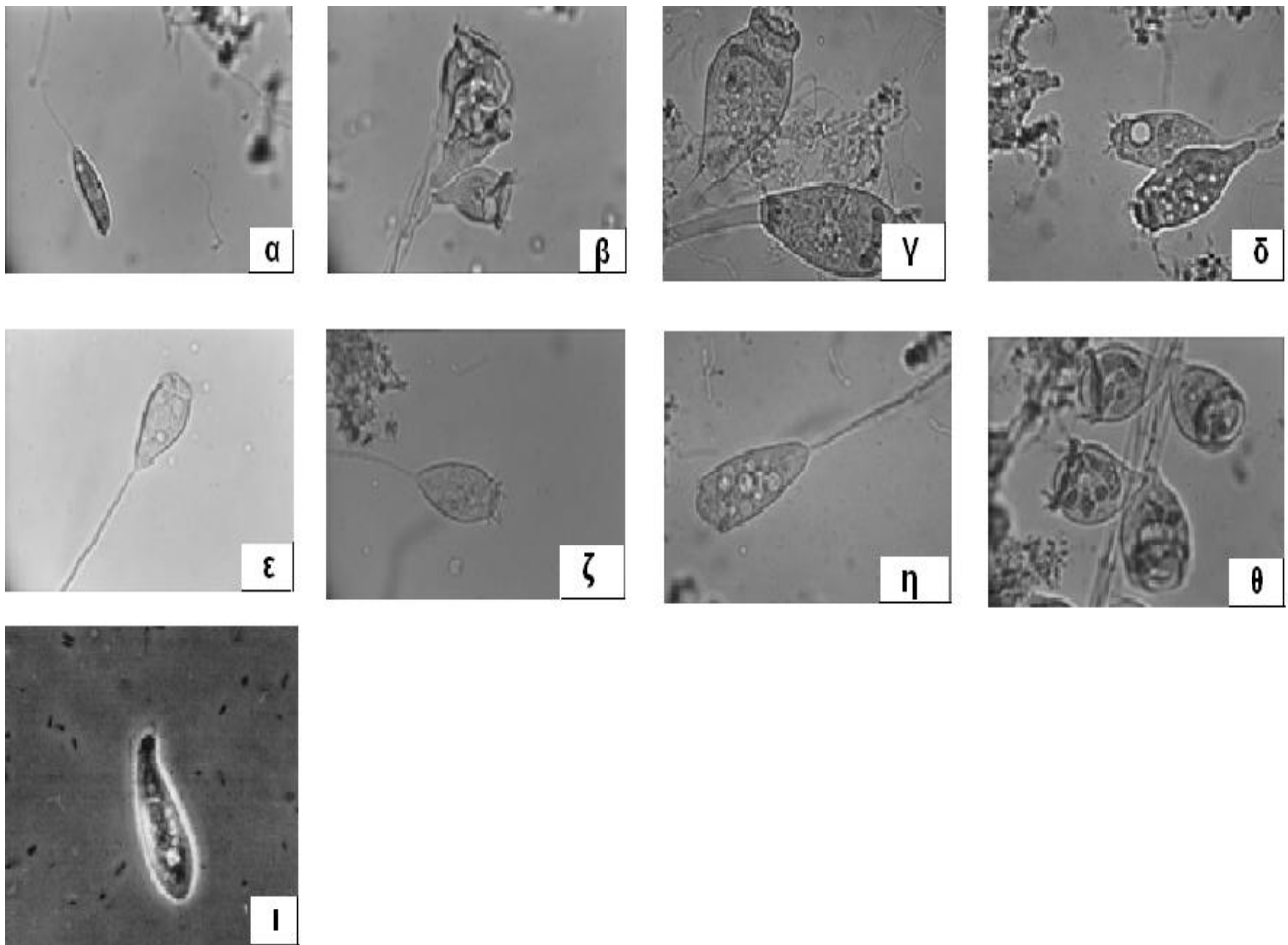
Σχήμα 33. Συγκέντρωση στερεών (MLSS) κατά το στάδιο του αερισμού για την τρίτη περίοδο λειτουργίας του αντιδραστήρα SBBR.

Μικροοργανισμοί ενεργού ιλύος

Στο Σχήμα 34 βλέπουμε την μορφή ορισμένων πρωτοζώων, που έχουν φωτογραφηθεί και ταυτοποιηθεί μέσω μικροσκοπίου σε εργαστήριο.

Καθώς ξεκινάει η μικροσκοπική εξέταση, μεγαλύτερη ανάπτυξη πρωτοζώων εμφανίζει ο αντιδραστήρας SBBR με το πληρωτικό υλικό.

Τόσο στο αντιδραστήρα SBR όσο και στον αντιδραστήρα SBBR εμφανίστηκαν κυρίως βλεφαριδοφόροι και μαστιγοφόροι μικροοργανισμοί. Οι μικροοργανισμοί *Vorticella sp.* και *Opercularia sp.* επικρατούν σε όλα τα συστήματα της ενεργού ιλύος. Οι *Opercularia sp.* μικροοργανισμοί χαρακτηρίζονται ως τα μοναδικά άμισχα (sessile) είδη που είναι σε θέση να ανεχθούν υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίου.



Σχήμα 34. Παρουσία σημαντικότερων μικροοργανισμών στους αντιδραστήρες
 α) Μαστιγοφόρο *Paranema*, β) Βλεφαριδοφόρο *Carchesium*, γ) Βλεφαριδοφόρο *Epystilis*, δ) Βλεφαριδοφόρο *Opercularia*, ε) Βλεφαριδοφόρο *Vorticella aquadulcis*, ζ) Βλεφαριδοφόρο *Vorticella microstoma* η) Βλεφαριδοφόρο *Vorticella convallaria*, θ) Βλεφαριδοφόρο *Zoothamnium*, ι) Βλεφαριδοφόρο *Trachelophyllum pusillum*.

Τα μαστιγοφόρα έχουν ένα ή περισσότερα μαστίγια τα οποία χρησιμοποιούνται ως οργανίδια για κίνηση και για δημιουργία ρευμάτων μεταφοράς τροφής.

Τα βλεφαριδοφόρα απαντώνται σε μεγαλύτερη ποικιλία από τα άλλα πρωτόζωα σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη βλεφαρίδων οι οποίες είναι διευθετημένες κατά τέτοιο τρόπο στην επιφάνεια τους ώστε να διευκολύνουν λειτουργίες όπως η κίνηση ή η διατροφή (Τσώνης, 2004).

Εμφάνιση άλλων μικροοργανισμών

Μετά την προσθήκη 200mg/L Cr αρχίζει να εμφανίζεται μια νέα μορφή μικροοργανισμών, η οποία φαίνεται να είναι πιο εξελιγμένη από τα πρωτόζωα (Σχήμα 35). Έτσι λοιπόν, καθώς τα πρωτόζωα άρχισαν να ελαττώνονται προς το τέλος της πειραματικής περιόδου των 50mg/L Cr, ξαφνικά με την προσθήκη της νέας συγκέντρωσης χρωμίου (Cr) εμφανίστηκαν τα *τροχόζωα*. Τα τροχόζωα θεωρούνται ανώτερης τάξης μικροοργανισμοί από τα πρωτόζωα και αποτελούν δείκτη καλής ποιότητας της λάσπης.

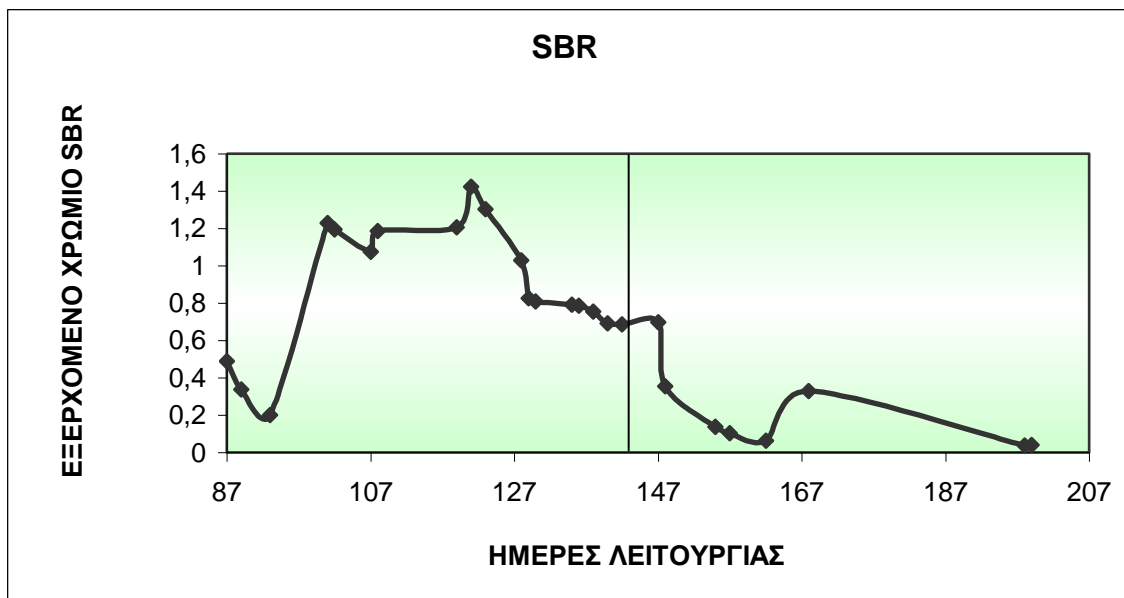
Την πρώτη τους εμφάνιση την κάνουν στον αντιδραστήρα χωρίς πληρωτικό υλικό (SBR) και μετά από 30 ημέρες περίπου άρχισαν να εμφανίζονται και στον αντιδραστήρα με πληρωτικό υλικό (SBBR).



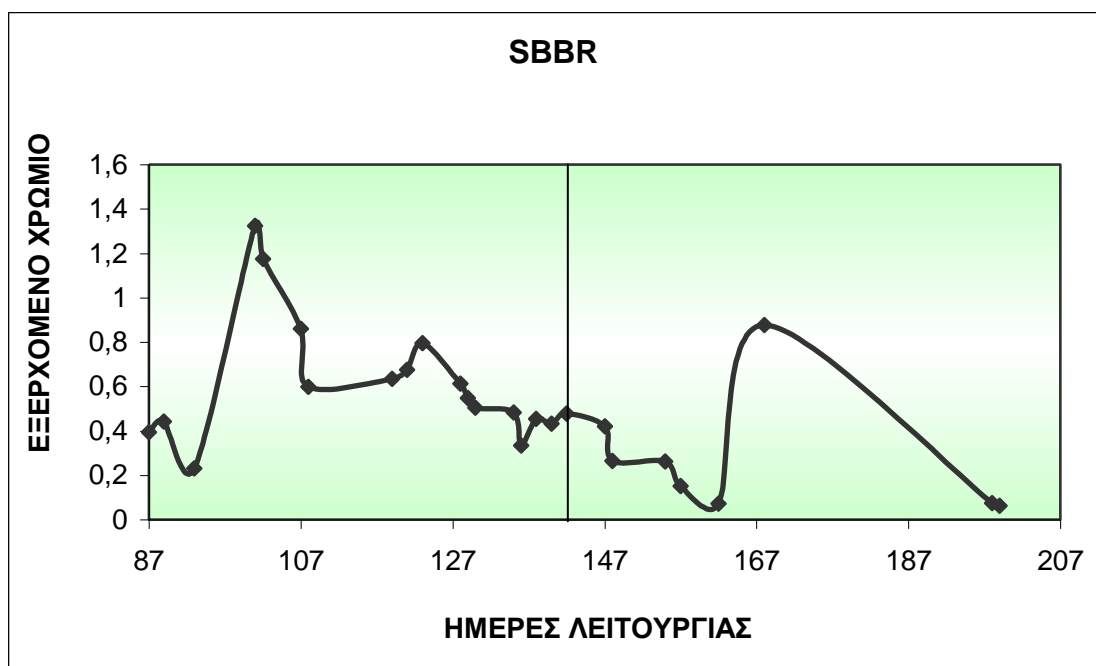
Σχήμα 35. Μορφή τροχόζωων στα λύματα

Συγκεντρώσεις εξερχόμενου χρωμίου

Τα Σχήματα 36 και 37 απεικονίζουν την μεταβολή του εξερχόμενου χρωμίου από τις δυο εξόδους των επεξεργασμένων λυμάτων (στάδια απόρριψης), αντίστοιχα.



Σχήμα 36. Μεταβολή του χρωμίου στον αντιδραστήρα SBR (mg/L)



Σχήμα 37. Μεταβολή χρωμίου στον αντιδραστήρα SBBR (mg/L)

Για κάθε αλλαγή συγκέντρωσης χρωμίου παρατηρείται μια απότομη αύξηση των στερεών στην εκροή, η οποία χαρακτηρίζεται ως περίοδος προσαρμογής του συστήματος. Στη συνέχεια παρατηρείται μείωση των στερεών έως ότου επέλθει η σταθεροποίησή τους. Αντιθέτως, κατά τον αερισμό παρατηρείται σταδιακή αύξηση των στερεών σε όλες τις περιόδους λειτουργίας. Αυτό σαφώς έχει άμεση σχέση και με την ανάπτυξη των μικροοργανισμών στους αντιδραστήρες.

Η μικροπανίδα μέσα στις δεξαμενές αερισμού του συστήματος της ενεργού ιλύος (SBR και SBBR) περιλαμβάνει κυρίως *πρωτόζωα*. Σε γενικές γραμμές όμως, πέρα από τα πρωτόζωα, παρατηρείται πληθώρα και άλλων μικροοργανισμών, όπως για παράδειγμα είναι τα *τροχόζωα*, τα *βακτήρια*, οι *μύκητες* και τα *νηματώδη* (Madoni, 1994).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η εμφάνιση και εξέλιξη διαφόρων ειδών πρωτοζώων που έχουν μεγάλη σημασία στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Τα πρωτόζωα καταναλώνουν βακτήρια ως τροφή, ενώ απορροφούν στερεά οργανική ύλη, την οποία χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας και άνθρακα.

Στα συστήματα της ενεργού ιλύος, τα βιοτικά συστατικά αντιπροσωπεύονται από αποικοδομητές (βακτήρια, μύκητες) τα οποία χρησιμοποιούν την διαλυμένη οργανική ύλη των λυμάτων, καθώς και από τους καταναλωτές (*ετερότροφα μαστιγοφόρα*, *βλεφαριδοφόρα*, *ριζόποδα* και *μικρά μετάζωα*) τα οποία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τρέφονται με διασκορπισμένα βακτήρια και άλλους οργανισμούς.

Είναι γνωστό ότι η ενεργοποιημένη λάσπη αναπτύσσει συγκεκριμένες κοινότητες πρωτοζώων, τα οποία είναι συνέχεια μεγάλων πληθυσμών βακτηρίων.

Τα *βλεφαριδοφόρα (ciliates)* πρωτόζωα βρίσκονται σε μεγάλο βαθμό σε όλους τους τύπους αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων. Τα βλεφαριδωτά πρωτόζωα βελτιώνουν την ποιότητα των λυμάτων. Με την

απουσία τους τα λύματα εκρέουν από το σύστημα , έχοντας αυξημένο BOD (Biochemical Oxygen Demand) και είναι εξαιρετικά θολά λόγω της παρουσίας πολλών διασκορπισμένων βακτηρίων (Madoni, 1994).

Η αρχική φάση επεξεργασίας της ενεργού ιλύος χαρακτηρίζεται κυρίως από πληθώρα ελεύθερων κολυμβώντων, τα οποία αρχίζουν να μειώνονται μετά από μια περίοδο 10 – 15 ημερών και επέρχεται μια σταθερή κατάσταση ανάπτυξης των πρωτοζώων.

Η φάση σταθεροποίησης χαρακτηρίζεται κυρίως από τον πληθυσμό των *βλεφαριδοφόρων* (*ciliates*) και των *μαστιγοφόρων* (*flagellates*) πρωτοζώων, αλλά σε διαφορετικό βαθμό ανάπτυξης για τον κάθε αντιδραστήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση διαφόρων συγκεντρώσεων χρωμίου τόσο στην μεταβολή των στερεών όσο και στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών, σε δυο αντιδραστήρες ενεργού ιλύος διαλείπουσας λειτουργίας (SBR & SBBR). Πραγματοποιήθηκαν τρεις κύκλοι λειτουργίας με διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωμίου 50, 100 και 200mg/L. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- ◆ Η ποσότητα των στερεών στον αντιδραστήρα SBBR που παρατηρήθηκε κατά το στάδιο του αερισμού είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τον αντιδραστήρα SBR.
- ◆ Καθυστέρηση ανάπτυξης μικροοργανισμών στον αντιδραστήρα SBBR (με πληρωτικό υλικό) σε σχέση με τον αντιδραστήρα SBR (άνευ πληρωτικού υλικού).
- ◆ Ανιχνεύσιμη ποσότητα χρωμίου κατά το στάδιο εξόδου από τους δύο αντιδραστήρες.
- ◆ Αύξηση χρωμίου κατά το αρχικό στάδιο λειτουργίας των αντιδραστήρων διαλείπουσας λειτουργίας και στη συνέχεια σταδιακή μείωση αυτού σε αμελητέες συγκεντρώσεις.
- ◆ Κατανάλωση χρωμίου μέσα στους αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας από τους μικροοργανισμούς.

- ◆ Κυριαρχία διάφορων βλεφαριδοφόρων και μαστιγοφόρων πρωτόζωων καθ' όλη την διάρκεια της πειραματικής διεργασίας.
- ◆ Τα είδη *Vorticella sp.* και *Opercularia sp.* επικράτησαν περισσότερο μέσα στους αντιδραστήρες.

6.2 Προτάσεις

Οι προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση της εργασίας αυτής περιλαμβάνουν:

- ◆ Μελέτη του συσχετισμού μεταξύ των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της εκροής και της παρουσίας συγκεκριμένων οργανισμών.
- ◆ Διερεύνηση της απόκρισης των οργανισμών κάτω από την επίδραση υψηλών συγκεντρώσεων χρωμίου που εισάγεται όμως όχι προοδευτικά από χαμηλές προς υψηλές συγκεντρώσεις αλλά απευθείας σε υψηλές τιμές (shock loading).
- ◆ Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών μετάλλων ή οργανικών ουσιών που μπορεί να βρεθούν σε ένα αποχετευτικό δίκτυο.
- ◆ Διερεύνηση της συνεργιστικής δράσης από την παρουσία μιγμάτων μετάλλων και οργανικών ουσιών στην τροφοδοσία ενός συστήματος ενεργού ιλύος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη

- Alves C., Nogueira R., Brito A.G. (2004), "*Poly-b-hydroxybutyrate metabolism in a biofilm reactor*". *Biofilms 2004: Structure and Activity of Biofilms*. Las Vegas, USA, 24-26 October.
- Chabaud S., Andres Y., Label A., Cloirec P. (2006). "*Bacteria removal in septic effluent: Influence of biofilm and protozoa*". *Water Res.*, **40**, 3109 – 3114
- Crites R. and Tsobanoglous G. (1998), "*Small and Decentralized wastewater management systems*", WCB, Mc Graw – Hill, U.S.A..
- EPA (1999). "*Wastewater technology fact sheet, sequencing batch reactors*".
- European Parliament, "*Directive on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment (RoHS)*", (2003)
- Gray N. F. (1990), "*Activated Sludge – Theory and Practise*", Oxford University Press, New York, U.S.A.
- INCHEM (1988), International Programme on Chemical Safety, "*Environmental health criteria 61: chromium*", Geneva
- Jenkins D., Richard M., Daigger G. (1993), "*Manual on the Causes and Control of Activated Sludge, Bulking and Foaming*", 2nd Edition, Lewis Publishers, U.S.A..
- Jiwani A., Graham N.J.D. and Day M.C., (1997), "*Activated sludge process control via particle monitoring*", *Water Sci. Technol.*, p. 269-277.
- Li D.H. and Ganczarczyk J.J., (1990), "*Structure of activated sludge flocs*", *Biotechnol. Bioeng.*, p. 57-65.

- Madoni P. (1994), Estimates of ciliated protozoa biomass in activated sludge and biofilm. *Bioresource Technology*, **48**, 245-249
- Stasinakis AS, Mamais D, Thomaidis NS, Lekkas TD. (2002), "*Effect of chromium(VI) on bacterial kinetics of heterotrophic biomass*", *Water Res.*, 36:3341-3349
- Stasinakis SA, Thomaidis NS, Lekkas TD: "*Speciation of chromium in wastewater and sludge by extraction with liquid anion exchanger Amberlite LA-2 and electrothermal atomic absorption spectrometry*", *Anal Chim Acta*, 478:119-127, **2003**
- Stasinakis AS, Thomaidis NS, Mamais D, Karivali M, Lekkas TD. (2003), "*Chromium species behaviour in the activated sludge process*", *Chemosphere* 52:1059-1067
- Stasinakis AS, Thomaidis NS, Mamais D, Lekkas TD. (2004), "*Investigation of Cr(VI) reduction in continuous-flow activated sludge systems*" *Chemosphere* 57:1069-1077
- Vieira M., Brito A. G., Nogueira R. (2008), "*Nitrogen removal in a sequencing batch biofilm reactor: effect of carbon availability and intermittent aeration*". *Int. Journal of Environment and Waste Management* (in press).
- Weber S.D., Ludwig W., Schleifel K.H., Iried J.(2007), "*Microbial composition and structure of aerobic granular sewage biofilms*". *Applied and Environmental microbiology*, **73**, 6233 – 6240

Ελληνικές

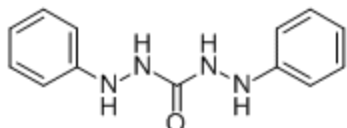
- ΕΠΕΜ Α.Ε. (2006) (Εταιρεία Περιβαλλοντικών Μελετών Α.Ε.), "Οδηγός εσωτερικού ελέγχου, λειτουργίας και συντήρησης μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων", pp 29-41, ΕΠΠΕΡ, Θεσσαλονίκη
- Σαμαράς Π.,(2004), "Σημειώσεις στην προστασία περιβάλλοντος για αξιοποίησης υποπροϊόντων", pp 5-10, ΑΤΕΙΘ, Θεσσαλονίκη
- Τσώνης Σ.Π., (2004), "Επεξεργασία Λυμάτων", pp 190-195, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Από διαδίκτυο

- el.wikipedia.org/wiki/χρώμιο
- www.chem.uoa.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Παρασκευή διαλύματος Diphenylcarbazine



[1,5-Diphenylcarbazine](#)

Ζυγίσαμε 0,250g από έτοιμο αντιδραστήριο 1,5 – Diphenylcarbazine και τα διαλύσαμε σε 50mL Aceton (ακετόνη).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Στον πίνακα 8 φαίνονται οι τιμές των αιωρούμενων στερεών κατά το στάδιο της απόρριψης (SS – Suspended Solids), αλλά και κατά το στάδιο του αερισμού (MLSS – Mixed Liquor Suspended Solids) που μετρήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία στις διαφορετικές συγκεντρώσεις χρωμίου.

Πίνακας 8. Τιμές αιωρούμενων στερεών από τους αντιδραστήρες διαλείπουσας λειτουργίας SBR και SBBR.

Συγκέντρωση χρωμίου (mg/L)	Ημέρες λειτουργίας	Στερεά απόρριψης (SS) SBR	Στερεά απόρριψης (SS) SBBR	Στερεά αερισμού (MLSS) SBR	Στερεά αερισμού (MLSS) SBBR
50	40	249	354	975	1190
50	45	264	306	1860	2850
50	47	243	287	2020	3310
50	52	198	154	2540	3570
50	53	86	76	2585	3970
50	60	82	46	3056	4120
50	61	79	46	3410	4540
50	66	54	44	3685	5010
50	67	36	28	4200	5350
50	69	16	18	4515	5460
50	73	22	23	4965	5905
50	86	16	26	5400	6895

100	87	14	24	5335	6710
100	89	58	34	5685	6340
100	93	35	38	5600	6250
100	101	32	40	5680	6310
100	102	50	37	5380	6100
100	107	70	50	5660	6430
100	108	65	50	5600	6480
100	119	31	43	5400	6160
100	121	26	42	5955	6330
100	123	28	32	6125	6555
100	128	27	32	6150	6800
100	129	30	36	6190	6810
100	130	31	37	6235	6815
100	135	27	32	6350	6970
100	136	27	31	6340	7005
100	138	28	32	6345	7110
100	140	25	30	6550	7365
200	142	22	30	6600	7430
200	147	26	34	6655	7155
200	148	58	54	6450	7310
200	155	64	68	6330	7480
200	157	60	54	6260	7320
200	162	52	48	6500	7590
200	168	20	32	6800	7780
200	198	18	27	6935	7885
200	199	18	25	6950	7990

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Θέλοντας να κάνουμε μια αραίωση μεταξύ των 2,5mg/L και 1,25mg/L, επιλέξαμε την συγκέντρωση 1,75mg/L. Για να υπολογίσουμε τα mL που θα χρησιμοποιούσαμε από το αρχικό διάλυμα του χρωμίου, εφαρμόσαμε τον νόμο της αραίωσης:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$2,5 * V_1 = 1,75 * 20$$

$$V_1 = 14\text{mL}$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

Στον πίνακα 9 αναγράφονται οι τιμές του εξερχόμενου χρωμίου που υπολογίστηκαν από την πρότυπη καμπύλη αναφοράς.

Πίνακας 9. Τιμές εξερχόμενου χρωμίου

<i>Συγκέντρωση χρωμίου (mg/L)</i>	<i>Εξερχόμενο χρώμιο (SBR)</i>	<i>Εξερχόμενο χρώμιο (SBBR)</i>
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
50	-	-
100	0,488	0,394
100	0,338	0,441
100	0,201	0,231
100	1,229	1,323
100	1,194	1,175
100	1,074	0,860
100	1,187	0,599
100	1,205	0,634
100	1,422	0,676
100	1,303	0,794
100	1,028	0,612
100	0,825	0,548
100	0,810	0,505
100	0,792	0,482
100	0,787	0,335
100	0,753	0,455
100	0,691	0,432
200	0,685	0,478
200	0,698	0,420
200	0,354	0,265
200	0,136	0,263

200	0,104	0,152
200	0,064	0,073
200	0,328	0,877
200	0,037	0,074
200	0,041	0,062