



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

Βελτιστοποίηση Επεξεργασίας Πρωτοβάθμιων Εκροών
Αστικών Λυμάτων Με Κροκίδωση



ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΑΝΟΥΣΑΚΗ

Χανιά, Οκτώβριος 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω καταρχάς τον επιβλέπον καθηγητή μου Πέτρο Γκίκα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου αυτό το θέμα και για τον χρόνο που αφιέρωσε για την επίβλεψη και διεκπεραίωση αυτής της εργασίας. Με την πολύτιμη βοήθεια του και τις συμβουλές του αντιμετώπισα τις δυσκολίες που αντιμετώπισα τόσο στην εργαστηριακή μελέτη όσο και στη συγγραφή της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον κ. Μάρακα Χαρίδημο και την κ. Αντέλλη Καλλιόπη, που με την συνεργασία τους με βοήθησαν στην συλλογή δεδομένων και στην εκπόνηση των εργαστηριακών πειραμάτων.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Γκίνο Ανδρέα από την εταιρία Chemaflo, για την ευγενή χορήγηση των διαφόρων κροκιδωτικών και συσσωματωτικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές για την επιλογή των κατάλληλων μιγμάτων και για τον σχεδιασμό των πειραμάτων. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω στις αδερφές μου, Ευθυμία και Μαρία Πανουσάκη για την συνεχή βοήθεια, στήριξη και εμπύχωση που μου έδωσαν. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου που ήταν δίπλα μου και με στήριζαν καθημερινά.

Μετά τιμής,

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι διεξαγωγή πειραμάτων σε δείγματα λυμάτων από την υπερχείλιση της πρωτοβάθμιας καθίζησης βιολογικού καθαρισμού για την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού ποσοτήτων και κροκιδωτικών για την κροκίδωση τους. Τα δείγματα αναφέρονται στο βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων.

Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε μία σειρά πειραματικών μετρήσεων με αστικά λύματα από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού Χανίων. Τα λύματα λήφθηκαν από την υπερχείλιση της δεξαμενής της πρωτοβάθμιας καθίζησης της εγκατάστασης επεξεργασίας των λυμάτων Χανίων.

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων κροκίδωσης ελέγχθηκε η συνδυασμένη χρήση οργανικού (FO4190) και ανόργανου ηλεκτρολύτη (PAC). Από τη συνδυασμένη χρήση των κροκιδωτικών, προέκυψαν διαλύματα που στην πλειοψηφία τους είχαν απαλλαγεί κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό τόσο από το οργανικό φορτίο, όσο και από τα ολικά αιωρούμενα στερεά που υπήρχαν στο ακατέργαστο απόβλητο.

Σε γενικές γραμμές, η κροκίδωση επιφέρει θεαματικά αποτελέσματα στην απομάκρυνση των στερεών και στο διαχωρισμό των δύο φάσεων. Όσον αφορά το COD, αυτό μειώνεται μεν, αλλά συνήθως όχι σε ποσοστό που να ξεπερνάει το 40 %. Το pH γενικά μειώνεται με την προσθήκη των ανόργανων και μένει πρακτικά αμετάβλητο με την προσθήκη των πολυμερών. Η θολρότητα μειώνεται αρκετά στα περισσότερα πειράματα.

Τέλος, έγινε μία προσπάθεια επιλογής της κατάλληλης ποσότητας κροκιδωτικών για την εύρεση του βέλτιστου κροκιδωτικού και της βέλτιστης δόσης του καθώς επίσης μια κοστολόγηση για την χρήση των κροκιδωτικών για τον όγκο των λυμάτων που μπορεί να επεξεργασθούν στον βιολογικό καθαρισμό των Χανίων. Ο συνδυασμός που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα και προτείνεται για χρήση του σε επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι το μίγμα 0,3 mL PAC – 0,1 mL FO4190 VHM με κόστος 0,24 euro/m³ αποβλήτου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|---|------------|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... | i |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | ii |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ | iii |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ..... | v |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ | vi |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ..... | ix |
| Κεφάλαιο 1^ο | 1 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| 1.1 Επεξεργασία και διαχείριση υγρών αποβλήτων | 3 |
| 1.2 Κατηγορίες υγρών αποβλήτων | 5 |
| 1.3 Παράμετροι και χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων..... | 6 |
| 1.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά | 7 |
| 1.3.1.1 Θερμοκρασία | 7 |
| 1.3.1.2 Οσμή..... | 9 |
| 1.3.1.3 Χρώμα | 10 |
| 1.3.1.4 Πυκνότητα..... | 11 |
| 1.3.1.5 Ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά..... | 11 |
| 1.3.2 Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων..... | 13 |
| 1.3.2.1 Οργανικά υλικά | 14 |
| 1.3.2.2 Θρεπτικά συστατικά (N και P)..... | 16 |
| 1.3.2.3 Λίπη και Έλαια..... | 19 |
| 1.3.2.4 Βαρέα μέταλλα | 20 |
| 1.3.2.5 Απαίτηση σε οξυγόνο υγρών αποβλήτων..... | 22 |
| 1.3.2.6 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD..... | 23 |
| 1.3.2.7 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο..... | 23 |
| 1.3.2.8 Ολικός Οργανικός Άνθρακας | 24 |
| 1.3.2.9 Λόγος BOD/COD | 24 |
| 1.3.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά..... | 25 |
| 1.4 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων | 26 |
| 1.4.1 Αερόβια βιολογική επεξεργασία | 27 |
| 1.4.1.1 Επεξεργασία με ενεργό ιλύ..... | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 1.4.1.2 Αεριζόμενες λίμνες..... | 29 |
| 1.4.1.3 Βιολογικά φίλτρα | 29 |
| 1.4.1.4 Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι..... | 30 |
| 1.4.2 Αναερόβια βιολογική επεξεργασία | 31 |
| 1.4.3 Σύγκριση αερόβιας με αναερόβια βιολογική επεξεργασία..... | 32 |
| 1.5 Κροκίδωση - Συσσωμάτωση – Χημική κατακρήμνιση | 33 |
| 1.6 Σκοπός της εργασίας | 39 |
| Κεφάλαιο 2ο | 41 |
| 2 Εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων..... | 41 |
| 2.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Πόλεως Χανίων..... | 41 |
| Κεφάλαιο 3ο | 51 |
| 3 Πειραματική διαδικασία - Αρχές μεθόδων - Όργανα..... | 51 |
| 3.1 Γενικά | 51 |
| 3.2 Αντιδραστήρια..... | 52 |
| 3.2 Κροκιδωτικά..... | 52 |
| 3.3 Υλικά και Μέθοδοι..... | 54 |
| 3.4 Μέτρηση pH – Ειδικής Αγωγιμότητας | 54 |
| 3.5 Μέτρηση COD* | 55 |
| 3.6 Μέτρηση TSS..... | 57 |
| 3.7 Μέτρηση BOD | 57 |
| Κεφάλαιο 4ο | 59 |
| 4 Πειραματική διαδικασία..... | 59 |
| 4.1 Προκατεργασία δειγμάτων | 59 |
| 4.2 Αποτελέσματα και συζήτηση..... | 61 |
| 4.2.1 Πρώτη σειρά μετρήσεων | 61 |
| 4.2.2 Δεύτερη σειρά πειραμάτων - Προσδιορισμός βέλτιστης τιμής κροκιδωτικών | 66 |
| 4.2.3. Κοστολόγηση | 88 |
| Κεφάλαιο 5ο | 92 |
| 5 Συμπεράσματα - Προτάσεις..... | 92 |
| Βιβλιογραφία..... | 94 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1. Σύγκριση της λειτουργίας βιολογικού φίλτρου με και συστήματος ενεργού ιλύος | 30 |
| Πίνακας 2. Σύγκριση της εφαρμογής αναερόβιας σε σχέση με την εφαρμογή αερόβιας επεξεργασίας | 33 |
| Πίνακας 3. Πρώτη σειρά μετρήσεων παραμέτρων δείγματος αστικών λυμάτων από το βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων | 60 |
| Πίνακας 4. Αποτελέσματα μετρήσεων διαφόρων παραμέτρων κατά την προσθήκη ποσοτήτων διαφόρων συνδυασμών κροκιδωτικών..... | 64 |
| Πίνακας 5. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC και τιμές θολερότητας (NTU)..... | 66 |
| Πίνακας 6. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με FL4440 και τιμές θολερότητας (NTU)..... | 70 |
| Πίνακας 7. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με FO4190 VHM και τιμές θολερότητας (NTU)..... | 73 |
| Πίνακας 8. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με FO4650 VHM και τιμές θολερότητας (NTU)..... | 76 |
| Πίνακας 9. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με AN934 SH και τιμές θολερότητας (NTU)..... | 79 |
| Πίνακας 10. Πειραματικά αποτελέσματα προσθήκης διαφόρων ποσοτήτων κροκιδωτικού PAC..... | 86 |
| Πίνακας 11. Πειραματικά αποτελέσματα προσθήκης διαφόρων ποσοτήτων κροκιδωτικού FO4190..... | 84 |
| Πίνακας 12. Πειραματικά αποτελέσματα προσθήκης με 0,4 mL PAC και 0,1 mL FL4440 και διαφόρων ποσοτήτων κροκιδωτικού FO4190..... | 86 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1. Κατανομή νερού στον πλανήτη Γη. | 1 |
| Σχήμα 2. Μηνιαίες διακυμάνσεις μέσης θερμοκρασίας αποβλήτων. | 7 |
| Σχήμα 3. Αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωματιδίων που βασίζονται στην άπωση λόγω του επιφανειακού φορτίου των σωματιδίων και στις ελκτικές δυνάμεις Van der Waals | 8 |
| Σχήμα 4. Τάξη μεγεθών των συστατικών στα υγρά απόβλητα | 13 |
| Σχήμα 2.1.1. Αντλιοστάσια εισόδου εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 42 |
| Σχήμα 2.1.2. Εγκαταστάσεις υποδοχής βορθολυμάτων βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 42 |
| Σχήμα 2.1.3. Διατάξεις εσχάρωσης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 43 |
| Σχήμα 2.1.4. Διατάξεις εξάμμωσης και λιποσυλλεκτών βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 44 |
| Σχήμα 2.1.5. Εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων | 44 |
| Σχήμα 2.1.6. Εγκαταστάσεις δεξαμενών επιλογής του βιολογικού καθαρισμού της πόλης των Χανίων. | 45 |
| Σχήμα 2.1.7. Δεξαμενές αερισμού βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 46 |
| Σχήμα 2.1.8. Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 46 |
| Σχήμα 2.1.9. Δεξαμενές χλωρίωσης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 47 |
| Σχήμα 2.1.10. Διάταξη μηχανικής πάχυνσης της λάσπης στο βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων. | 48 |
| Σχήμα 2.1.11. Εγκαταστάσεις προπάχυνσης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 48 |
| Σχήμα 2.1.12. Αναέριοι χωνευτές βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων. | 49 |
| Σχήμα 2.1.13. Σχεδιαγραμματική αναπαράσταση ροής ΕΕΛ Χανίων. | 50 |
| Σχήμα 4.2.2.1. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC, pH 7,7. | 67 |
| Σχήμα 4.2.2.2. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 1,0 mL PAC, pH 7,7. | 68 |

| | |
|---|----|
| Σχήμα 4.2.2.3. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 1,5 mL PAC, pH 8,0. | 69 |
| Σχήμα 4.2.2.4. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 2,0 mL PAC. | 69 |
| Σχήμα 4.2.2.5. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 3,0 mL PAC. | 70 |
| Σχήμα 4.2.2.6. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,5 mL FL4440. | 71 |
| Σχήμα 4.2.2.7. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 1,0 mL FL4440. | 71 |
| Σχήμα 4.2.2.8. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 1,5 mL FL4440. | 72 |
| Σχήμα 4.2.2.9. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 2,0 mL FL4440. | 72 |
| Σχήμα 4.2.2.10. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 3,0 mL FL4440. | 73 |
| Σχήμα 4.2.2.11. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,1 mL FO4190 VHM. | 74 |
| Σχήμα 4.2.2.12. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,2 mL FO4190 VHM. | 74 |
| Σχήμα 4.2.2.13. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,3 mL FO4190 VHM. | 75 |
| Σχήμα 4.2.2.14. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,4 mL FO4190 VHM. | 75 |
| Σχήμα 4.2.2.15. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,5 mL FO4190 VHM. | 76 |
| Σχήμα 4.2.2.16. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,1 mL FO4650 VHM. | 77 |
| Σχήμα 4.2.2.17. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,2 mL FO4650 VHM. | 77 |

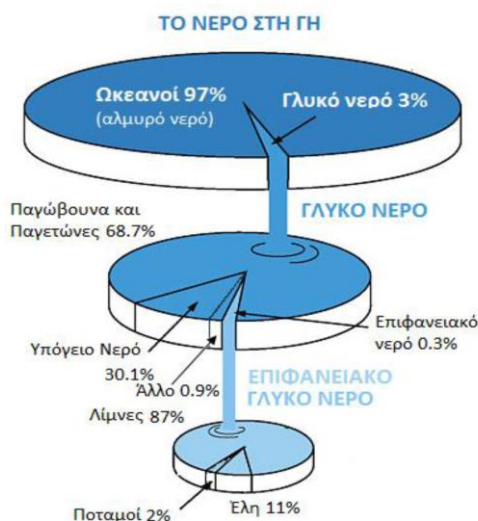
| | |
|--|----|
| Σχήμα 4.2.2.18. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,3 mL FO4650 VHM..... | 78 |
| Σχήμα 4.2.2.19. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,4 mL FO4650 VHM..... | 78 |
| Σχήμα 4.2.2.20. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,5 mL FO4650 VHM..... | 79 |
| Σχήμα 4.2.2.21. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,1 mL AN934 SH. | 80 |
| Σχήμα 4.2.2.22. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,2 mL AN934 SH. | 80 |
| Σχήμα 4.2.2.23. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,3 mL AN934 SH. | 81 |
| Σχήμα 4.2.2.24. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC και 0,4 mL AN934 SH. | 81 |
| Σχήμα 4.2.2.25. Καμπύλες καθίζησης δείγματος λυμάτων για διαφορετικές συγκεντρώσεις κροκιδωτικού PAC. | 82 |
| Σχήμα 4.2.2.26. Καμπύλες καθίζησης δείγματος λυμάτων για 0,4 mL PAC και διαφορετικές συγκεντρώσεις κροκιδωτικού FO4190..... | 84 |
| Σχήμα 4.2.2.27. Καμπύλες καθίζησης δείγματος λυμάτων για τις βέλτιστες τιμές κροκιδωτικών..... | 85 |
| Σχήμα 4.2.2.28. Καμπύλες καθίζησης δείγματος λυμάτων για τις βέλτιστες τιμές κροκιδωτικών | 86 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 4.1.1. Απεικόνιση εργαστηριακών δειγμάτων στον αναδευτήρα..... | 59 |
| Εικόνα 4.2.1. Απεικόνιση αρχικών μετρήσεων παραμέτρων δείγματος αστικών λυμάτων από το βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων..... | 61 |
| Εικόνα 4.2.2. Απεικόνιση των διαφόρων μετρήσεων κατά την προσθήκη ποσοτήτων διαφόρων συνδυασμών κροκιδωτικών καθώς καθιζάνουν..... | 63 |
| Εικόνα 4.2.3. Απεικόνιση των διαφόρων μετρήσεων κατά την προσθήκη ποσοτήτων διαφόρων συνδυασμών κροκιδωτικών καθώς καθιζάνουν από άλλη όψη..... | 64 |
| Εικόνα 4.2.2.1. Κοντινή απεικόνιση της επίδρασης του κροκιδωτικού στα αστικά λύματα | 83 |
| Εικόνα 4.2.2.2. Κοντινή απεικόνιση της επίδρασης του κροκιδωτικού στα αστικά λύματα | 85 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί βασικό ζωτικό στοιχείο για την επιβίωση του ανθρώπου καθώς και για τη διατήρηση και συντήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Παρά το γεγονός ότι η συνολική ποσότητα του στον πλανήτη είναι σταθερή, η ποιότητα των υδατικών πόρων υποβαθμίζεται με αποτέλεσμα όλο και λιγότερο νερό να είναι πλέον διαθέσιμο για πόση. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται μια λεπτομερή περιγραφή της κατανομής του νερού της γης, όπου παρατηρούμε ότι από τα 1.386.000.000 κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη γη, περίπου τα 1.338.000.000 κυβικά χιλιόμετρα (το 97% , δηλαδή) είναι αποθηκευμένα στους ωκεανούς και μόνο το 3% του νερού που υπάρχει στη γη είναι καθαρό - γλυκό νερό. Το 68.7% αυτού του νερού είναι δεσμευμένο σε παγετώνες και παγόβουνα και το 30.1% βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Από το υπόλοιπο 1%, το 0.3% είναι επιφανειακό νερό (Bouwer 1994, Bouwer 2000). Οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών είναι τα ποτάμια, οι λίμνες και το νερό των υπογείων υδροφορέων σε μικρά και μεσαία βάθη (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος 1999).



Σχήμα 1. Κατανομή νερού στον πλανήτη Γη.

Το νερό είναι κατά βάση ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος. Η αυξανόμενη αστικοποίηση οδηγεί σε επιπλέον διαρθρωτικές ανισορροπίες μεταξύ της ανάγκης για το νερό και τους διαθέσιμους πόρους, με αποτέλεσμα την επίταση του προβλήματος της λειψυδρίας. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να μειωθεί με τη μεταφορά νερού. Η λύση αυτή όμως είναι αρκετά ακριβή, μη βιώσιμη, και οικολογικά μη ορθή, γι αυτό και πρέπει κατ' αρχήν να δοθεί έμφαση στην καλύτερη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων σε τοπικό επίπεδο. Αρχικά, πρέπει να γίνει καταπολέμηση της σπατάλης. Ωστόσο, η καταπολέμηση της σπατάλης δεν είναι πάντα επαρκής ώστε να διορθωθεί η ανισορροπία μεταξύ της ζήτησης και των διαθέσιμων πόρων. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να γίνει καλύτερη διαχείριση των διαθέσιμων υδατικών πόρων (P. Gikas and G. Tchobanoglous, 2009). Αυτό μπορεί να γίνει με:

- Αξιοποίηση των βροχοπτώσεων (φράγματα, λιμνοδεξαμενές). Αποδοτική μέθοδος με μεγάλο κόστος.
- Αφαλάτωση του νερού. Είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία όμως καταναλώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας
- Επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων. Είναι η διαδικασία που διαχωρίζει τις επικίνδυνες ουσίες από το νερό στα λύματα, ώστε το νερό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο περιβάλλον.

Η πρακτική επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης νερών που προκύπτουν από την επεξεργασία των λυμάτων είναι σχετικά πρόσφατη στη χώρα μας. Είναι όμως πραγματικότητα σε πολλές χώρες όπως ΗΠΑ, Αυστραλία, Γαλλία, Ισραήλ, Τυνησία, Γερμανία, Μαρόκο κλπ., οι οποίες αξιοποιούν νερά από βιολογικούς καθαρισμούς είτε για αστικές, είτε για γεωργικές χρήσεις (A.N. Angelakis and P. Gikas, 2014).

Τον τελευταίο αιώνα η ανθρωπότητα έρχεται αντιμέτωπη με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκλήθηκαν από την βίαιη επέμβασή της στο φυσικό περιβάλλον. Η αλλαγή του κλίματος από την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, η μείωση της βιοποικιλότητας αλλά και η συνεχής επιβάρυνση του εδάφους, του νερού και του αέρα με ρυπαντές δύσκολα αφομοιώσιμους από το περιβάλλον, είναι μερικά μόνο από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προέκυψαν εξαιτίας της ελλιπούς πρόληψης της ρύπανσης. Κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα συνοδεύεται από την παραγωγή αποβλήτων,

η έκθεση σε πολλά από τα οποία μπορεί να είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η επεξεργασία τους πριν από τη διάθεσή τους σε κάποιο αποδέκτη (αέρας, έδαφος, νερό) (Μήτρακας 2001).

Τα παραγόμενα απόβλητα είναι ως προς την φύση τους αέρια, υγρά ή στερεά. Υγρά απόβλητα είναι ύδατα, τα οποία προκύπτουν είτε από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως τουαλέτα και απόνερα οικιακής χρήσης, είτε από βιομηχανικές ή αγροτοκτηνοτροφικές δραστηριότητες. Η ποιοτική και ποσοτική σύσταση των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από την πηγή προέλευσής τους.

Για την διασφάλιση της ποιότητας του περιβάλλοντος, απαιτείται η επεξεργασία των λυμάτων, πριν αυτά απορριφθούν στο περιβάλλον. Κύριος στόχος της επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των μη επιθυμητών σωματιδίων, βαρέων μετάλλων, οργανικών και θρεπτικών ουσιών. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των λυμάτων επιλέγονται ανάλογα με την προέλευση και τον όγκο των λυμάτων. Πάντα όμως η επεξεργασία των αποβλήτων διέπεται από οδηγίες και κανονισμούς που έχουν στόχο την εξασφάλιση της ποιότητάς τους, ώστε να μην δημιουργεί η απόρριψή τους πρόβλημα στο περιβάλλον.

1.1 Επεξεργασία και διαχείριση υγρών αποβλήτων

Ο σύγχρονος άνθρωπος έρχεται καθημερινά αντιμέτωπος με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκλήθηκαν από την επέμβασή του στο φυσικό περιβάλλον. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, σαν συνέπεια της αλλαγής του κλίματος, η όξινη βροχή, η ρύπανση του εδάφους και του νερού (υπόγειου και επιφανειακού) είναι μερικά από τα προβλήματα που προέκυψαν λόγω της κακοδιαχείρισης του περιβάλλοντος.

Για την διαχείριση των υγρών αποβλήτων αρχικά (i) Καταγράφονται οι πηγές ρύπανσης από απόβλητα που προέρχονται από δραστηριότητες του αστικού, του πρωτογενούς, δευτερογενούς και τριτογενούς τομέα (π.χ. πληθυσμός, ζωοπαραγωγικές μονάδες, βιομηχανικές, ξενοδοχεία κ.λ.π.), και η δυναμικότητά τους. (ii) Υπολογίζονται τα ρυπαντικά φορτία κάθε πηγής και ανάγονται σε Ισοδύναμους Κατοίκους ΙΚ. (iii) Καταγράφεται η υφιστάμενη κατάσταση του Δικτύου Αποχέτευσης (ΔΑ) η ύπαρξη ή όχι

Μονάδα Εγκατάστασης Λυμάτων ΜΕΛ και οι αποδέκτες των υγρών αποβλήτων. (iv) Εντοπίζονται οι οικισμοί στους οποίους απαιτείται η κατασκευή ΜΕΛ. (v) Συλλέγονται πληροφορίες για το φυσικό περιβάλλον. (vi) Συλλέγονται πληροφορίες για τις χρήσεις γης σε κάθε Δήμο που χρήζει κατασκευή ΜΕΛ και αναγνωρίζονται οι χέρσες εκτάσεις, τα έλη ή βοσκοτόπια όπου δύνανται να κατασκευαστούν οι μονάδες. Για κάθε κατηγορία χρήση γης, προσδιορίζεται η έκταση και στις καλλιεργούμενες το είδος καλλιέργειας. (vii) Σε κάθε περίπτωση συλλέγονται στοιχεία για την πλήρη περιγραφή του είδους εδάφους, με σκοπό την επιλογή των κατάλληλων συστημάτων επεξεργασίας. (viii) Με βάση το φορτίο, την διαθέσιμη έκταση και το είδος του εδάφους επιλέγονται τα κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας.

Αφού προταθούν τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης (συστημάτων επεξεργασίας αποκεντρωμένα ή μη), ακολουθεί η επιλογή της βέλτιστης δυνατής τοποθεσίας της εγκατάστασης των νέων ΜΕΛ στηριζόμενοι σε διάφορα κριτήρια όπως: Χρήση γης (καλλιέργειες, αμπελώνες, βοσκοτόποι, χέρσα τμήματα, έλη, δάση, εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά), χαρακτήρας περιοχής (τουριστική, αγροτική, αρχαιολογικός χώρος, περιοχές που υπόκεινται σε περιορισμούς λόγω συμβάσεων), μορφολογία εδάφους - τοπογραφικό ανάγλυφο (χαρακτηρισμός περιοχών ως προς το υψόμετρο, υψομετρική διαφορά εδάφους μεταξύ των οικισμών, κλίσεις εδάφους), χαρακτηριστικά εδάφους (είδος εδάφους, διαπερατότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, βάθος υδροφόρου ορίζοντα, προβλήματα υφαλμύρινσης), ύπαρξη φυσικού αποδέκτη, απόσταση των οικισμών, διαθεσιμότητα απαιτούμενης επιφάνειας, Κόστος συνδετήριων αγωγών και άντλησης. Και σε τελική φάση μετά τον υπολογισμό του κόστους κάθε εναλλακτικού σεναρίου γίνεται η επιλογή της πλέον ενδεδειγμένης μεθόδου επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, χρησιμοποιώντας ως εργαλείο επίλυσης του προβλήματος την πολυκριτηριακή ανάλυση με μέθοδο την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (ΑΗΡ) ή τη Fuzzy Ανάλυση (Κοκκινός 2000; Μανιός 2007).

1.2 Κατηγορίες υγρών αποβλήτων

Ανάλογα τη χρήση από όπου προήλθαν, ταξινομούμε τα υγρά απόβλητα στις παρακάτω κατηγορίες (Μανιός 2007):

- Οικιακά υγρά απόβλητα, είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας και αποτελούνται κυρίως από τα προϊόντα μεταβολισμού του ανθρώπου (περιττώματα) και από τα απορρίμματα τροφής και καθαριότητας. Υπολογίζεται ότι ανά άτομο κάθε ημέρα δημιουργούνται αστικά λύματα με BOD (60g/d). Σύσταση των αστικών λυμάτων χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη ποικιλία υδατοδιαλυτών και μη συστατικών (λιπαρών ουσιών κτλ) που δημιουργούν συστήματα διασποράς ποικίλης σύστασης με αντίστοιχη ποικιλία στη βιοαποικοδομησιμότητά τους.
- Βιομηχανικά υγρά απόβλητα, είναι αποτέλεσμα της ευρείας χρήσης του νερού στη βιομηχανία για την επεξεργασία πρώτων υλών και στα συστήματα ψύξης-θέρμανσης. Τα βιομηχανικά απόβλητα εμπεριέχουν υλικά της βιομηχανικής παραγωγής, τα οποία ποικίλουν ανάλογα με το είδος της βιομηχανίας και των παραγόμενων προϊόντων και τις διεργασίες παραγωγής. Λόγω της μεγάλης αυτής ποικιλίας των βιομηχανικών αποβλήτων σε σύσταση και θερμοκρασία (νερά ψύξης-ατμοί) για κάθε βιομηχανική μονάδα απαιτείται εξειδικευμένος σχεδιασμός των μεθόδων και εγκαταστάσεων κατεργασίας τους, λύσεις που πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τον όγκο και τον ρυθμό παραγωγής των λυμάτων, τις τιμές BOD και COD, το ποσό των στερεών υπολειμμάτων, την παρουσία ή μη τοξικών συστατικών κτλ.
- Γεωργοκτηνοτροφικά υγρά απόβλητα, απόβλητα που παράγονται από κάθε γεωργική δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα οι εντατικές κτηνοτροφικές μονάδες. Σε αντίθεση με τα αστικά, τα γεωργοκτηνοτροφικά υγρά απόβλητα δεν έχουν επικίνδυνο μικροβιακό φορτίο για τον άνθρωπο, ενώ μικρή είναι και η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα. Έτσι, αρκεί μια προ-επεξεργασία τους, ώστε να διαχωριστεί το στερεό μέρος τους που μπορεί να δώσει υψηλής ποιότητας compost, ενώ το υγρό απόβλητο, αν χρησιμοποιηθεί σωστά, είναι άριστο εδαφοβελτιωτικό και καλό λίπασμα. Η χρήση του μάλιστα για άρδευση, είναι

δυνατό να περιορίσει σημαντικά την κατανάλωση φρέσκων νερών ιδιαίτερα στη γεωργία που είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού παγκοσμίως.

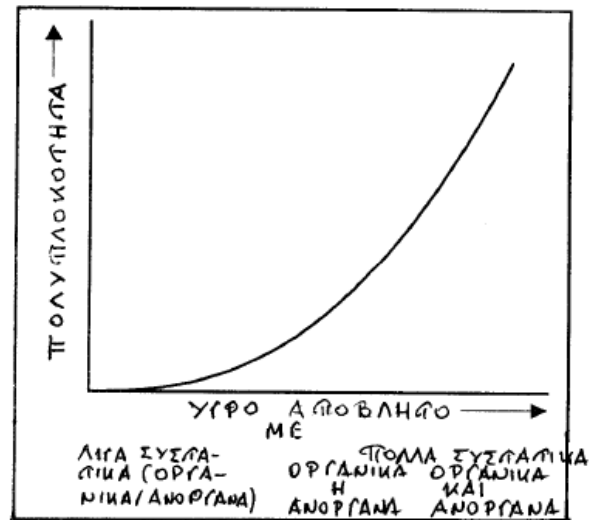
1.3 Παράμετροι και χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα μπορούν να χαρακτηριστούν με βάση την φυσική, χημική και βιολογική τους σύσταση.

Πρέπει να πούμε πως πολλές από τις επιμέρους παραμέτρους των τριών αυτών χαρακτηριστικών αλληλεπιδρούν, π.χ. η θερμοκρασία, μια φυσική παράμετρος επηρεάζει και την βιολογική δραστηριότητα αλλά και την περιεκτικότητα διαλελυμένων αερίων στα απόβλητα. Όσον αφορά τα οργανικά συστατικά, τα οποία μετρώνται υπό μορφή αθροιστικών παραμέτρων (TOC, COD, BOD₅), διακρίνονται σε βιολογικά εύκολα αποικοδομήσιμα μέχρι και βιολογικά προβληματικά ή ακόμα και μη – βιοαποικοδομήσιμα. Κατά τον προσδιορισμό οργανικών συστατικών χρησιμοποιούμε τις αναφερθέντες αθροιστικές παραμέτρους, γιατί η πληθώρα των επιμέρους συστατικών (χημικών ενώσεων) ή δεν επιτρέπει μια ανάλυση σε επίπεδο χημικών ενώσεων ή τέτοιου είδους αναλύσεις θα ήταν χρονοβόρες και θα είχαν υψηλό κόστος.

Τα ανόργανα συστατικά περιλαμβάνουν οξέα και βάσεις, άλατα, κυανιούχα, βαρέα μέταλλα, αζωτούχες και φωσφορικές ενώσεις. Γενικά όσο πιο σύνθετη είναι η σύσταση ενός υγρού αποβλήτου, τόσο πιο πολύπλοκη και η επεξεργασία του. Συνεπώς σε απόβλητα με λίγα επί μέρους συστατικά φθάνουμε με απλές επεξεργασίες στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Όμως σε περιπτώσεις αποβλήτων όπου τα ανόργανα συστατικά είναι δεσμευμένα με οργανικές ενώσεις και υπάρχουν πληθώρα οργανικά μόρια μεγάλου μοριακού βάρους αυξάνεται αντιστοίχως ο αριθμός των απαραίτητων διεργασιών και ως εκ τούτου και το κόστος επεξεργασίας (Τοσουνίδης 2005). Σύμφωνα πάντως με τον Α. Αϊβαζίδη, η συσχέτιση αυτή δεν είναι γραμμική, παρά ακολουθεί τη καμπύλη του Σχήματος 2. Το σχήμα 2 βέβαια είναι ποιοτικής και όχι ποσοτικής αναφοράς, συνάδει όμως με την κοινή εμπειρία ότι ένα απόβλητο με λίγα συστατικά μπορούμε να το επεξεργαστούμε ευκολότερα από ότι ένα άλλο με πολλά, τουλάχιστον λόγω

αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ρύπων και αυξημένης πιθανότητας να υπάρχουν τοξικά συστατικά σε αυτό (Αϊβαζίδης 2000).



Σχήμα 1.3.1. Πολυπλοκότητα μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ως συνάρτηση των συστατικών του (Πηγή: (Αϊβαζίδης 2000))

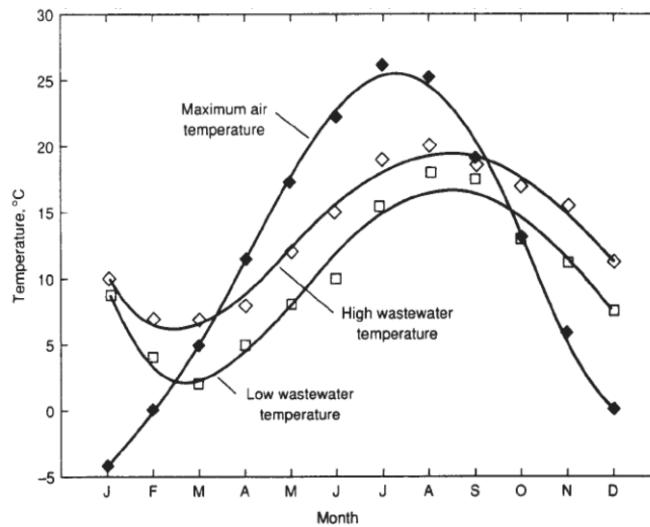
1.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν την ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά, την οσμή, τη θερμοκρασία, την πυκνότητα, το χρώμα και τη θολερότητα.

1.3.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία ανάλογα με την γεωγραφική θέση και μόνο κατά μέσο όρο κυμαίνεται στους 10-21 °C. Είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του νερού ύδρευσης επειδή ένα μέρος του νερού θερμαίνεται κατά τις διάφορες οικιακές ή βιομηχανικές δραστηριότητες. Η θερμοκρασία επιδρά σημαντικά στις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις, στην υδρόβια ζωή και στην καταλληλότητα του νερού για διάφορες χρήσεις γι' αυτό και ο προσδιορισμός της στα υγρά απόβλητα είναι σημαντικός. Αυξημένη θερμοκρασία μπορεί

να οδηγήσει σε σημαντική μείωση του διαλυμένου οξυγόνου, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, επηρεάζοντας τους οργανισμούς που ζουν στους υδατικούς αποδέκτες. Αυτή η ιδιαιτερότητα θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα πολύ σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό της μονάδας επεξεργασίας. Σε διαφορετική περίπτωση η μονάδα είναι πολύ πιθανό είτε να οδηγηθεί σε αστοχία, ή να έχουν δαπανηθεί ποσά μεγαλύτερα αυτών που πραγματικά απαιτούντο για τη κατασκευή της. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει διαφορά, έγκειται στο γεγονός ότι τα βακτήρια, που αναλαμβάνουν την βιοαποδόμηση των ρυπαντών στα λύματα, παρουσιάζουν δραστηριότητα που ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες είναι γενικά πιο δραστήρια υποδομώντας ταχύτερα το ρυπαντικό φορτίο. Επίσης ο συμπιεσμένος αέρας που χρησιμοποιείται στον αερισμό μπορεί να μεταβάλλει την μέση θερμοκρασία των λυμάτων.. Η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αποβλήτων στην είσοδο των εγκαταστάσεων επεξεργασίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 1.3.1.1.1. Μηνιαίες διακυμάνσεις μέσης θερμοκρασίας αποβλήτων από τον ΕΕΛ Χανίων.

Η διαλυτότητα του οξυγόνου μειώνεται σε αυξανόμενη θερμοκρασία, η οποία σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη ταχύτητα βιοαντιδράσεων που προκύπτει ακριβώς λόγω των μεγαλύτερων θερμοκρασιών, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή έλλειψη οξυγόνου, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Το άριστο θερμικό πλαίσιο για ανάπτυξη μικροοργανισμών είναι 20 – 35 °C. Στους 10 °C μεθανιογόνοι μικροοργανισμοί γίνονται

αδρανείς και στους 5 °C υποκύπτει η νιτροποιητική ικανότητα των αυτότροφων. Στους 2 °C οι χημειοετερότροφοι οργανισμοί πέφτουν σε λήθαργο (Becker 1994).

1.3.1.2 Οσμή

Οι οσμές στα αστικά απόβλητα προέρχονται συνήθως από εκλυόμενα αέρια κατά την διαδικασία αποσύνθεσης οργανικών ουσιών ή ουσιών που προστίθενται στο απόβλητο. Η πλέον χαρακτηριστική οσμή σηπτικών υγρών αποβλήτων είναι αυτή των «κλούβιων» αυγών που προέρχεται από το υδρόθειο (H_2S), το οποίο παράγεται μέσω θεικοαναγωγικών μικροοργανισμών. Βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν ουσίες που μυρίζουν ή που παράγουν οσμές κατά την διαδικασία επεξεργασίας. Ενώ άλλα χαρακτηριστικά αποβλήτων (με εξαίρεση το χρώμα) διαφεύγουν των αισθήσεων μας, οπότε τα αγνοούμε, η οσμή διεγείρει άμεσα το οργανοληπτικό μας σύστημα. Οι κυριότερες κατηγορίες χημικών ενώσεων που συνδέονται με οσμές είναι: αμίνες, αμμωνία, διαμίνες, υδρόθειο, μερκαπτάνες (σουλφυδρυλωμένες οργανικές ενώσεις), οργανικά σουλφίδια και σκατόλη. Όλες αυτές οι ενώσεις μπορούν να περιέχονται αυτούσιες στα αστικά λύματα ή να παραχθούν κατά την διαδικασία αποδόμησης των δεύτερων.

Οσμή μπορεί να μετρηθεί με οργανοληπτικές μεθόδους, ενώ ορισμένες χημικές ενώσεις οσμηρών ουσιών δύνανται να προσδιοριστούν με ενόργανη ανάλυση. Αποδείχθηκε (Hung et al. 2012) ότι υπό ελεγχόμενες συνθήκες, η οργανοληπτική μέτρηση μέσω ανθρώπινων αισθητήρων παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και χρησιμοποιείται συχνά για την εκτίμηση οσμών από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων. Οι οσμές οφείλονται σε πτητικές οργανικές ενώσεις. Οι ουσίες αυτές μεταφέρονται είτε με ρεύματα αέρος είτε με διάχυση. Σήμερα διατίθενται φορητά όργανα, τα οποία επιτρέπουν την μέτρηση συγκεντρώσεων πτητικών ουσιών μέχρι και 1 ppbv (Hung et al. 2012).

1.3.1.3 Χρώμα

Το καθαρό νερό είναι άχρωμο. Στη φύση πολλές φορές χρωματίζεται από την παρουσία ξένων ουσιών. Το νερό του οποίου το χρώμα οφείλεται μερικώς σε αιωρούμενη ύλη, λέγεται Φαινόμενο Χρώμα (Apparent Colour). Το χρώμα που οφείλεται σε διαλελυμένα στερεά και το οποίο παραμένει μετά την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών είναι γνωστό σαν Πραγματικό Χρώμα (True Colour) (Tomar 1999).

Χρώμα προστίθεται στο νερό μέσω διαφόρων φυσικών και μη οδών: Έτσι στη φύση το νερό μετά την επαφή του με φυσικά οργανικά συστατικά όπως φύλλα, χόρτα ή ξύλα, αποκτά ενώσεις όπως οι ταννίνες ή τα χουμικά οξέα τα οποία του δίνουν μία κίτρινο-καφέ απόχρωση.

Υγρά απόβλητα από κλωστοϋφαντουργεία, βαφεία, βιομηχανίες χαρτιού, τροφίμων, χημικών, μεταλλευτικών μονάδων κλπ μπορούν επίσης να χρωματίσουν το νερό των φυσικών αποδεκτών όπου καταλήγουν. Χρωματισμός του νερού είναι δυνατός και από τη διάλυση αιώρηση οξειδίων των μετάλλων με έντονο χρώμα όπως τα οξείδια του σιδήρου κλπ.

Το χρωματισμένο νερό δε είναι αισθητικά αποδεκτό. Η παρουσία χρώματος στο νερό είναι συνήθως συνδεδεμένη με νερό χαμηλής ποιότητας. Για τους περισσότερους ανθρώπους το διαυγές, άχρωμο νερό με την κατά τα άλλα ίσως χαμηλότερη ποιότητα είναι προτιμητέο, από ίσως υψηλότερης ποιότητας νερό στο οποίο υπάρχει χρώμα. Βαθιά χρωματισμένο νερό είναι ακατάλληλο και για βιομηχανικές χρήσεις. Έτσι, το χρώμα του νερού επηρεάζει την αστική και βιομηχανική χρησιμότητα του.

Αν και υπάρχουν διαθέσιμες μέθοδοι μέτρησης του χρώματος, οι πλέον συνήθεις μέθοδοι μέτρησης βασίζονται στη σύγκριση του χρώματος του δείγματος με πρότυπα χρωματισμένα υλικά. Σωλήνες σύγκρισης του χρώματος που περιέχουν μία σειρά από πρότυπα έγχρωμα διαλύματα, χρησιμοποιούνται για απ' ευθείας σύγκριση με δείγματα του προς εξέταση νερού τα οποία έχουν προηγουμένως διηθηθεί ώστε να απαλλαγούν από το "φαινόμενο" χρώμα.

Τα αποτελέσματα της μέτρησης του χρώματος δειγμάτων “καθαρού” νερού συνήθως εκ φράζονται σε μονάδες πραγματικού χρώματος (True Colour Units - TCUs) Συνήθως

κλίμακα μέτρησης δημιουργείται με το χρώμα που παράγεται διαλύματα που περιέχουν λευκόχρυσο στη μορφή χλωροπλατινικών ιόντων. Για χρώματα διαφορετικά από κίτρινο-καφέ, ιδιαίτερα για χρωματισμένα νερά που προκύπτουν από βιομηχανικές απορροές, χρησιμοποιούνται ειδικές φασματοφωτομετρικές τεχνικές.

Συχνά, χρησιμοποιούνται επίσης όργανα που κάνουν χρήση χρωματιστών δίσκων εναρμονισμένων με τα πρότυπα χρώματα. Βιολογικές και φυσικές μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των δειγμάτων νερού μπορούν να επηρεάσουν το χρώμα του και είναι καλό τα δείγματα να εξετάζονται σύντομα μετά από τη συλλογή τους (Tomar 1999).

1.3.1.4 Πυκνότητα

Η πυκνότητα των αστικών λυμάτων που δεν περιέχουν σημαντικές ποσότητες βιομηχανικών αποβλήτων είναι ίδια με αυτή του νερού στην ίδια θερμοκρασία.

1.3.1.5 Ολική περιεκτικότητα σε στερεά συστατικά

Οι ενώσεις που παραμένουν στο νερό μετά τη διήθηση αποτελούν διαλελυμένη μάζα. Το υλικό αυτό το οποίο μένει σαν στερεό υπόλειμμα μετά την εξάτμιση του νερού, αποτελεί τα Ολικά Διαλελυμένα Στερεά (TDS)

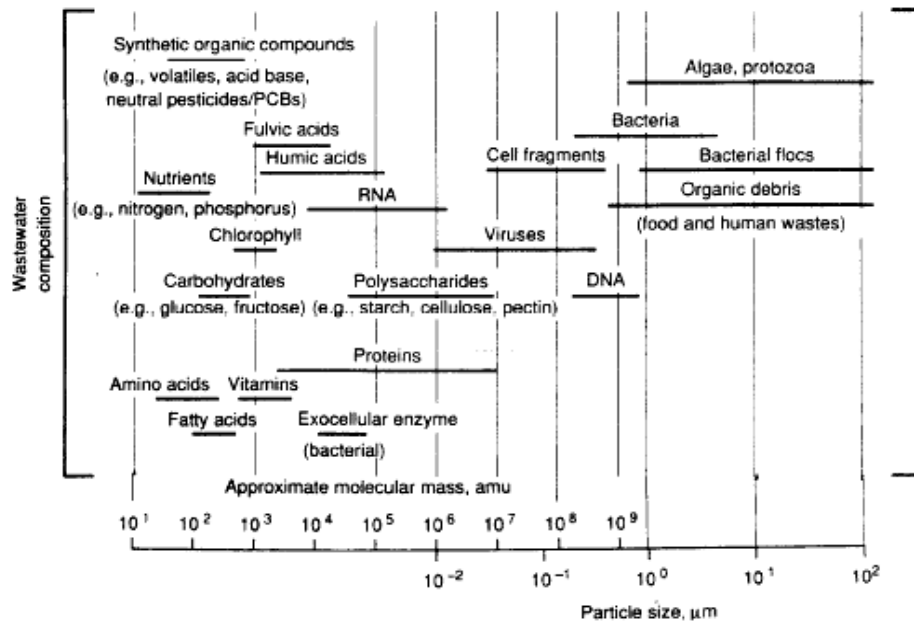
Απ' ευθείας μέτρηση των Ολικών Διαλελυμένων Στερεών (Total Dissolved Solids) μπορεί να πραγματοποιηθεί εξατμίζοντας και ξηραίνοντας ένα δείγμα νερού το οποίο έχει προηγουμένως διηθηθεί προς απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Τα εναπομείναντα υπολείμματα ζυγίζονται και αντιπροσωπεύουν τα "Ολικά Διαλελυμένα Στερεά" (TDS) στο νερό. Η περιεκτικότητα TDS εκφράζεται σε μονάδες μάζας ανά όγκο (π.χ. mg/L). Τα οργανικά και ανόργανα κλάσματα μπορούν να διαχωριστούν αποτεφρώνοντας το υπόλειμμα της μέτρησης TDS στους 600°C ακολουθώντας πρότυπες μεθόδους μέτρησης.

Μια κατά προσέγγιση μέτρηση TDS γίνεται συνήθως υπολογίζοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού. Η ικανότητα ενός δείγματος νερού να άγει (να μεταφέρει) το ηλεκτρικόρεύμα είναι γνωστή ως "ειδική αγωγιμότητα", και είναι μια συνάρτηση της ιοντικής του ισχύος. Η ειδική αγωγιμότητα μετριέται σε συσκευή αγωγιμότητας, η οποία χρησιμοποιεί την αρχή της γέφυρας του Winston. Κατά την πρότυπη διαδικασία, μετράται η αγωγιμότητα σε ένα πεδίο ενός κυβικού εκατοστού δείγματος στους 25°C, και εκφράζουμε τα αποτελέσματα σε μονάδες όπως milliSiemens ανά μέτρο (mS/m).

Η σχέση ειδικής αγωγιμότητας και συγκέντρωσης TDS, είναι γενικώς γραμμική. Οι ιοντισμένες ουσίες συνεισφέρουν στην ειδική αγωγιμότητα. Οργανικές ύλες και ενώσεις οι οποίες διαλύονται χωρίς να ιονίζονται δεν συνεισφέρουν αντίστοιχα στην αγωγιμότητα του διαλύματος. Η ειδική αγωγιμότητα επηρεάζεται από το σθένος των ιόντων στο διάλυμα, την ευκινησία τους και άλλες σχετικές παραμέτρους. Η θερμοκρασία έχει επίσης σημαντική επίδραση στην ειδική αγωγιμότητα, η οποία γενικώς αυξάνεται όταν η θερμοκρασία του διαλύματος αυξάνεται. Η μετατροπή της ειδικής αγωγιμότητας ενός διαλύματος σε μονάδες TDS θα πρέπει να γίνεται με την χρήση μιας κατάλληλης σταθεράς συσχέτισης. Ενδεικτικές τιμές τις σταθεράς συσχετισμού των mS/m σε mg/L, για φυσικά νερά, κυμαίνονται από 0.055 έως 0.09 σε mg/L. Για να χρησιμοποιηθεί η ειδική αγωγιμότητα σαν μια ποσοτική παράμετρος παρακολούθησης του TDS, θα πρέπει να διεξαχθούν κατάλληλες εργαστηριακές μετρήσεις, για τον υπολογισμό ενός συντελεστή μετατροπής τιμών αγωγιμότητας σε τιμή TDS. Γι' αυτόν το λόγο, η ειδική αγωγιμότητα χρησιμοποιείται πιο συχνά ως μια ποιοτική παράμετρος για να παρακολουθούμε τις αλλαγές στις τιμές TDS και όχι στις απόλυτες τιμές τους.

Τα ολικά στερεά διαφοροποιούνται σε διηθήσιμα και μη – διηθήσιμα. Στη διήθηση χρησιμοποιούνται κυρίως διηθητικές μεμβράνες με μεγέθη πόρων $\leq 1,2 \mu\text{m}$ από οργανικά πολυμερή ή γυάλινες ίνες. Το διηθήσιμο τμήμα διαφοροποιείται σε κολλοειδή και διαλελυμένα συστατικά, το κολλοειδές τμήμα αποτελείται από μικροσωματίδια μεγέθους 0,001 – 1 μm . Το διαλυτό αποτελείται από οργανικά και ανόργανα μόρια και ιόντα σε «πραγματικά» ομογενή διαλελυμένη κατάσταση. Το κολλοειδές τμήμα δεν απομακρύνεται μέσω καθίζησης, αλλά στην περίπτωση αυτή απαιτείται βιολογική οξείδωση ή μικροδιήθηση ή κροκίδωση/συσσωμάτωση με ακόλουθη καθίζηση. Στο

Σχήμα 4 δίνεται η τάξη μεγέθους οργανικών και βιολογικών ρυπαντών σε υγρά απόβλητα.



Σχήμα 2. Τάξη μεγεθών των συστατικών στα υγρά απόβλητα.

Κάθε μία από τις κατηγορίες στερεών μπορεί να ταξινομηθεί περαιτέρω βάσει της πτητικότητάς της σε θερμοκρασίες 550 ± 50 °C. Το οργανικό τμήμα οξειδώνεται και απομακρύνεται ως αέριο, ενώ το ανόργανο μέρος παραμένει σαν τέφρα. Έτσι οι έννοιες «πτητικά» αιωρούμενα στερεά (Volatile Suspended Solids) και «μη πτητικά αιωρούμενα στερεά» (Fixed Suspended Solids) αναφέρονται στο οργανικό και ανόργανο περιεχόμενο αντίστοιχα. Ο προσδιορισμός πτητικών συστατικών χρησιμοποιείται συχνά σε ιλύες για την εκτίμηση του βιολογικά ενεργού τμήματος (βιομάζα).

1.3.2 Χημικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

Στα χημικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνονται χημικές ενώσεις και στοιχεία, οργανικής και ανόργανης προέλευσης.

1.3.2.1 Οργανικά υλικά

Πολλές οργανικές ενώσεις είναι διαλυτές στο νερό. Τα οργανικά υλικά στα συστήματα φυσικών υδάτων προέρχονται από φυσικές πηγές ή είναι παραπροϊόντα των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Τα περισσότερα φυσικά οργανικά υλικά είναι προϊόντα αποσύνθεσης των οργανικών υλών, ενώ η παρουσία συνθετικών οργανικών μορίων είναι συνήθως αποτέλεσμα της απόρριψης υγρών αποβλήτων ή παραπροϊόντα αγροτικών δραστηριοτήτων. Τα διαλελυμένα στο νερό οργανικά διαιρούνται συνήθως σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στα βιοαποικοδομήσιμα (biodegradable) και στα μη-βιοαποικοδομήσιμα. (non-biodegradable) (Staff & Sarai 2005).

Βιοαποικοδομήσιμα Οργανικά Υλικά (biodegradable organics)

Τα βιοαποικοδομήσιμα υλικά αποτελούνται από οργανικά μόρια τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τροφή από τους φυσικά υπάρχοντες στο περιβάλλον μικροοργανισμούς, μέσα σε ένα λογικό διάστημα χρόνου. Τα υλικά αυτά συνήθως αποτελούνται από άμυλο, λίπη, πρωτεΐνες, αλκοόλες, οξέα, αλδεύδες, εστέρες κλπ. Συνήθως είναι το τελικό προϊόν της βιολογικής αποσύνθεσης των ιστών των φυτών ή των ζώων, ή μπορεί να εμπεριέχονται σε απορριπτόμενα αστικά ή βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Μερικά από αυτά τα υλικά μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα χρώματος, γεύσης και οσμής στους φυσικούς αποδέκτες. Το σημαντικότερο πρόβλημα που δημιουργούν οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις όταν απορρίπτονται σε φυσικά υδάτινα σώματα προκύπτει από την χρήση των ενώσεων αυτών από φυσικούς μικροοργανισμούς και η οποία οδηγεί στην κατανάλωση και μείωση του διαλελυμένου οξυγόνου των φυσικών υδάτινων σωμάτων (π.χ. λιμνών, ποταμών, θαλασσιών περιοχών) στερώντας το οξυγόνο αυτό από άλλους ανώτερους οργανισμούς.

Η χρησιμοποίηση των διαλελυμένων οργανικών από τους μικροοργανισμούς μπορεί να συνοδεύεται από οξείδωση ή από αναγωγή του οργανικού μορίου. Είναι πιθανόν οι δύο διεργασίες να συμβούν ταυτόχρονα. Η διεργασία της οξείδωσης είναι πολύ πιο αποτελεσματική και η επικρατέστερη όταν υπάρχει οξυγόνο. Σε "αερόβια" (παρουσία οξυγόνου) περιβάλλοντα τα τελικά προϊόντα της βιολογικής αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων, είναι συνήθως σταθερές και περιβαλλοντικά αποδεκτές ενώσεις. Η

"αναερόβια" (απουσία οξυγόνου) αποσύνθεση αποδίδει συνήθως ασταθή και ανεπιθύμητα τελικά προϊόντα. Εάν αργότερα το οξυγόνο ξαναγίνει διαθέσιμο, τα τελικά προϊόντα της αναερόβιας διεργασίας είναι δυνατό να οξειδωθούν περαιτέρω σε τελικά προϊόντα τυπικά των αερόβιων διεργασιών. Η έμμεσα δημιουργούμενη λόγω της βιολογικής δράσης απαίτηση σε οξυγόνο των βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ενώσεων είναι υψίστης σημασίας για τα φυσικά υδάτινα συστήματα. Έτσι για παράδειγμα, όταν η κατανάλωση οξυγόνου από τους αερόβιους οργανισμούς σε ένα φυτικό υδάτινο σώμα υπερβεί την δυνατότητα παροχής του οξυγόνου μέσω διάχυσης απ' την ατμόσφαιρα, οι αναερόβιες συνθήκες που τελικά θα επικρατήσουν στο υδάτινο σώμα θα επηρεάσουν βίαια την οικολογική του ισορροπία (Staff & Sarai 2005).

Μη-Βιοαποικοδομήσιμα Οργανικά Υλικά (Non-biodegradable organics)

Μερικά οργανικά υλικά, ανθίστανται στην βιολογική αποικοδόμηση. Τανίνες, λιγνίνες, κυτταρίνη και οι φαινόλες συναντώνται συχνά στα συστήματα φυσικών υδάτων. Είναι συστατικά των ξυλωδών φυτών και αποικοδομούνται αργά ώστε συνήθως θεωρούνται μη-αποικοδομήσιμα βιολογικά. Μόρια με εξαιρετικά ισχυρούς δεσμούς (μερικά από τους πολυσακχαρίτες) και δομές δακτυλίου άνθρακος (βενζόλικοι δακτύλιοι) θεωρούνται δύσκολα για βιοαποικοδόμηση.

Μερικά οργανικά μόρια είναι πρακτικά μη-βιοαποικοδομήσιμα διότι είναι τοξικά στους συνήθεις οργανισμούς. Τέτοια για παράδειγμα είναι τα οργανικά παρασιτοκτόνα, μερικά βιομηχανικά χημικά και ενώσεις υδρογονανθράκων που έχουν ενωθεί με χλώριο. Τα παρασιτοκτόνα, που περιλαμβάνουν εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, έχουν ευρεία χρήση στην σύγχρονη κοινωνία τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές περιοχές. Κακές πρακτικές χρήσης ή απορροή και το ξέπλυμα των αγροτικών καλλιεργήσιμων εκτάσεων από τις βροχοπτώσεις ή και διαρροές μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση των επιφανειακών ρευμάτων και τελικά υπόγειων υδροφόρων οριζόντων ή τελικών υδάτινων αποδεκτών με αυτά τα επικίνδυνα αγροτικά χημικά (Staff & Sarai 2005).

Τα οργανικά εντομοκτόνα περιλαμβάνουν και χλωριωμένους υδρογονάνθρακες όπως Aldrin, Dieldrin, Endrin και Lindane. Τα παρασιτοκτόνα περιέχουν συνήθως χλωροφαινολικές ενώσεις (π.χ. 2,4,5-τριχλωροφαινοξυπροπιονικό οξύ κλπ). Παρασιτοκτόνα, και συσσωρευμένες τοξίνες, προκαλούν σοβαρά προβλήματα στα

ανώτερα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας μέσω της διεργασίας της βιοσυσσώρευσης. Ως παράδειγμα αναφέρεται η βιοσυσσώρευση του εντομοκτόνου DDT, η χρήση του οποίου πλέον απαγορεύεται στις αναπτυγμένες χώρες.

Μετρήσεις των μη-βιοαποικοδομήσιμων οργανικών γίνονται συνήθως με τη μέτρηση του χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD). Τα μη-βιοαποικοδομήσιμα οργανικά μπορούν επίσης να υπολογισθούν από την ανάλυση του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC). Το COD και το TOC μετράνε και το κλάσμα των βιοαποικοδομήσιμων οργανικών, κι έτσι από την σχέση των τιμών του BOD, με τις τιμές του COD ή το ισοδύναμο TOC είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε τα περιεχόμενα δυσκόλως βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά. Συγκεκριμένες οργανικές ενώσεις μπορούν να ταυτοποιηθούν και να μετρηθούν μέσω εξειδικευμένων χημικών αναλύσεων όπως π.χ. αέρια χρωματογραφία κλπ (Sincero & Sincero 2002; Staff & Sarai 2005).

1.3.2.2 Θρεπτικά συστατικά (N και P)

Ως θρεπτικά ορίζονται τα βασικά στοιχεία, απαραίτητα για την ανάπτυξη και αναπαραγωγή των φυτών και των ζώων. Τα υδρόβια είδη εξαρτώνται από το περιβάλλον νερό που τους παρέχει τα θρεπτικά. Τα σημαντικότερα θρεπτικά είναι : ο άνθρακας, το άζωτο και ο φωσφόρος (Sincero & Sincero 2002).

Ο άνθρακας είναι εύκολα διαθέσιμος από πολλές πηγές. Το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, τα ανθρακικά ιόντα (αλκαλικότητα) οι οργανικές ύλες, όλα παρέχουν άνθρακα στους οργανισμούς.

Σε πολλές περιπτώσεις το άζωτο και ο φωσφόρος είναι τα θρεπτικά στοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν τον περιοριστικό παράγοντα της ανάπτυξης των οργανισμών λόγω χαμηλής διαθεσιμότητάς τους.

Άζωτο

Το αέριο άζωτο (N_2) είναι κύριο συστατικό της γήινης ατμόσφαιρας. Είναι χημικά σταθερό και αντιδρά με το οξυγόνο σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας όπως ηλεκτρικές εκκενώσεις ή καύσεις προς σχηματισμό οξειδίων του αζώτου. Παρότι μερικά βιολογικά είδη έχουν την ικανότητα να οξειδώνουν το αέριο άζωτο, το άζωτο ως θρεπτικό

συστατικό είναι διαθέσιμο στους οργανισμούς κυρίως από πηγές διαφορετικές από το ατμοσφαιρικό άζωτο.

Το άζωτο είναι ένα συστατικό των πρωτεϊνών, της χλωροφύλλης και πολλών άλλων βιολογικών ενώσεων. Μετά το θάνατο των φυτών ή των ζώων, σύνθετες οργανικές ουσίες αποικοδομούνται σε απλές μορφές μέσω της βιολογικής αποσύνθεσης. Οι πρωτεΐνες, για παράδειγμα, μετατρέπονται σε αμινοξέα και στη συνέχεια σε αμμωνία (NH_3). Αν υπάρχει οξυγόνο, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη (NO_2^-) και μετά σε νιτρικά (NO_3^-) ιόντα. Τα νιτρικά ιόντα είναι παράδειγμα μορφής αζώτου εύκολα διαθέσιμης σε οργανισμούς για τις βιοτικές ανάγκες τους (Sincero & Sincero 2002).

Άλλες πηγές αζώτου είναι τα υγρά απόβλητα, (αστικά και βιομηχανικά) και οι γεωργικές απορροές λιπασμάτων. Οι ενώσεις του αζώτου μπορούν να οξειδωθούν προς νιτρικά ιόντα από μικροοργανισμούς στη φύση. Η συνεχής συνεισφορά αζώτου στα φυσικά υδάτινα σώματα από τις ανωτέρω πηγές είναι δυνατόν να οδηγήσει στον υπερεμπλουτισμό των φυσικών υδάτων σε άζωτο. Επιπρόσθετα με τα προβλήματα του υπερεμπλουτισμού ενώσεις του αζώτου μπορούν να έχουν και άλλες επιπτώσεις. Η αμμωνία είναι αέριο σε θερμοκρασία και πιέσεις που απαντώνται συνήθως σε συστήματα φυσικών υδάτων. Η αέρια αμμωνία (NH_3) βρίσκεται σε ισορροπία με την υδατική ιονική μορφή (NH_4^+).

Η συγκέντρωση του ιόντος του υδροξυλίου του νερού, άρα το pH, ρυθμίζει την σχετική παρουσία κάθε είδους. Η οξείδωση της αμμωνίας (NH_3) και του αμμωνίου (NH_4^+) προς νιτρικά και άλλα ιόντα, από μικροοργανισμούς, δημιουργεί μια πρόσθετη βιοχημική απαίτηση οξυγόνου, όπως συζητήθηκε σε προηγούμενη ενότητα. Μετρήσεις για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης αζώτου σε δείγματα αποβλήτων ή φυσικών υδάτων συνήθως περιλαμβάνουν ανάλυση για αμμωνία (περιλαμβάνοντας αμμωνία και αμμώνιο), νιτρικά και ολικό άζωτο. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων συνήθως εκφράζονται σε μονάδες συγκέντρωσης (mg/L). των επί μέρους ειδών ως άζωτο. Μετρήσεις για αμμωνία και ολικό άζωτο είναι πιο συνηθισμένες στα υγρά απόβλητα, ενώ οι μετρήσεις για νιτρικά ιόντα είναι πιο συνήθεις σε δείγματα καθαρών υδάτων και επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.

Φωσφόρος

Ο φωσφόρος σε υδατικό περιβάλλον εμφανίζεται με τη μορφή φωσφορικών ιόντων (PO_4^{3-}). Υπάρχουν διάφορες μορφές φωσφορικών αλάτων οι οποίες περιλαμβάνουν ορθοφωσφορικά άλατα (πυρο-, μετά-, και πολυφωσφορικά άλατα) και οργανικά δεσμευμένα φωσφορικά άλατα. Όπως το άζωτο, έτσι και τα φωσφορικά άλατα περνούν μέσω του κύκλου της αποσύνθεσης και της φωτοσύνθεσης.

Τα φωσφορικά άλατα είναι συστατικά των εδαφών και χρησιμοποιούνται εκτενώς στα λιπάσματα για να ενισχύσουν τις φυσικές συγκεντρώσεις στα γεωργικά εδάφη. Τα φωσφορικά άλατα είναι επίσης συστατικό των αποβλήτων των ζώων και μπορούν να συσσωρευτούν στο έδαφος στους βοσκότοπους και στις περιοχές όπου εκτρέφονται ζώα. Οι απορροές απ' τις αγροτικές περιοχές είναι σημαντικός συντελεστής εμπλουτισμού των επιφανειακών υδάτων σε φωσφόρο. Η τάση των φωσφορικών αλάτων να απορροφώνται στους κόκκους του εδάφους, περιορίζει την κινητικότητα τους στο φυσικό περιβάλλον.

Τα αστικά υγρά απόβλητα είναι μια σημαντική πηγή εμπλουτισμού των επιφανειακών υδάτων με φωσφορικά άλατα. Τα συμπυκνωμένα φωσφορικά άλατα χρησιμοποιούνται εκτενώς ως συστατικά των απορρυπαντικών, και τα οργανικά φωσφορικά άλατα είναι συστατικά των αποβλήτων του σώματος και των καταλοίπων των τροφών. Άλλες πηγές φωσφόρου είναι τα βιομηχανικά απόβλητα δεδομένου ότι φωσφορικά άλατα χρησιμοποιούνται για σκοπούς όπως η επεξεργασία του νερού στους ατμολέβητες κλπ.

Ενώ τα φωσφορικά άλατα δεν είναι τοξικά και δεν αποτελούν μια άμεση απειλή για την υγεία των ανθρώπων ή άλλων οργανισμών, αποτελούν μια σοβαρή έμμεση, απειλή για την ποιότητα του νερού. Όπως σημειώθηκε νωρίτερα, τα φωσφορικά άλατα είναι συχνά το περιοριστικό θρεπτικό για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών στα φυσικά υδάτινα σώματα. Όταν η διαθεσιμότητα αυξάνεται, είναι δυνατό να επακολουθήσει απότομη αύξηση του πληθυσμού των μικροοργανισμών, με σοβαρές συνέπειες στο ισοζύγιο οξυγόνου των υδάτινων σωμάτων.

Τα φωσφορικά άλατα μετρώνται συνήθως χρωματομετρικά. Τα ορθοφωσφορικά άλατα μπορούν να μετρηθούν άμεσα, ενώ άλλες μορφές θα πρέπει πρώτα να μετατρέπουν σε ορθοφωσφορικά άλατα. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αναφέρονται σε μονάδες συγκέντρωσης φωσφορικών αλάτων (π.χ. mg/L) ως ισοδύναμος φωσφόρος

1.3.2.3 Λίπη και Έλαια

Τα λύματα και τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα, κυρίως αυτά που προέρχονται από εγκαταστάσεις διυλιστηρίων, περιέχουν συχνά σημαντικές ποσότητες ελαίων και λιπών τα οποία βρίσκονται σε υγρή κατάσταση. Η απομάκρυνση τους από τα υγρά απόβλητα είναι απαραίτητη, έτσι ώστε

- να λειτουργεί καλύτερα το σύστημα υπονόμων, διότι αν μεγάλες ποσότητες ελαίων μπουν στους υπονόμους, τότε μπορεί οι κύριοι αγωγοί των υπονόμων να φράξουν, υπάρχει κίνδυνος φωτιάς και έκρηξης σε ολόκληρο το σύστημα.
- να μην υπάρξει πρόβλημα στις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, όπως αποθέσεις στα συστήματα αιώρησης και στα ηλεκτρόδια, απαίτηση από τα αντλιοστάσια για συχνότερη συντήρηση και καθαρισμό, παρεμπόδιση της βιολογική δραστηριότητας στην επεξεργασία αποβλήτων (όταν η συγκέντρωση ελαίου είναι μεγαλύτερη από 50 mg/l), γιατί καθώς το λάδι συσσωρεύεται στην επιφάνεια του νερού δημιουργεί ένα “μαύρο” στρώμα το οποίο παρεμποδίζει την μεταφορά οξυγόνου από τον αέρα στους μικροοργανισμούς, που βρίσκονται κάτω από αυτό, να μειωθεί το κόστος της υπόλοιπης επεξεργασίας του αποβλήτου.

Τα διάφορα είδη ελαίων που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα είναι τα βρώσιμα λάδια και τα πετρελαιοειδή. Η συγκέντρωση ελαίου στα υδατικά απόβλητα αναφέρεται ως λίπη και έλαια (oils and grease). Με τον όρο πετρελαιοειδή εννοούμε μια μεγάλη κατηγορία χημικών υδρογονανθράκων που περιλαμβάνουν την βενζίνη, την κεροζίνη, το αργό πετρέλαιο, απόσταγμα Νο 6, λάδι μηχανής, διάφορα ορυκτέλαια, γράσα, διαλύτες, υδραυλικά λάδια και άλλα.

Η αποτελεσματικότητα και η ευκολία με την οποία θα πραγματοποιηθεί ο ελαιοδιαχωρισμός ενός αποβλήτου που περιέχει λάδι, εξαρτάται από την μορφή με την οποία το λάδι βρίσκεται στο νερό. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τρεις τέτοιες μορφές:

- Ελεύθερο λάδι : Επιπλέει εύκολα στην επιφάνεια και μπορεί να απομακρυνθεί με πολλούς τρόπους,
- Διαλυτοποιημένο λάδι : Μπορεί να απομακρυνθεί είτε με βιολογική επεξεργασία, είτε με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα.

- Γαλακτοματοποιημένο λάδι : Όταν το μέγεθος των σταγόνων ελαίου είναι αρκετά μικρό, το σύστημα ελαίου - νερού παύει να συμπεριφέρεται ως διφασικό μίγμα και αποκτά ιδιότητες κολλοειδούς. Οι κολλοειδείς μονάδες (μεγέθους 0,001 - 1,0 μm) συχνά σχηματίζουν οργανωμένες δομές, τα μικκύλια. Αυτή η μορφή λαδιού είναι δυσκολότερο να απομακρυνθεί γιατί πρέπει πρώτα να διασπασθεί το γαλάκτωμα. Υπάρχουν διάφορα πρόσθετα που προκαλούν την ανάμιξη λαδιού και νερού, και έτσι το πρόβλημα διαχωρισμού γίνεται μεγαλύτερο (π.χ. τα υγρά απόβλητα των πλυντηρίων) (Erickson 1990).

1.3.2.4 Βαρέα μέταλλα

Όλα τα μέταλλα είναι, σε κάποιο βαθμό, διαλυτά στο νερό. Παρά το γεγονός ότι υψηλές συγκεντρώσεις του οποιουδήποτε μετάλλου μπορεί να δημιουργήσουν κινδύνους για την υγεία, μόνο τα μέταλλα τα οποία είναι επιβλαβή σε σχετικά μικρές ποσότητες, αναφέρονται ως τοξικά. Τα άλλα μέταλλα ανήκουν στη κατηγορία των μη-τοξικών. Πηγές εμπλουτισμού των φυσικών υδάτων σε μέταλλα είναι η διάλυση από φυσικά πετρώματα και τα αστικά, βιομηχανικά ή αγροτικά απόβλητα που διατίθενται σε φυσικούς αποδέκτες. Η μέτρηση της συγκέντρωσης των μετάλλων σε δείγματα νερού, γίνεται με διάφορες τεχνικές κυρίως φασματοφωτομετρικές (Simeonov et al. 2010).

Μη-τοξικά Μέταλλα (Non Toxic Metals)

Πέρα από τα συνήθη ιόντα της σκληρότητας του νερού όπως το ασβέστιο και το μαγνήσιο, άλλα συνήθη μη τοξικά μέταλλα που βρίσκονται στο νερό, είναι το νάτριο, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το αλουμίνιο, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος. Το νάτριο, το πιο κοινό μη τοξικό μέταλλο που βρίσκεται στα φυσικά ύδατα, είναι άφθονο στο φλοιό της γης. Τα άλατα του νατρίου είναι ευδιάλυτα στο νερό. Υψηλές συγκεντρώσεις Na, δημιουργούν μία πικρή γεύση στο νερό και αυξημένο κίνδυνο στην υγεία των καρδιοπαθών και νεφροπαθών ασθενών. Το νάτριο είναι επίσης διαβρωτικό για τις μεταλλικές επιφάνειες και σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικό για τα φυτά.

Ο σίδηρος και το μαγγάνιο συχνά συνυπάρχουν και δεν είναι επικίνδυνα για την υγεία στις συνήθεις φυσιολογικές συγκεντρώσεις των φυσικών υδάτων.

Ο σίδηρος και το μαγγάνιο σε πολύ μικρές ποσότητες μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα χρώματος στο νερό. Για παράδειγμα, συγκεντρώσεις σιδήρου 0,3 mg/L και συγκεντρώσεις μαγγανίου της τάξεως των 0,05 mg/L, μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα χρώματος. Επιπροσθέτως, μερικά βακτήρια χρησιμοποιούν τις ενώσεις του σιδήρου και του μαγγανίου σαν πηγή ενέργειας και η επακολουθούσα ανάπτυξη μικροοργανισμών μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα γεύσης και οσμής στο νερό. Ο σίδηρος στα συστήματα φυσικών υδάτων, συνήθως συνδέεται με χλωριόντα (FeCl_2), όξινα ανθρακικά [$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$] ή θειικά (FeSO_4) ανιόντα. Η πλέον διαλυτή μορφή του σιδήρου είναι η δισθενής. Παρουσία οξυγόνου, το ιόν του δισθενούς σιδήρου (Fe^{2+}) οξειδώνεται προς το ιόν του τρισθενούς σιδήρου (Fe^{3+}) και δημιουργεί εύκολα αδιάλυτο υδροξείδιο ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Ετσι, σημαντικές ποσότητες διαλελυμένου σιδήρου υπάρχουν συνήθως μόνο σε συστήματα χωρίς οξυγόνο όπως στα υπόγεια ύδατα, ή ίσως στα κατώτερα στρώματα των στρωματωμένων λιμνών. Παρομοίως, τα ιόντα του μαγγανίου (Mn^{2+} και Mn^{4+}) ενωμένα με χλωριόντα, νιτρικά και θειικά ιόντα είναι διαλυτά, ενώ οι οξειδωμένες μορφές (Mn^{3+} και Mn^{5+}) είναι λιγότερο διαλυτές. Οργανικά οξέα που παράγονται από φυσικές διεργασίες δύνανται να συμπλοκοποιήσουν μέταλλα όπως τον σίδηρο και το μαγγάνιο, αναστέλλοντας την οξείδωση τους και την επακόλουθη καθίζηση τους από τα φυσικά ύδατα συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην αύξηση της συνολικής συγκέντρωσης του διαλελυμένου μετάλλου στα φυσικά νερά.

Τα άλλα μη τοξικά μέταλλα, γενικώς βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στα συστήματα φυσικών υδάτων. Τα περισσότερα θα προκαλούσαν προβλήματα γεύσης πολύ πριν οι συγκεντρώσεις τους να έφθαναν τα τοξικά επίπεδα. Παρόλα αυτά, ο χαλκός και ο ψευδάργυρος θεωρούνται συνεργιστικά μέταλλα και όταν υπάρχουν και τα δύο μαζί, ακόμη και σε μικρές ποσότητες, μπορούν να ασκήσουν τοξική δράση σε πολλούς οργανισμούς.

Τοξικά Μέταλλα (Toxic Metals)

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, τα τοξικά μέταλλα είναι επιβλαβή, για τους ανθρώπους και τους άλλους οργανισμούς, σε μικρές ποσότητες. Ανάμεσα στα τοξικά στοιχεία τα

οποία θα μπορούσαν να υπάρξουν σε διαλυτή μορφή στο νερό περιλαμβάνονται το αρσενικό, το βάριο, το κάδμιο, το χρώμιο, ο μόλυβδος, ο υδράργυρος και ο άργυρος. Τα τοξικά μέταλλα συνήθως εμφανίζονται μόνο σε πολύ μικρές ποσότητες στα περισσότερα συστήματα φυσικών υδάτων. Σημαντικές συγκεντρώσεις τοξικών μετάλλων ανιχνεύονται συνήθως στις όξινες απορροές μεταλλείων και σε κάποια βιομηχανικά απόβλητα.

Τα μέταλλα βιοσυσσωρεύονται μέσω της τροφικής αλυσίδας και με αυτό τον τρόπο αποτελούν μεγαλύτερο κίνδυνο για τους οργανισμούς που βρίσκονται κοντά στην κορυφή της τροφικής αλυσίδας (Simeonov et al. 2010).

1.3.2.5 Απαίτηση σε οξυγόνο υγρών αποβλήτων

Το διαλυμένο οξυγόνο διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο για τα υδατικά οικοσυστήματα. Μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε επίπεδα μικρότερα από την τιμή κορεσμού οδηγεί σε αποδόμηση της οργανικής ύλης και νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου. Τα αστικά λύματα όπως και συγκεκριμένες κατηγορίες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου, αμμωνιακού και οργανικού αζώτου. Η μη αποτελεσματική επεξεργασία τους πριν την τελική τους διάθεση, οδηγεί σε αντίστοιχη αύξηση των συγκεντρώσεων των ενώσεων αυτών στα φυσικά ύδατα όπου λαμβάνουν χώρα οι εξής διεργασίες: Το οργανικό άζωτο μετατρέπεται σε αμμωνιακά ιόντα τα οποία είναι άμεσα διαθέσιμα για νιτροποίηση (μετατροπή σε νιτρικά). Η διαδικασία αυτή απαιτεί την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης, το άζωτο και ο φώσφορος που περιέχονται στα λύματα, ως θρεπτικά συστατικά, ενεργοποιούν την παραγωγή νέας ζωντανής οργανικής ύλης στον υδατικό αποδέκτη η οποία μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της αποσυντίθεται καταναλώνοντας διαλυμένο οξυγόνο. Επομένως, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα είναι δείκτης της ρυπαντικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει σε αυτά, λόγω κυρίως της παρουσίας οργανικών ενώσεων και ενώσεων του αζώτου.

Ο βαθμός ελάττωσης της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου εξαρτάται επίσης από την υφιστάμενη σχέση των ρυθμών αποξυγόνωσης και οξυγόνωσης του συγκεκριμένου οικοσυστήματος (συνχνά η αναπλήρωση του οξυγόνου γίνεται μόνο από εισρέουσες μάζες νερού πλουσιότερες σε διαλυμένο οξυγόνο). Σύμφωνα με τις κατευθύνσεις της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας, η ενδεικνυόμενη ελάχιστη μέση τιμή διαλυμένου οξυγόνου για τη διαβίωση σαλμονίδων πρέπει να είναι τα 9 mg/l και η οριακή ελάχιστη τιμή τα 7 mg/l, ενώ για τις κυπρινίδες 7 mg/l και 5 mg/l, αντίστοιχα. Για οικοσυστήματα καλλιέργειας οστρακοειδών η ελάχιστη συγκέντρωση στο 95 % του χρόνου πρέπει να είναι ίση με 70% της τιμής κορεσμού, ενώ για περιοχές κολύμβησης συνιστάται ελάχιστη τιμή στο 90% του χρόνου ίση με τα 80% της τιμής κορεσμού (Henze 2008).

1.3.2.6 Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο COD

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD) είναι η παράμετρος που προσδιορίζει έμμεσα το συνολικό οργανικό φορτίο που υπάρχει στα ύδατα ή τα απόβλητα (βιοαποδομήσιμο και μη). Συγκεκριμένα, προσδιορίζει το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη διάσπαση-οξείδωση του συνολικού οργανικού φορτίου προς νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Η οξείδωση πραγματοποιείται με ισχυρά οξειδωτικά μέσα, υπό όξινες συνθήκες και λόγω του γεγονότος ότι ορισμένες οργανικές ενώσεις είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στις διαδικασίες πλήρους οξείδωσής τους (π.χ. αρωματικές ενώσεις), η διεργασία αναπτύσσεται παρουσία καταλύτη. Το COD αποτελεί επίσης βασική παράμετρο για το σχεδιασμό και έλεγχο της λειτουργίας μονάδων βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Henze 2008).

1.3.2.7 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand – BOD), αποτελεί την παράμετρο που προσδιορίζει έμμεσα το οργανικό φορτίο το οποίο μπορεί

να διασπασθεί από μικροοργανισμών που υπάρχουν στα ύδατα και τα απόβλητα (προσδιορίζεται το οξυγόνο που απαιτείται για τη διάσπαση του δυνητικά βιοαποδομήσιμου κλάσματος του συνολικού οργανικού φορτίου, με τη βοήθεια των μικροοργανισμών, BOD_u). Δεδομένου ότι η βιοχημική αποδόμηση είναι βραδεία διαδικασία η οποία ολοκληρώνεται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, μετράται συνήθως το οξυγόνο που καταναλώνεται εντός των πρώτων πέντε ημερών από την έναρξή της (προσδιορισμός του BOD₅), ενώ όταν ο χρόνος επώασης είναι 20 ημέρες προκύπτει ο προσδιορισμός του BOD₂₀ (Henze 2008).

Το BOD₅ αποτελεί βασική παράμετρο για το σχεδιασμό και έλεγχο της λειτουργίας μονάδων βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ενώ το BOD_u χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του βαθμού αποξυγόνωσης (μείωσης του διαλυμένου οξυγόνου) των υδατικών αποδεκτών. Σύμφωνα με τη νομοθεσία που ισχύει στη χώρα μας, τα απόβλητα που διοχετεύονται σε επιφανειακούς αποδέκτες πρέπει να έχουν BOD₅ μικρότερο από 25 mg/L.

1.3.2.8 Ολικός Οργανικός Άνθρακας

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon – TOC) είναι παράμετρος άμεσης μέτρησης του συνολικού οργανικού άνθρακα που περιέχεται στα ύδατα και τα απόβλητα, ανεξάρτητα από το είδος των ενώσεων στις οποίες περιέχεται. Ως εκ τούτου παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και το επίπεδο ρύπανσης των υδάτων ως προς την παρουσία οργανικών συστατικών.

1.3.2.9 Λόγος BOD/COD

Σε πολλές περιπτώσεις, η μεμονωμένη μέτρηση των παραμέτρων BOD και COD δεν παρέχει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες σχετικά με το είδος του οργανικού ρυπαντικού φορτίου των υδάτων και των αποβλήτων. Για το λόγο αυτό προσδιορίζεται επιπλέον, η τιμή του λόγου BOD/COD, έτσι ώστε να εξαχθούν συμπληρωματικά

στοιχεία τα οποία θα βοηθήσουν στην επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, η θεωρητικά μέγιστη τιμή του λόγου BOD/COD είναι ίση με 1 και αφορά στις περιπτώσεις που το σύνολο του οργανικού φορτίου είναι βιοαποδομήσιμο. Τιμές του λόγου αυτού πλησίον της μονάδας δείχνουν ότι το απόβλητο μπορεί να υποστεί με επιτυχία βιολογική επεξεργασία, ενώ αντίθετα, όταν οι τιμές είναι πολύ μικρές, τότε δεν ενδείκνυται η εφαρμογή βιολογικής επεξεργασίας.

1.3.3 Βιολογικά χαρακτηριστικά

Μία σημαντική κατηγορία παραμέτρων που υποβαθμίζει την ποιότητα των υδάτων, δημιουργώντας προβλήματα μόλυνσης και κινδύνους για τη δημόσια υγεία είναι η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών όπως είναι τα βακτήρια τύφου, δυσεντερίας, χολέρας και διάφοροι ιοί, κυρίως αυτοί της λοιμώδους ηπατίτιδας και της πολυομυελίτιδας.

Κύρια πηγή μόλυνσης των υδάτων είναι τα αστικά λύματα, τα κτηνοτροφικά απόβλητα και τα περιττώματα των ζώων και των ανθρώπων που περιέχουν παθογόνους μικροοργανισμούς. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί βρίσκονται στο νερό σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και η ανίχνευσή τους είναι πολύ δύσκολη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ως οργανισμοί ενδεικτικοί της μόλυνσης των υδάτων τα κολοβακτηρίδια, τα οποία δεν είναι γενικά παθογόνα, αλλά εκκρίνονται από τον άνθρωπο με ρυθμούς που κυμαίνονται από 100×10^9 – 400×10^9 ανά άτομο ημερησίως (Lanes et al. 1992).

Μια ομάδα κολοβακτηριδίων, τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια, αναπτύσσονται μόνο στο πεπτικό σύστημα και έτσι η παρουσία τους στο νερό δηλώνει μόλυνση και συνεπώς δυνητική παθογένεια. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των κολοβακτηριδίων που τα καθιστά ως κατάλληλο δείκτη για την ύπαρξη πιθανής παθογένειας στα ύδατα, είναι το γεγονός ότι η απολύμανση του νερού τα καταστρέφει, γενικά, δυσκολότερα σε σύγκριση με τα παθογόνα βακτήρια. Έτσι, η εξάλειψη των κολοβακτηριδίων εξασφαλίζει και την παράλληλη εξάλειψη των παθογόνων βακτηριδίων. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τους

ιούς, δεδομένου ότι δεν υπάρχει άμεση και πλήρης συσχέτισή τους με τα κολοβακτηρίδια και απαιτείται η διενέργεια πιο εξειδικευμένων αναλύσεων για τον προσδιορισμό τους.

1.4 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Για τη απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου των υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη η εφαρμογή των κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας. Ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται από τον τελικό αποδέκτη του επεξεργασμένου αποβλήτου (λίμνη, ποτάμι, έδαφος, θάλασσα, αποχετευτικό δίκτυο) και τα αντίστοιχα αποδεκτά όρια για τελική διάθεση (καθορισμός ανώτατων επιτρεπτών ορίων απόρριψης). Η επιλογή της μεθόδου πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά και ύστερα από ανάλυση των προβλημάτων της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά. Η μέθοδος ή ο συνδυασμός μεθόδων που μπορούν να εφαρμοσθούν εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις και το είδος του προς απομάκρυνση ρυπαντικού φορτίου. Οι κυριότερες μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των αποβλήτων (μεμονωμένα ή σε συνδυασμό) συνοψίζονται, κατά κατηγορία παρακάτω:

❖ Βιολογική επεξεργασία

➤ Αερόβια

- Ενεργός ιλύς (activated sludge)
- Αεριζόμενες λίμνες (aerated lagoons)
- Βιολογικά φίλτρα (trickling filters)
- Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (rotating biological discs)

➤ Αναερόβια

- Αναερόβια φίλτρα (anaerobic filters)
- Αναερόβιος χωνευτήρας (conventional anaerobic digester)
- Αναερόβια μονάδα ενεργού ιλύος (anaerobic activated sludge plant)

❖ Χημική/Φυσικοχημική επεξεργασία

- Χημική κατακρήμνιση
- Χημική οξείδωση

- Απορρόφηση σε ενεργό άνθρακα
- Αντίστροφη ώσμωση
- Απαέρωση αμμωνίας

1.4.1 Αερόβια βιολογική επεξεργασία

Στις περιπτώσεις που τα περισσότερα από τα οργανικά συστατικά που περιέχονται σε ένα απόβλητο είναι βιοαποδομήσιμα (υψηλές τιμές του λόγου BOD/COD), επιδέχονται ευκολότερα βιολογική επεξεργασία. Με κατάλληλη ρύθμιση του pH και προσθήκη των απαιτούμενων θρεπτικών, μπορεί να επιτευχθεί η δημιουργία υγιούς πληθυσμού μικροοργανισμών που θα διασπούν το οργανικό φορτίο των αποβλήτων (μέσω ανάπτυξης βιοχημικών δράσεων). Τα βιοαποδομήσιμα οργανικά, τα οποία χρησιμεύουν ως πηγή άνθρακα και ενέργειας, μετατρέπονται σε αιωρούμενα συστατικά τα οποία συσσωματώνονται και καθιζάνουν ή μετατρέπονται σε αέρια προϊόντα. Συμπληρωματικά, μπορεί να απομακρυνθούν και μέταλλα (Fe, Mg, κ.ά.), χωρίς αυτό να αποτελεί τον κύριο στόχο της βιολογικής επεξεργασίας (Tchobanoglous et al. 2003).

Κατά την αερόβια βιολογική επεξεργασία, ο βακτηριακός πληθυσμός μπορεί να βρίσκεται σε αιώρηση ή να είναι προσκολλημένος σε κάποια επιφάνεια. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν η μέθοδος της ενεργού ιλύος και οι αεριζόμενες λίμνες, ενώ στη δεύτερη τα βιολογικά φίλτρα και οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι. Ο αερισμός ο οποίος εφαρμόζεται σε όλες τις μεθόδους παρέχει το οξυγόνο που χρειάζονται οι μικροοργανισμοί για την οξείδωση, επιτυγχάνει την κατάλληλη ανάδευση του αποβλήτου, διατηρεί τα συσσωματώματα σε αιώρηση και βοηθά στην απομάκρυνση των παραγόμενων αερίων.

1.4.1.1 Επεξεργασία με ενεργό ιλύ

Κατά την επεξεργασία με την εφαρμογή της μεθόδου της ενεργού ιλύος (activated sludge), χρησιμοποιείται δεξαμενή αερισμού στην οποία το απόβλητο αναμιγνύεται και

αερίζεται με παροχή του απαιτούμενου οξυγόνου. Η έξοδος της δεξαμενής αερισμού καταλήγει σε δεξαμενή καθίζησης όπου το επεξεργασμένο απόβλητο αφήνεται σε ηρεμία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η υπερχειλίση της δεξαμενής καθίζησης αποτελεί την έξοδο του επεξεργασμένου αποβλήτου. Από τον πυθμένα της δεξαμενής αυτής απομακρύνεται η ενεργός λάσπη, μέρος της οποίας ανακυκλώνεται στη δεξαμενή αερισμού.

Για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος, πρέπει ο λόγος BOD:N:P να είναι ίσος με 100:5:1, ενώ το pH του συστήματος πρέπει να κυμαίνεται σε ουδέτερες ως ελαφρά αλκαλικές περιοχές (από 6.5 έως 8), διότι χαμηλότερες ή υψηλότερες τιμές του μειώνουν ή αναστέλλουν τη δράση των μικροοργανισμών. Επιπλέον, η παρουσία τοξικών ουσιών στα απόβλητα καταστρέφει το βακτηριακό πληθυσμό και η μέθοδος δεν είναι αποτελεσματική (Karia & Christian 2013).

Η γρήγορη και ολοκληρωμένη καθίζηση της παραγόμενης λάσπης, αποτελεί ένδειξη της καλής λειτουργίας της εγκατάστασης, ενώ αντίθετα μικρή καθίζηση που συνοδεύεται με θολότητα στο αιώρημα δείχνει την ύπαρξη λειτουργικών προβλημάτων. Τέτοια προβλήματα παρουσιάζονται συνήθως στην ανακύκλωση της λάσπης καθώς και στον αερισμό ο οποίος μπορεί να καταστεί προβληματικός από την επικάθιση ανόργανων στερεών στους διαχυτήρες αέρος.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος που να οδηγεί σε ικανοποιητική απομάκρυνση οργανικών από ένα απόβλητο πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή. Ενδεικτικά, αναφέρεται ένα παράδειγμα σχεδιασμού για την επεξεργασία αποβλήτου με BOD=4500 mg/l και MLSS=3000 mg/l. Για να επιτευχθεί απομάκρυνση BOD μεγαλύτερη από 90%, απαιτείται λόγος $F/M = 0.25 \text{ Kg BOD/Kg MLSS.ημέρα}$ (για χρόνο παραμονής στη δεξαμενή αερισμού 6 ημέρες). Αν σε αυτό το σύστημα μεταβληθεί μία παράμετρος σχεδιασμού από την προκαθορισμένη της τιμή, παρατηρείται σημαντική μείωση στην απομάκρυνση του BOD. Τέλος για να είναι επιτυχής ο σχεδιασμός της εγκατάστασης ενεργού ιλύος πρέπει να είναι γνωστές οι εξισώσεις βιοχημικής κινητικής και να γίνεται σωστή επιλογή της παραμέτρου ελέγχου.

1.4.1.2 Αεριζόμενες λίμνες

Οι αεριζόμενες λίμνες (aerated lagoons) είναι αβαθείς λίμνες (βάθους μέχρι 3 μέτρα) πολύ απλής κατασκευής, η οποία επιτυγχάνεται με εκσκαφή του εδάφους και στεγανοποίηση του πυθμένα με άργιλο, μπετόν ή πλαστικά φύλλα PVC. Το απόβλητο οξυγονώνεται με τη βοήθεια επιφανειακών επιπλεόντων αεριστήρων ή διαχυτήρων. Η μέθοδος αυτή προσεγγίζει τον τύπο της επεξεργασίας με ενεργό ιλύ χωρίς όμως να υπάρχει δεξαμενή καθίζησης. Η καθίζηση της λάσπης επιτυγχάνεται, διακόπτοντας τον αερισμό για μικρό χρονικό διάστημα επιτρέποντας έτσι στα αιωρούμενα στερεά να κατακαθίσουν.

Με τη χρήση αεριζόμενων λιμνών, για χρόνους παραμονής 30 - 60 ημέρες επιτυγχάνεται απομάκρυνση BOD μεγαλύτερη από 90%, ενώ με προσθήκη των κατάλληλων ποσοτήτων θρεπτικών, είναι δυνατόν ο χρόνος παραμονής να μειωθεί στις 10 έως 20 ημέρες για το ίδιο ποσοστό απομάκρυνσης. Όπως παρατηρείται, ο χρόνος παραμονής στις αεριζόμενες λίμνες είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από το χρόνο παραμονής σε σύστημα ενεργού ιλύος (με αποτέλεσμα οι αεριζόμενες λίμνες να έχουν μεγαλύτερο μέγεθος από τις δεξαμενές αερισμού ενεργού ιλύος) και εξαρτάται από τη βιοαποδομησιμότητα του οργανικού φορτίου, την ανεπάρκεια ή όχι θρεπτικών, τις θερμοκρασιακές μεταβολές και την παρουσία ή όχι τοξικών μετάλλων στα απόβλητα (Henze et al. 2013).

1.4.1.3 Βιολογικά φίλτρα

Η λειτουργία των βιολογικών φίλτρων (trickling filters) περιγράφεται ως ένας πνεύμονας που εισπνέει απόβλητα και εκπνέει καθαρό νερό, δεσμεύοντας ρύπους για την ανάπτυξη της κυτταρικής ύλης. Τα φίλτρα είναι βιολογικοί αντιδραστήρες σταθερής κλίνης, συνεχούς τροφοδοσίας χωρίς ανάμιξη και αποτελούνται από σύστημα κυλινδρικής διατομής που περιέχει αδρανή υλικά. Το απόβλητο εισέρχεται στην πάνω επιφάνεια του φίλτρου και εξέρχεται από τον πυθμένα αφού διαπεράσει το υλικό

πλήρωσης. Από τον πυθμένα τροφοδοτείται και ο αέρας που είναι απαραίτητος για τη λειτουργία των φίλτρων (Διπλωματική Τσόνζος ,2015).

Η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων στηρίζεται σε διαδικασίες προσρόφησης και αποδόμησης του ρυπαντικού φορτίου από το μικροβιακό πληθυσμό που αναπτύσσεται προσκολλημένος στα αδρανή πληρωτικά υλικά και τα οποία προσφέρουν μεγάλες επιφάνειες για την ανάπτυξη της βιομάζας. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης των βιολογικών φίλτρων έναντι της επεξεργασίας με ενεργό ιλύ.

Πίνακας 1. Σύγκριση της λειτουργίας βιολογικού φίλτρου με και συστήματος ενεργού ιλύος

| ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ | ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ |
|---|--|
| Χαμηλή απαιτούμενη ενέργεια Απλούστερη λειτουργία Μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα σε μεταβολές ρυπαντικού φορτίου Δεν εμφανίζονται προβλήματα συσσωμάτωσης της παραγόμενης ιλύος Το εναπομένον BOD, οφείλεται κυρίως στην αιωρούμενη βιολογική ιλύ και επομένως η περαιτέρω εφαρμογή χημικής κατακρήμνισης οδηγεί σε υψηλά επίπεδα απορρύπανσης. Είναι οικονομικότερο όταν απαιτείται μείωση του οργανικού φορτίου (ως BOD) μικρότερη από 60% | Η εκροή μετά την επεξεργασία με βιοφίλτρο περιέχει μεγάλες ποσότητες μερικώς αποδομημένων ουσιών και επομένως απαιτείται επιπλέον επεξεργασία πριν την τελική διάθεση. Η παραγόμενη ιλύς, μετά την τελική καθίζηση, περιέχει υψηλό ποσοστό οργανικού φορτίου. Έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στην περιεκτικότητα του αποβλήτου σε κολλοειδή στερεά (φράξιμο πληρωτικού υλικού). Για μείωση BOD μεγαλύτερη από 60% είναι αντιοικονομικό. |

1.4.1.4 Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι

Οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (rotating biological discs) βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με τα αερόβια φίλτρα, με τη διαφορά ότι έρχονται σε επαφή με το απόβλητο και τον αέρα περιοδικά. Οι βιοδίσκοι είναι βυθισμένοι στο απόβλητο κατά 40-45% και περιστρέφονται πολύ αργά. Κατά την περιστροφή αυτή, λαμβάνεται και το απαιτούμενο για τη δράση των μικροοργανισμών οξυγόνο. Επιπλέον, η αργή περιστροφή ευνοεί την ανάπτυξη του ζελατινώδους στρώματος στην επιφάνεια του δίσκου και στο οποίο βρίσκονται οι μικροβιακοί πληθυσμοί που οξειδώνουν το απόβλητο. Η μέθοδος

των περιστρεφόμενων δίσκων απαιτεί μικρή κατανάλωση ενέργειας, εξασφαλίζει σταθερότητα στη λειτουργία του συστήματος, οδηγεί στη δημιουργία μικρής ποσότητας ιλύος και έχει ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης (μείωση BOD κατά 80-90%).

Μέχρι σήμερα δεν έχουν αναφερθεί περιπτώσεις εφαρμογής των βιολογικών δίσκων για την επεξεργασία αποβλήτων σε ευρεία κλίμακα, παρά μόνο πιλοτικές εφαρμογές τους, σε συνδυασμό με σύστημα ενεργού ιλύος. Στην περίπτωση αυτή, η βιολογική επεξεργασία βασίζεται σε ένα σταθερό βακτηριακό πληθυσμό που αναπτύσσεται στην επιφάνεια των δίσκων και ένα αιωρούμενο πληθυσμό που υπάρχει στη δεξαμενή ενεργού ιλύος.

1.4.2 Αναερόβια βιολογική επεξεργασία

Η αναερόβια επεξεργασία βασίζεται στην παρουσία μικροοργανισμών οι οποίοι αναπτύσσονται απουσία οξυγόνου, μετατρέποντας το οργανικό φορτίο κυρίως σε μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα προϊόντα μεταβολισμού. Η επεξεργασία αποτελείται από δύο φάσεις: Στην πρώτη κυριαρχεί η παραγωγή οξέων (οξυγενές στάδιο), όπου αναερόβια βακτήρια διασπούν σύνθετες οργανικές ενώσεις σε απλούστερες π.χ. οξικό οξύ και άλλα οξέα χαμηλού μοριακού βάρους. Στη δεύτερη φάση (μεθανογένεση), τα μεθανογενή βακτήρια παράγουν μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα με τη διάσπαση των απλών οργανικών οξέων. Η παραγωγή οξέων κατά το οξυγενές στάδιο οδηγεί σε πτώση του pH, ενώ το στάδιο της μεθανογένεσης απαιτεί pH από 6,5 έως 7,0. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να εξασφαλίζεται η επιθυμητή περιοχή pH έτσι ώστε να είναι σταθεροποιημένη η παραγωγή μεθανίου. Η επεξεργασία γίνεται με αργούς ρυθμούς και σε ελεγχόμενο θερμοκρασιακό περιβάλλον, αφού η ανάπτυξη και η δράση των αναερόβιων μικροοργανισμών ευνοείται σε μεσόφιλες περιοχές ($T=35\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Γενικά, οι αναερόβιες επεξεργασίες είναι κατάλληλες για την επεξεργασία αποβλήτων που έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Μια τυπική εγκατάσταση αναερόβιας επεξεργασίας δύο σταδίων έχει ως εξής: Στο πρώτο στάδιο, η δεξαμενή είναι κλειστή, υπάρχει πλήρης ανάμιξη λάσπης σε αυτή και γίνεται ανακύκλωση του αποβλήτου ή/και του παραγόμενου αερίου. Η δεξαμενή θερμαίνεται και το παραγόμενο αέριο συλλέγεται και

χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του συστήματος. Στο δεύτερο στάδιο, η δεξαμενή είναι ανοικτή, δε θερμαίνεται και χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό του επεξεργασμένου αποβλήτου από την παραγόμενη λάσπη. Ένας τρόπος μείωσης του απαιτούμενου χρόνου παραμονής, είναι η ανακύκλωση μέρους της λάσπης που καθιζάνει στη δεύτερη δεξαμενή.

Για μείωση του κόστους με εφαρμογή αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας, χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες U.A.S.B. (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Digester) καθώς και αναερόβια φίλτρα. Όπως και στην περίπτωση του αερόβιου φίλτρου, έτσι και στο αναερόβιο η επεξεργασία στηρίζεται στην ύπαρξη ενός στρώματος βακτηρίων (αναερόβιων) το οποίο αναπτύσσεται πάνω στην επιφάνεια του υλικού πλήρωσης. Βασικό πλεονέκτημα της χρήσης του αναερόβιου φίλτρου είναι η παραγωγή μικρής ποσότητας νέας βιομάζας και έτσι δεν απαιτείται συχνή έκπλυση του μέσου πλήρωσης, ούτε εμφανίζονται σημαντικά προβλήματα φραξίματός του. Παρ' όλα αυτά, όμως, ελάχιστα στοιχεία υπάρχουν για την εφαρμογή της μεθόδου των αναερόβιων φίλτρων σε ευρεία κλίμακα (Tchobanoglous et al. 2003).

1.4.3 Σύγκριση αερόβιας με αναερόβια βιολογική επεξεργασία

Στον Πίνακα 2 γίνεται μια σύγκριση ανάμεσα στην αναερόβια και την αερόβια βιολογική επεξεργασία. Από τη σύγκριση αυτή φαίνεται ότι το σημαντικότερο πλεονέκτημα της αναερόβιας επεξεργασίας είναι η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της από το παραγόμενο μεθάνιο.

Πίνακας 2. Σύγκριση της εφαρμογής αναερόβιας σε σχέση με την εφαρμογή αερόβιας επεξεργασίας

| ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ | ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Δεν υπάρχουν απαιτήσεις σε οξυγόνο και έτσι το κόστος της μεθόδου είναι πολύ μικρότερο. ✓ Μόνο 10 έως 15% του οργανικού φορτίου μετατρέπεται σε βιομάζα, γεγονός που σημαίνει: α) μικρή ποσότητα παραγόμενης λάσπης και επομένως δεν υπάρχει πρόβλημα διάθεσής της. β) το υπόλοιπο 80 έως 85% μετατρέπεται σε βιοαέριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί βοηθώντας το ενεργειακό ισοζύγιο. ✓ Οι απαιτήσεις για προσθήκη θρεπτικών είναι μικρότερες ✓ Η αναερόβια λάσπη είναι καλύτερο εδαφοβελτιωτικό από την αερόβια, αρκεί να απομακρυνθούν τα τοξικά μέταλλα. ✓ Η αναερόβια λάσπη έχει καλύτερα χαρακτηριστικά καθίζησης από την αερόβια. | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Η ανάγκη για λειτουργία της σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 30°C, ώστε να υπάρχουν σημαντικές δράσεις, οδηγεί συχνά σε αύξηση του κόστους. ✗ Η πολυπλοκότητα της περιόδου έναρξης και η ανάγκη αυστηρού ελέγχου των λειτουργικών συνθηκών. ✗ Η χαμηλότερη απόδοσή της όσον αφορά την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων. ✗ Η ανάγκη για συμπληρωματική επεξεργασία προκειμένου να επιτευχθούν σημαντικές απομακρύνσεις όλων των ρυπαντικών παραμέτρων |

1.5 Κροκίδωση - Συσσωμάτωση – Χημική κατακρήμνιση

Η χημική κατακρήμνιση βασίζεται στη λειτουργία της συσσωμάτωσης και κροκίδωσης των κολλοειδών σωματιδίων που υπάρχουν αρχικά ή δημιουργούνται κατά την επεξεργασία. Για να απομακρυνθούν τα κολλοειδή πρέπει να εξασφαλιστεί η συνένωσή τους και ο σχηματισμός μεγαλύτερων μορίων με πιο αποτελεσματική καθίζηση. Η αυθόρμητη συνένωση των σωματιδίων, η οποία αναμένεται βάση των δυνάμεων έλξης Van der Waals, εξουδετερώνεται από ηλεκτρικές απωστικές δυνάμεις. Οι δυνάμεις αυτές αυξάνονται όσο μικρότερα είναι τα τεμάχια ύλης (διάμετρος κολλοειδούς 1 mm), λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας και των κολλοειδών ιδιοτήτων που αυτά παρουσιάζουν. Η συσσωμάτωση και κροκίδωση είναι οι διεργασίες που αποσταθεροποιούν τα κολλοειδή διαλύματα και συνενώνουν τα λεπτά τεμάχια με

αποτέλεσμα την καθίζηση τους. Για να γίνει κατανοητή η διεργασία συσσωμάτωσης-κροκίδωσης, θεωρείται αναγκαία η αναφορά στα κολλοειδή και τις ιδιότητές που αυτά παρουσιάζουν.

Τα κολλοειδή χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα υδρόφοβα και τα υδρόφιλα. Η σταθερότητα των υδροφόβων κολλοειδών οφείλεται στις απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις, ενώ των υδρόφιλων οφείλεται περισσότερο στη συγγένεια τους με το νερό (διασκορπίζονται εύκολα στη μάζα του) και λιγότερο στα ηλεκτρικά φορτία που διαθέτουν. Ένας επιπλέον λόγος σταθερότητας των κολλοειδών είναι η προστασία που τους παρέχουν ορισμένες ουσίες που προσροφώνται σε αυτά.

Σαν αποτέλεσμα της διάλυσης, τα κολλοειδή σωματίδια θεωρούνται ως μερικώς ιονισμένα επιφανειακά. Απόδειξη αποτελεί η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου, η οποία προκαλεί κίνηση των σωματιδίων. Η θεωρητική ερμηνεία αυτών των ηλεκτροκινητικών φαινομένων οδήγησε στην υπόθεση κατά την οποία, όταν ένα κολλοειδές σωματίδιο φορτιστεί τότε προσκολλώνται στην επιφάνεια του ιόντα με αντίθετο φορτίο, σχηματίζοντας ένα συμπαγές στρώμα (στρώμα Stern). Γύρω από το συμπαγές αυτό στρώμα σχηματίζεται ένα πιο χαλαρό, που αποτελείται από ένα διάχυτο νέφος ιόντων. Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ του στρώματος Stern και της κυρίως μάζας του διαλύματος ορίζεται ως δυναμικό Ζήτα (Zeta potential) ή ηλεκτροκινητικό δυναμικό. Το δυναμικό αυτό δρα παρεμποδίζοντας την συνένωση των κολλοειδών. Άρα για να γίνει συνένωση των κολλοειδών πρέπει το διάλυμα να αποσταθεροποιηθεί είτε με ελάττωση του δυναμικού-Z είτε με παρεμπόδιση της δράσης του (Sincero & Sincero 2002).

Η αποσταθεροποίηση βασίζεται σε δύο βασικές λειτουργίες, τη συσσωμάτωση και την κροκίδωση. Συσσωμάτωση (floculation) είναι η διεργασία κατά την οποία τα κολλοειδή και λεπτομερή αιωρούμενα υλικά ενός υδατικού διαλύματος προετοιμάζονται με κατάλληλα μέσα για συνένωση. Πρακτικά, η συσσωμάτωση αποτελεί τη διεργασία αποσταθεροποίησης του σταθερού κολλοειδούς διαλύματος. Κροκίδωση (coagulation) είναι η συνένωση των αποσταθεροποιημένων κολλοειδών και η δημιουργία μεγάλων σχηματισμών (κροκίδων). Οι μηχανισμοί με τους οποίους επιτυγχάνεται η συσσωμάτωση και κροκίδωση των κολλοειδών είναι οι εξής:

i) Αμοιβαία Συσσωμάτωση:

Με την προσθήκη, συνήθως, μεταλλικών οξειδίων (π.χ. θειικού αργιλίου) παρουσιάζονται πολυσθενή θετικά ιόντα τα οποία εξουδετερώνουν τα αρνητικά φορτισμένα κολλοειδή.

ii) Ηλεκτροστατική συσσωμάτωση:

Με την προσθήκη ηλεκτρολυτών, προκαλείται αποσταθεροποίηση των κολλοειδών λόγω μείωσης της ηλεκτροστατικής άπωσης (μείωση του δυναμικού-Z). Η ποσότητα του προστιθέμενου ηλεκτρολύτη είναι ανάλογη του δυναμικού-Z και όχι της ποσότητας των κολλοειδών και εξαρτάται από το σθένος των ιόντων του κροκιδωτικού μέσου. Η ικανότητα κροκίδωσης αυξάνει γεωμετρικά με το σθένος του προστιθέμενου ιόντος π.χ. $\text{Na}^{1+} : \text{Mg}^{2+} : \text{Al}^{3+} = 1 : 60 : 600$.

Η πιο αποτελεσματική κροκίδωση πραγματοποιείται όταν το δυναμικό-Z γίνεται μηδέν (ισοηλεκτρικό σημείο), ωστόσο είναι αρκετά ικανοποιητική και για τιμές του δυναμικού $\pm 0.5 \text{ mV}$ (Sincero & Sincero 2002).

iii) Συσσωμάτωση με προσρόφηση

Στην περίπτωση αυτή, η αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς διαλύματος γίνεται με την προσθήκη πολυηλεκτρολυτών οι οποίοι μεταβάλλουν το φορτίο των κολλοειδών, μέσω του μηχανισμού της προσρόφησης.

iv) Συσσωμάτωση με γεφύρωση:

Στην περίπτωση αυτή η αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς διαλύματος είναι αποτέλεσμα της προσθήκης μακρομορίων ή πολυηλεκτρολυτών, που προσροφώνται στην επιφάνεια των κολλοειδών, δημιουργώντας γεφυρώσεις.

v) Συσσωμάτωση με σάρωση:

Η σάρωση των κολλοειδών σωματιδίων γίνεται από τα αδιάλυτα υδροξείδια των μετάλλων τα οποία καθώς καθιζάνουν αργά, συμπαρασύρουν τα αιωρούμενα σωματίδια. Τα κυριότερα χημικά μέσα που χρησιμοποιούνται για τη συσσωμάτωση και κροκίδωση παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

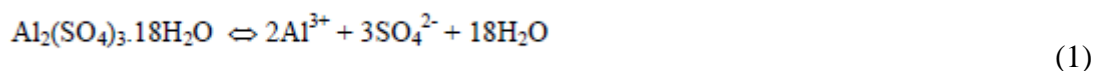
Πίνακας 3. Χημικά μέσα συσσωμάτωσης - κροκίδωσης

| Κροκιδωτικό μέσο | Χημικός τύπος | Μοριακό βάρος (g/mol) | Ισοδύναμο βάρος |
|----------------------|---|-----------------------|-----------------|
| Θευκό αργίλιο (alum) | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ | 666.7 | 111.1 |
| Θευκός σίδηρος | $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ | 400 | 66.7 |
| Θευκός υποσίδηρος | $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 278 | 139 |
| Χλωριούχος σίδηρος | FeCl_3 | 162.1 | 54.1 |
| Αργλικό νάτριο | NaAlO_2 | 82 | --- |
| Υδράσβεστος (lime) | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 74.1 | 37 |
| Θευκό οξύ | H_2SO_4 | 98.1 | 49 |
| Διοξείδιο του θείου | SO_2 | 64.1 | --- |

Οι μηχανισμοί με τους οποίους δρουν τα κυριότερα χημικά μέσα κατά την κροκίδωση και χημική κατακρήμνιση περιγράφονται αναλυτικά ως εξής:

Θευκό αργίλιο (alum) (Pizzi 2011)

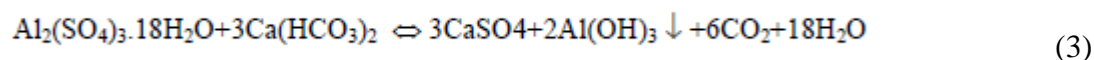
Με την προσθήκη θευκού αργιλίου, γίνεται αρχικά διάλυση και ιονισμός του κατά την αντίδραση:



Στη συνέχεια, τα διαθέσιμα Al^{3+} εξουδετερώνουν με το θετικό τους φορτίο το αντίστοιχο αρνητικό φορτίο των κολλοειδών (αμοιβαία συσσωμάτωση). Επιπλέον, τα ιόντα αργιλίου αντιδρούν με τα υδροξυλιόντα του νερού κατά την αντίδραση:



Επίσης, το θευκό αργίλιο μπορεί να αντιδράσει απευθείας με τα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου (και μαγνησίου) κατά την αντίδραση:

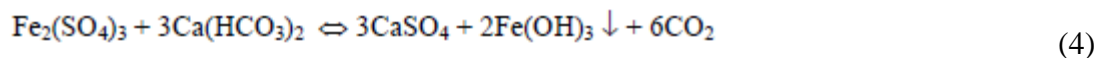


Και στις δύο περιπτώσεις, τα σχηματιζόμενα αδιάλυτα ζελατινώδη ιζήματα παρασύρουν τα αιωρούμενα λεπτομερή σωματίδια (συσσωμάτωση με σάρωση). Από την τελευταία αντίδραση γίνεται φανερό ότι με την επιπλέον προσθήκη υδρασβέστου (συνδυασμός

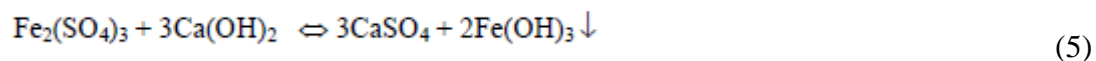
alum και lime), αυξάνεται η ποσότητα του σχηματιζόμενου αδιάλυτου ιζήματος υδροξειδίου του αργιλίου, $Al(OH)_3$, άρα και η ικανότητα κατακρήμνισης των κολλοειδών.

Θεικός σίδηρος (Pizzi 2011)

Ο θεικός σίδηρος συμπεριφέρεται όπως και το θεικό αργίλιο: Με τη διάλυσή του ελευθερώνονται Fe^{3+} , τα οποία εξουδετερώνουν τα ηλεκτρικά φορτία των κολλοειδών (αμοιβαία συσσωμάτωση). Αντιδρά με τα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου κατά την αντίδραση:



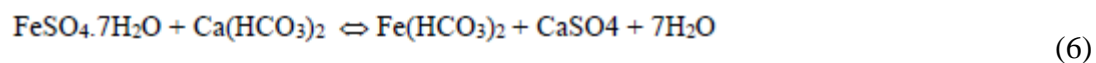
ενώ ο συνδυασμός του με υδράσβεστο οδηγεί στην αντίδραση:



Το σχηματιζόμενο, και στις δύο περιπτώσεις, αδιάλυτο ίζημα υδροξειδίου του τρισθενούς σιδήρου, $Fe(OH)_3$ συμπαρασύρει τα αιωρούμενα κολλοειδή σωματίδια (συσσωμάτωση με σάρωση).

Θεικός υποσίδηρος (Sincero & Sincero 2002)

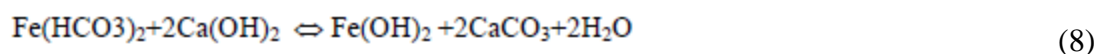
Κατά κανόνα, ο θεικός υποσίδηρος χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με υδράσβεστο για το σχηματισμό κροκίδων. Η αντίδρασή του αρχικά, με τα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου δίνει:



και



Με την περαιτέρω προσθήκη υδρασβέστου, ο διττανθρακικός υποσίδηρος γίνεται:



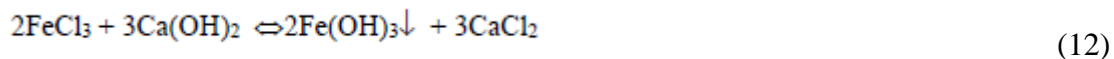
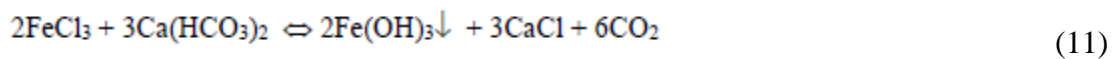
Στη συνέχεια, το σχηματισθέν υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου, $Fe(OH)_2$ οξειδώνεται από το διαλυμένο οξυγόνο σε υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου, $Fe(OH)_3$, που είναι η επιθυμητή τελική μορφή:



Η οξειδωση ευνοείται από την υψηλή τιμή του pH η οποία οφείλεται κατά μεγάλο μέρος στην προσθήκη της υδρασβέστου. Παρατηρείται, ότι και στην περίπτωση αυτή λαμβάνουν χώρα τόσο η αμοιβαία συσσωμάτωση (Fe^{3+}) όσο και η συσσωμάτωση με σάρωση ($\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$).

Χλωριούχος σίδηρος

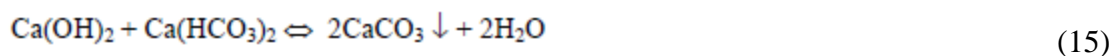
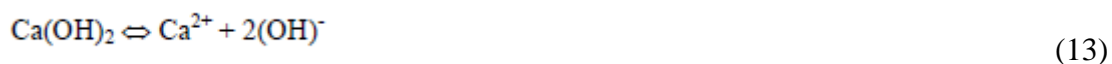
Ο χλωριούχος σίδηρος, όταν διαλυθεί στο νερό, υδρολύεται ή αντιδρά με τα όξινα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου ή με την προστιθέμενη υδράσβεστο, κατά τις αντιδράσεις:



Και στις τρεις περιπτώσεις παράγεται ίζημα υδροξειδίου του τρισθενούς σιδήρου, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, το οποίο ευνοεί τη συσσωμάτωση με σάρωση.

Υδράσβεστος (lime)

Όταν χρησιμοποιηθεί ως μέσο συσσωμάτωσης μόνο υδράσβεστος, εκτός από την παρουσία των δισθενών θετικών ιόντων του ασβεστίου (Ca^{2+}) γίνεται αντίδραση με το ελεύθερο ανθρακικό οξύ και τα διττανθρακικά άλατα παράγοντας αδιάλυτο ανθρακικό ασβέστιο, που αποτελεί τους πυρήνες κροκιδώσεως των κολλοειδών:



Λόγω των πολλών παραλλήλων αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα, απαιτείται αρκετή ποσότητα υδρασβέστου για να ικανοποιηθούν όλες οι απαιτήσεις. Η ποσότητα αυτή

περιορίζεται σημαντικά, αν γίνει συνδυασμός της χρήσης του με άλλα κροκιδωτικά μέσα (π.χ. θευκό αργίλιο).

1.6 Σκοπός της εργασίας

Το Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών ασχολείται με την διερεύνηση καινοτόμων τεχνολογιών για την επεξεργασία λυμάτων, με μειωμένες απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας. Η έρευνα εστιάζεται σε διεργασίες απομάκρυνσης στερεών από υγρά απόβλητα, ανάντη των βιολογικών διεργασιών, με χρήση συνδυασμού μικροεσχαρών και φίλτρων. Η χρήση κροκιδωτικών, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην βελτιστοποίηση της απομάκρυνσης στερεών. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της επίδρασης των κροκιδωτικών των θρομβωτικών και του συνδιασμού τους καθώς και η εύρεση του βέλτιστου μίγματος κροκιδωτικών /συσσωματωτικών για την κροκίδωση αστικών υγρών αποβλήτων που προέρχονται από την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού της πόλης των Χανίων. Ο βαθμός απόδοσης των κροκιδωτικών στο απόβλητο εξετάστηκε έπειτα από μία σειρά πειραματικών μετρήσεων πριν και μετά την κροκίδωση. Στόχος είναι αρχικά να βρεθεί η βέλτιστη συγκέντρωση κροκιδωτικού (PAC) καθώς επίσης και τεσσάρων διαδορετικών συσσωματωτικών. Επιπλέον σκοπός της έρευνας είναι να επιλεγεί και το κατάλληλο μίγμα συσσωματωτικού – κροκιδωτικού.

Τα δείγματα των αποβλήτων λαμβάνονταν από την υπερχίληση της πρωτοβάθμιας καθίζησης έτσι ώστε να εξεταστεί η περαιτέρω επεξεργασία τους πριν αυτά εισέλθουν στην δευτεροβάθμια επεξεργασία. Αυτό διότι ο απώτερος σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εξέταση της μείωσης κόστους επεξεργασίας μετά την πρωτοβάθμια καθίζηση με χρήση κροκιδωτικών με σκοπό το προϊόν εξόδου να απαιτεί μικρότερο χρόνο παραμονής (ή και καθόλου επεξεργασία) στην δεξαμενή αερισμού, η οποία είναι αρκετά κοστοβόρα. Για την εξέταση του βαθμού απόδοσης, καταγράφηκε οπτικά ο ρυθμός και ο βαθμός κροκίδωσης (καθίζησης των στερεών στο λύμα) και

καταγράφηκε η θολερότητα των αιωρημάτων συναρτήσει του χρόνου, καθώς επίσης πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του COD, του BOD, των TSS και του TOC στα δείγματα πριν και μετά την κροκίδωση. Τέλος, με βάση τους περισσότερο αποδοτικούς συνδυασμούς κροκιδωτικών/συσσωματωτικών, εξετάστηκε το κόστος χρήσης τους και ποιες θα μπορούσαν να είναι οι πιο οικονομικά συμφέρουσες επιλογές σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων όπως αυτή των Χανίων.

2 Εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, τα πειράματα κροκίδωσης έγιναν σε απόβλητο από την υπερχείλιση της πρωτοβάθμιας καθίζησης της εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού της πόλης των Χανίων. Για τον λόγο αυτό, ακολουθεί περιγραφή του βιολογικού καθαρισμού των Χανίων.

2.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Πόλεως Χανίων

Η εγκατάσταση που βρίσκεται σε λειτουργία από το 1995 προβλέπει την επεξεργασία αστικών λυμάτων που αντιστοιχούν σε 105.500 κατοίκους, βιομηχανικά απόβλητα που αντιστοιχούν σε 5.000 ισοδυνάμους κατοίκους και βοθρολύματα που αντιστοιχούν σε 7.000 ισοδυνάμους κατοίκους, δηλαδή συνολικά θα εξυπηρετεί 117.500 ισοδυνάμους κατοίκους και 26.000 m³/d.

Η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται με την μέθοδο της ενεργοποιημένης λάσπης και η επεξεργασία της λάσπης με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης με παράλληλη αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για την απομάκρυνση του BOD₅ κατά 96% και των αιωρούμενων στερεών κατά 95%

Τα βασικά τμήματα της εγκατάστασης είναι:

- ❖ Αντλιοστάσιο Εισόδου Εγκατάστασης

Τα λύματα αφού περάσουν μέσω δύο εσχάρων χονδρόκοκκων ανυψώνονται μέσω τεσσάρων αντλιών Αρχιμήδη (η μία είναι εφεδρική) κατά 5.60 m και από

εκεί συνεχίζουν μέχρι την έξοδο με φυσική ροή. Η παροχή κάθε αντλίας είναι 830 m³/h.



Σχήμα 2.1.1. Αντλιοστάσια εισόδου εγκατάστασης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Εγκατάσταση Υποδοχής Βοθρολυμάτων

Η δεξαμενή βοθρολυμάτων αποτελείται από 2 θαλάμους συνολικού όγκο 420 m³.

Πριν τις δεξαμενές έχει εγκατασταθεί συγκρότημα προεπεξεργασίας των βοθρολυμάτων (εσχαρισμός, εξάμμωση).

Αυτό δέχεται μέσω τριών στεγανών υποδοχών τα βοθρολύματα των κατοίκων που δεν είναι συνδεδεμένοι με το δίκτυο αποχέτευσης της πόλεως καθώς και τα βοθρολύματα όλου του υπόλοιπου Νομού, τα οποία στη συνέχεια οδηγούνται προς τις δεξαμενές βοθρολυμάτων.



Σχήμα 2.1.2. Εγκαταστάσεις υποδοχής βοθρολυμάτων βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Εσχάρωση

Η εσχάρωση γίνεται με τρεις αυτόματες εσχάρες (η μία είναι εφεδρική) με διάκενο μεταξύ ράβδων 6mm. Η ενεργοποίηση του περιστρεφόμενου μηχανισμού απομάκρυνσης εσχαρωμάτων γίνεται με αισθητήρια διαφοράς πίεσεως αέρα οπότε τα εσχαρώματα αφού συμπιεστούν μεταφέρονται σε κάδο συλλογής μέσω μεταφορικής ταινίας.



Σχήμα 2.1.3. Διατάξεις εσχάρωσης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Εξάμμωση - Αφαίρεση Λιπών

Λειτουργούν δύο δεξαμενές εξάμμωσης, αφαίρεσης λιπών. Ο συνολικός όγκος της κάθε δεξαμενής είναι 118m^3 από τα οποία τα 75m^3 είναι περιοχή εξάμμωσης και τα 43m^3 ο όγκος της περιοχής αφαίρεσης λιπών.

Στα λύματα διοχετεύεται αέρας μέσω 11 κεραμικών διαχυτήρων. Με προβλεπόμενο χρόνο παραμονής των λυμάτων στην περιοχή εξάμμωσης μεγαλύτερο από 7min επιτυγχάνεται η αφαίρεση του 90% του αριθμού των σωματιδίων που έχουν διάμετρο μεταξύ 0,16 και 0,20 mm.. Τα επιπλέοντα υλικά απομακρύνονται μέσω ειδικού μηχανισμού και συγκεντρώνονται σε φρεάτιο συλλογής. Επίσης λειτουργεί ειδική διάταξη έκπλυσης οργανικών και απομάκρυνσης της υγρασίας από την άμμο.



Σχήμα 2.1.4. Διατάξεις εξάμμωσης και λιποσυλλεκτών βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Πρωτοβάθμια Καθίζηση

Υπάρχουν δύο δεξαμενές, διαμέτρου 22 m η καθεμία. Τα λύματα εισέρχονται στο κέντρο της δεξαμενής και εξέρχονται ακτινικά μέσω υπερχειλιστών. Η κάθε δεξαμενή είναι εφοδιασμένη με περιστρεφόμενη γέφυρα και φέρει ξέστρο στον πυθμένα για να παρασύρει την λάσπη στο κεντρικό φρεάτιο. Η απόδοση της πρωτοβάθμια καθίζηση είναι απομάκρυνση BOD₅ κατά 33% και αιωρούμενων στερεών κατά 60%.



Σχήμα 2.1.5. Εγκαταστάσεις πρωτοβάθμιας καθίζησης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων

❖ Δεξαμενή Επιλογής

Στην δεξαμενή που έχει όγκο 485 m^3 αναμιγνύονται υπό ανοξικές συνθήκες τα πρωτοβάθμια λύματα με την ανακυκλοφορία από τις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.

Η δεξαμενή έχει κατασκευαστεί για να εμποδίσει την ανάπτυξη ανεπιθύμητων νηματοειδών βακτηριδίων στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης.



Σχήμα 2.1.6. Εγκαταστάσεις δεξαμενών επιλογής του βιολογικού καθαρισμού της πόλης των Χανίων.

❖ Δεξαμενές Αερισμού

Τα λύματα από την δεξαμενή επιλογής οδηγούνται μέσω μεριστών ροής στις τέσσερις δεξαμενές αερισμού που κάθε μία έχει διαστάσεις 60 m μήκος, $8,4 \text{ m}$ πλάτος και $4,50 \text{ m}$ ωφέλιμο βάθος. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχει ανοξική και αερόβια ζώνη. Τα λύματα οξυγονώνονται μέσω διαχυτήρων μεμβράνης λεπτής φυσαλλίδας που βρίσκονται στον πυθμένα των δεξαμενών. Παράλληλα με την αφαίρεση του οργανικού φορτίου γίνεται και νιτρικοποίηση. Για την απομάκρυνση του αζώτου γίνεται μερική απονιτρικοποίηση στην ανοξική ζώνη μέσω ανακυκλοφορίας των νιτρικοποιημένων εκροών. Ο συνολικός όγκος των δεξαμενών είναι 9072 m^3 .



Σχήμα 2.1.7. Δεξαμενές αερισμού βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Δεξαμενές Δευτεροβάθμιας Καθίζησης

Υπάρχουν τρεις δεξαμενές διαμέτρου 33 m και όγκου 2.130 m³ η μία. Η ροή εισόδου των λυμάτων έχει την ίδια μορφή με την πρωτοβάθμια ενώ για την εκροή οι δύο (παλαιότερες δεξαμενές) φέρουν περιμετρικούς επιφανειακούς υπερχειλιστές και η νεώτερη υποεπιφανειακούς ακτινικούς σωλήνες υπερχείλισης. Η πλεονάζουσα ίλος αντλείται προς την μηχανική πάχυνση και η ίλος ανακυκλοφορίας αντλείται προς την δεξαμενή επιλογής.



Σχήμα 2.1.8. Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Δεξαμενή Χλωρίωσης

Η απολύμανση των λυμάτων επιτυγχάνεται μέσω τροφοδοσίας διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου με 15% ενεργό χλώριο. Η δεξαμενή χλωρίωσης έχει διαστάσεις 24m μήκος, 10m πλάτος και 2.5m βάθος δίνοντας ωφέλιμο όγκο 600m³. Ο χρόνος επαφής είναι 30 min με σχεδιαζόμενη συγκέντρωση.

Κοπρανώδη κολοβακτηριδίων μετά την απολύμανση της τάξεως 176/100 ml. Στο τέλος την δεξαμενής χλωρίου γίνεται και αποχλωρίωση των λυμάτων. Ο υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας διαμέτρου 710 mm έχει μήκος 110 m και καταλήγει σε βάθος 16m.



Σχήμα 2.1.9. Δεξαμενές χλωρίωσης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Μηχανική Πάχυνση της Λάσπης

Η δευτεροβάθμια λάσπη υφίσταται πάχυνση με δύο φυγόκεντρους δυναμικότητας κάθε μίας 25 m³/h και 175 kg/h και ακολούθως οδηγείται στην προπάχυνση, ενώ υπάρχει δυνατότητα απ' ευθείας παροχέτευσης και στους χωνευτές ή στην μεταπάχυνση.



Σχήμα 2.1.10. Διάταξη μηχανικής πάχυνσης της λάσπης στο βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων.

❖ Προπάχυνση

Πρωτοβάθμια & Δευτεροβάθμια λάσπη τροφοδοτείται στο κέντρο δύο δεξαμενών διαμέτρου 8.50m έκαστη. Η ιλύς κινούμενη ακτινικά προς την περιφέρεια της δεξαμενής καθιζάνει υποβοηθούμενη από μια περιστρεφόμενη γέφυρα που φέρει καθέτους ράβδους υπό μορφή κτένας. Ο κάθε προπαχυντής έχει όγκο 200m^3 . Από τον πυθμένα των δεξαμενών η λάσπη τροφοδοτείται προς τους χωνευτές.



Σχήμα 2.1.11 Εγκαταστάσεις προπάχυνσης βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Αναερόβιοι Χωνευτές

Η παχυμένη ιλύς με δύο περιστροφικές ογκομετρικές αντλίες (Mohno) μεγίστης παροχής $22 \text{ m}^3/\text{h}$ και μανομετρικού 40m αντλείται προς τους δύο χωνευτές συνολικού όγκου 3100 m^3 αφού θερμανθεί μέσω δύο εναλλακτών σε θερμοκρασία 35°C (Μεσοφιλική ζώνη). Με την αναερόβια χώνευση επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση της λάσπης με την αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων απουσία αέρος. Παράλληλα το παραγόμενο αέριο (βιοαέριο) που περιέχει μεθάνιο σε ποσοστό περίπου 70% αφού υποστεί αποθείωση μεταφέρεται στο αεριοφυλάκιο μεταβλητού διαμέτρου 12.80 m και όγκου 650 m^3 . Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για την θέρμανση των χωνευτών και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που επαναχρησιμοποιείται για τις ανάγκες του έργου.



Σχήμα 2.1.12. Αναερόβιοι χωνευτές βιολογικού καθαρισμού πόλης Χανίων.

❖ Μεταπάχυνση

Η σταθεροποιημένη ιλύς οδηγείται από τους χωνευτές σε δύο κυκλικές δεξαμενές διαμέτρου 11 m οι οποίες λειτουργούν όπως οι δεξαμενές προπάχυνσης. Η λάσπη παχύνεται και στη συνέχεια οδηγείται προς αφυδάτωση. Η κάθε δεξαμενή έχει όγκο 300 m^3 .

❖ Αφυδάτωση

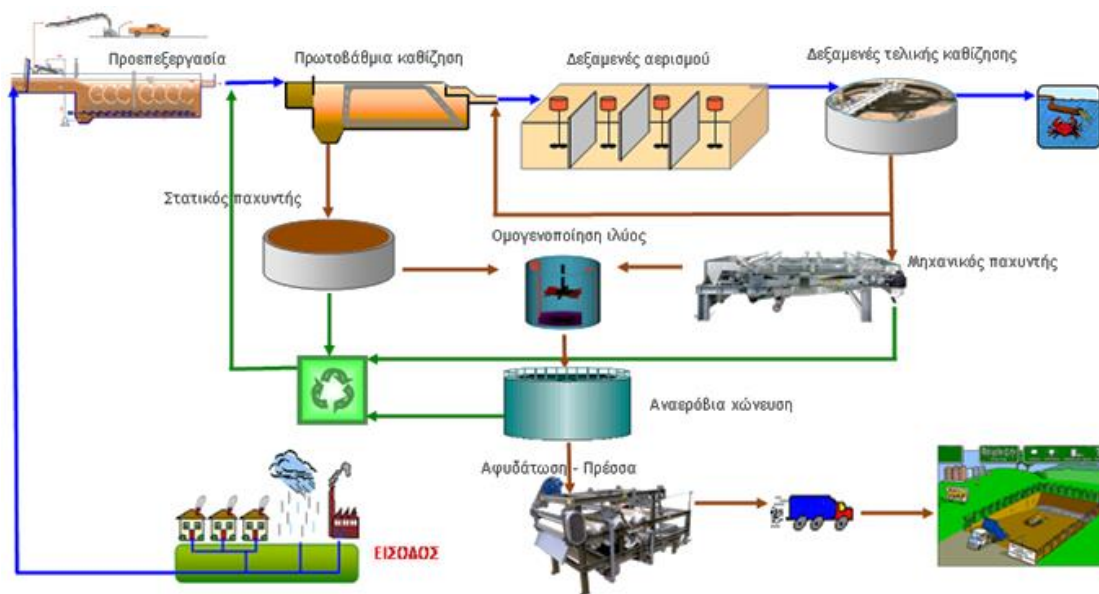
Λάσπη από την μεταπάχυνση τροφοδοτείται προς την αφυδάτωση. Η αφυδάτωση επιτυγχάνεται με δύο ταινιοφιλτρόπρεσες με πλάτος ιμάντα 2 m και

μέγιστο ωριαίο φορτίο 848 kgss/h μετά από κροκίδωση της λάσπης με πολυηλεκτρολύτη. Η συγκέντρωση στερεών της αφυδατωμένης λάσπης είναι περίπου 20%.

❖ Συγκρότημα Απόσμησης

Η μονάδα απόσμησης έχει δυναμικότητα 45.000 m³/h με σκοπό την μείωση των οσμών που παράγονται από το έργο σε ποσοστό 99%. Η απόσμηση γίνεται με πλυντηρίδα τριών σταδίων με την χρήση χημικών. Η αμμωνία και το υδρόθειο απομακρύνονται από τον αέρα με την χρήση υδατικών διαλυμάτων θειικού οξέος, καυστικού νατρίου και υπεροξειδίου του υδρογόνου. Η απόσμηση εξυπηρετεί τα έργα εισόδου, τα φρεάτια και τις δεξαμενές λάσπης και την μονάδα αφυδάτωσης.

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής της εγκατάστασης παρουσιάζεται παρακάτω;



Σχήμα 2.1.13. Σχεδιαγραμματική αναπαράσταση ροής ΕΕΛ Χανίων.

3 Πειραματική διαδικασία - Αρχές μεθόδων - Όργανα

3.1 Γενικά

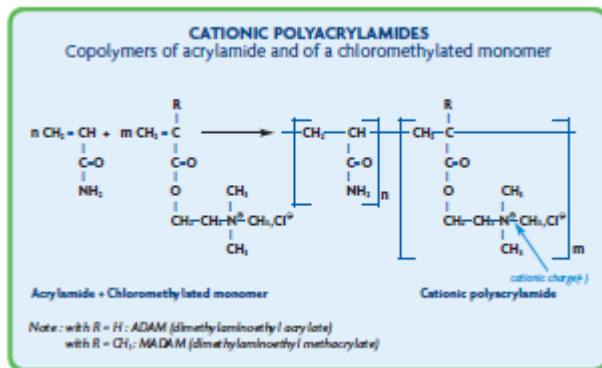
Η λήψη δειγμάτων για τη διενέργεια μετρήσεων και αναλύσεων γινόταν με βάση πρότυπες μεθόδους, για να εξασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα και εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Σκοπός της δειγματοληψίας είναι η συλλογή τμήματος από το προς εξέταση απόβλητο, δηλαδή από τη δεξαμενή μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, σε μικρές ποσότητες (μπουκάλια πλαστικά των 1,5 λίτρων) που επαρκούν για όλες τις μετρήσεις και αναλύσεις που θα διεξαχθούν. Από τη στιγμή που ολοκληρώνεται η δειγματοληψία, η σύστασή του πρέπει να παραμένει σταθερή. Για το σκοπό αυτό, λαμβάνουν χώρα κατάλληλες διαδικασίες συντήρησης. Το κυρίως τμήμα της όλης διαδικασίας περιελάμβανε δύο μέρη, την λήψη δείγματος λυμάτων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από την Εγκατάσταση Βιολογικού Καθαρισμού της πόλης των Χανίων, και την επεξεργασία στο εργαστήριο δηλαδή την κροκίδωση ή την ανάλυση των φυσικών, χημικών, βιολογικών χαρακτηριστικών των λυμάτων. Τα γενικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων δεν διέφεραν ανάλογα με τις δειγματοληψίες και επομένως τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν ευκολότερα και αποκτούν μεγαλύτερη εγκυρότητα. Η συλλογή δειγμάτων ξεκίνησε τις αρχές Μαΐου του 2015 και ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του ίδιου χρόνου. Τα δείγματα αναδεύονται μετά χειρός στα μπουκάλια συλλογής έτσι ώστε να υπάρξει ομοιογένεια, ύστερα τοποθετούνται σε δοχεία ζέσεως των 500 mL. Ο πολλαπλός αναδευτήρας (P.Selecta Flocumatic) έχει τέσσερις θέσεις, οι οποίες καλύπτονται από τα παραπάνω δοχεία ζέσεως. Στη συνέχεια γίνονται διάφορες δοκιμές σε κάθε δοχείο ξεχωριστά σε σχέση με τη δόση κροκιδωτικών – συσσωματικών έτσι ώστε να βρεθεί το καλύτερο μίγμα και αναδεύονται σταθερά με ταχύτητα 100 rpm. Λαμβάνουν μέρος πολλές σειρές πειραμάτων μέχρι να βρεθεί το βέλτιστο κροκιδωτικό. Οι παράμετροι

που παρακολουθούνται είναι το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) των λυμάτων, το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5), τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), η θολερότητα, η ενεργός οξύτητα (pH). Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε κυρίως η απομάκρυνση των COD, BOD_5 και TSS μετά τη μονάδα επίπλευσης, και σχολιάζονται τα ευρήματα των παραμέτρων ποιότητας νερού (θολερότητα και pH). Η δειγματοληψία γινόταν μία με δύο φορές την εβδομάδα σε δειγματοληπτικά δοχεία δια χειρός, και κάθε δειγματοληψία οδηγούσε σε μία σειρά πειραμάτων διάρκειας δύο με τριών ημερών.

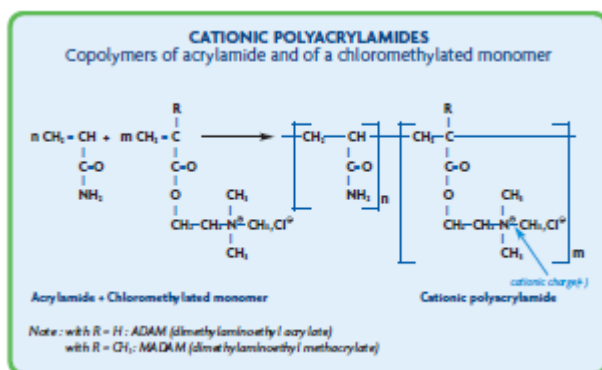
3.2 Κροκιδωτικά

Όλα τα αντιδραστήρια ήταν βιομηχανικής καθαρότητας και προμηθεύτηκαν από την εταιρία Chemaflo AE.

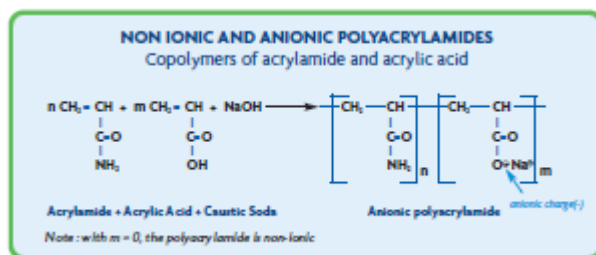
- **PAC** → Το PAC είναι πυκνό διάλυμα περιεκτικότητας 14% w/v σε ιόντα Al^{3+} , ένας ανόργανος ηλεκτρολύτης, ένα κροκιδωτικό με υποκίτρινο χρώμα και χημικό τύπο $Al_{12}(OH)_{24}AlO_4(H_2O)_{12}^{7+}$. Η χρήση του μπορεί να γίνει απευθείας ή με την παρασκευή αραιότερων διαλυμάτων. Προτιμήθηκε η απευθείας χρήση, γιατί να μην απαιτείται προσοχή στην ποσότητα των mL που θα ληφθούν από το πυκνό διάλυμα ώστε να έχουμε την επιθυμητή συγκέντρωση του κροκιδωτικού στο υπό επεξεργασία απόβλητο, αλλά αποφεύγεται η διαρκής παρασκευή αραιών διαλυμάτων αφού αυτά έχουν διάρκεια ζωής το πολύ μία εβδομάδα και ως εκ τούτου, η ποσότητα που περισσεύει πρέπει να απορριφθεί.
- **FL4440** → Το FL4440 είναι ένα κροκιδωτικό με χημικό τύπο πολυχλωριούχο διάλλυλο διμεθυλαμμωνίου, το οποίο είναι πολύ δραστικό αφού σε πολύ μικρή ποσότητά του τα αποτελέσματα στα υγρά απόβλητα είναι πολύ εμφανή.
- **FO4190 VHM** → Το FO4190 VHM είναι μια χημική ένωση με τύπο πολυακρυλαμμίδιο (PC), το οποίο αποτελεί πολύ δραστικό κροκιδωτικό με εμφανή αποτελέσματα ύστερα από την επίδρασή του.



- **FO4650 VHM**→ Το FO4650 VHM είναι μια χημική ένωση με τύπο πολυακρυλαμμίδιο (PC) , το οποίο αποτελεί πολύ δραστικό κροκιδωτικό με εμφανή αποτελέσματα ύστερα από την επίδρασή του.



- **AN934 SH**→ Το AN934 SH είναι ένα κροκιδωτικό με χημικό τύπο πολυακρυλαμμίδιο (PC), το οποίο είναι πολύ δραστικό αφού σε πολύ μικρή ποσότητά του τα αποτελέσματα στα υγρά απόβλητα είναι πολύ εμφανή.



Τα διαλύματα παρασκευάζονται με τον εξής τρόπο, ζυγίζοντας 0,1 gr συσσωματικού (FO4190 VHM, FO4650 VHM, AN934 SH) με 50 mL απιονισμένου νερού στη συνέχεια αναδεύονται τουλάχιστον δέκα λεπτά ώσπου να δημιουργηθεί ένα ομοιογενές μίγμα τέλος συμπληρώνεται σε τελικό επιθυμητό όγκο σε κατάλληλη συγκέντρωση.

3.3 Υλικά και Μέθοδοι

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην διεξαγωγή των πειραμάτων και των μετρήσεων είναι:

Ζυγαριά: Scaltec SPB42.

Για την φυγοκέντρωση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα Falcon tubes. Ο φούρνος είναι ο Memmert 'UL50' Lab Oven.

Φιλτράκια: Whatman glass microfiber filters, Grade 934 0,45μm - 47mm.

Για τον προσδιορισμό του ολικού άνθρακα χρησιμοποιήθηκε της εταιρίας Shimadzu το TOC-5000A. Φιλτράκια σύριγγας: Sartorius Minisart 0,45μm. Για τις φασματομετρικές μετρήσεις το φασματοφωτόμετρο: HACH DR2800. Οξυγονόμετρο-pHmeter: WTW Mutli 3410.

Για την ζύγιση των αντιδραστηρίων χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας: Kern & Sohn ABJ-NM.

Για τον προσδιορισμό του COD (χημικά απαιτούμενου οξυγόνου) χρησιμοποιήθηκαν τα εξής αντιδραστήρια της εταιρίας HACH: LCK 514, LCK 314, LCK 114 ανάλογα την αναμενόμενη τιμή του COD.

Επωαστικός Κλίβανος: WTW BOD.

Μπουκάλια: Γυάλινα Robotic BOD των 300ml

Φούρνος: Memmert U100

Θολερόμετρο: HACH Ratio Turbimeter 18900

Πολλαπλός Αναδευτήρας: P.Selecta Flocumatic

3.4 Μέτρηση pH – Ειδικής Αγωγιμότητας

Υπάρχουν μερικές μετρήσεις οι οποίες σχετίζονται με την ποιότητα νερού σε σχέση με τα ανόργανα συστατικά που περιέχει, όπως είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η ενεργότητα ιόντων υδρογόνου (pH). Η μέτρησή τους έγινε με ηλεκτροχημικές μεθόδους. Το σχετικό όργανο έχει ηλεκτροχημικό αισθητήρα που περιλαμβάνει ένα ηλεκτρόδιο μέτρησης υάλου και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Τα σύγχρονα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται έτσι ώστε η ηλεκτρική τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων να είναι 0mV

όταν το pH είναι 7. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά του pH από το 7 τόσο μεγαλύτερη γίνεται και η διαφορά τάσης μεταξύ των ηλεκτροδίων. Πριν από κάθε μέτρηση γίνεται βαθμονόμηση της συσκευής σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα ηλεκτρόδια ξεπλένονται με αποσταγμένο νερό και σκουπίζονται μαλακά με απορροφητικό χαρτί. Για τη μέτρηση στον αποδέκτη, βυθίζουμε τα ηλεκτρόδια στο νερό σε κατάλληλο βάθος και να κινούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται αρκετή κίνηση του υγρού ανάμεσα από τα ευαίσθητα στοιχεία του ηλεκτροδίου. Οι ικανοποιητικές συνθήκες ανάδευσης φαίνονται από τη σταθερότητα της ένδειξης του οργάνου. Μετά το πέρας των μετρήσεων το ηλεκτρόδιο ξεπλένονται με αποσταγμένο νερό, σκουπίζονται μαλακά με απορροφητικό πανί και μετά βυθίζονται σε ποτήρι ζέσεως που περιείχε ρυθμιστικό διάλυμα με pH 7. Το ηλεκτρόδιο υάλου δεν επηρεάζεται από το χρώμα, τη θολρότητα, τα κολλοειδή διαλύματα, τις αναγωγικές και οξειδωτικές ουσίες που υπάρχουν στα διαλύματα ή την αλατότητα. Η επικάλυψη του με ελαιώδεις ουσίες ή αιωρούμενα στερεά μπορεί να επηρεάσουν την τιμή μέτρησης. Αυτή η επικάλυψη μπορεί να απομακρυνθεί με ελαφρό στέγνωμα ή πλύσιμο με απορρυπαντικό και ξέβγαλμα με αποσταγμένο νερό.

3.5 Μέτρηση COD*

*Μέθοδος 8000, εγκεκριμένο για ανάλυση λυμάτων από U.S. E.P.A. Reactor Digestio Method: Jirka, A.M.; Carter, M.J. Analytical Chemistry, 1975,47(8). 1397.

Το COD προσδιορίζεται με τη φασματομετρική μέθοδο. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η ποσότητα ιόντων που παραμένουν στο διάλυμα μετά την οξείδωση της οργανικής ύλης (για COD έως 150mg/l, προσδιορίζονται ιόντα Cr^{6+} σε μήκος κύματος 420nm, ενώ για μεγαλύτερες τιμές έως 1500mg/l, προσδιορίζονται ιόντα Cr^{3+} σε μήκος κύματος 620nm). Η αρχική ποσότητα του διχρωμικού κάλλιου που χρησιμοποιείται είναι, για όλα τα δείγματα, σταθερή στο μείγμα των αντιδραστηρίων που περιέχει ο δοκιμαστικός σωλήνας. Το φασματοφωτόμετρο είναι προ-βαθμονομημένο ώστε να παρέχει απευθείας ανάγνωση του δείγματος. Άρα η ποσότητα του COD που αντιστοιχεί σε κάθε δείγμα, δίνεται από την ανάγνωση στο φασματοφωτόμετρο. Οι διαδικασίες για την μέτρηση του COD είναι:

- Προθερμαίνεται ο αντιδραστήρας στους 150 °C. Τοποθετείται το προστατευτικό πλαστικό μπροστά από τον αντιδραστήρα.
- Αφαιρείται το πώμα από το δοκιμαστικό σωλήνα με το αντιδραστήριο COD για την οξείδωση της οργανικής ύλης σε κατάλληλες ποσότητες και αναλογία.
- Κρατάται το φιαλίδιο σε γωνία 45° μοιρών.
- Προσθέτεται με την πιπέτα δειγματοληψίας 2mL δείγματος λυμάτων.
- Αν χρειαστεί αραιώση, αραιώνεται το δείγμα σε ποσοστό 90%, δηλαδή 0,2ml δείγματος και 1,8ml αποσταγμένου νερού.
- Επανατοποθετείται το καπάκι του φιαλιδίου και εφαρμόζεται σφιχτά. Ξεπλένεται το εξωτερικό του φιαλιδίου με αποσταγμένο νερό και το σκουπίζεται μαλακά με απορροφητικό χαρτί.
- Ανακινείται ζωηρά μερικές φορές για να αναμιχτεί το περιεχόμενο κρατώντας από το πώμα (ο σωλήνας θερμαίνεται) και τοποθετείται στον προθερμασμένο αντιδραστήρα.
- Θερμαίνονται τα δείγματα για 2 ώρες.
- Μετά το πέρας των 2 ωρών κλείνεται ο αντιδραστήρας και περιμένουμε περίπου 20 λεπτά για να κρυώσουν τα δείγματα σε θερμοκρασία 120°C ή λιγότερο.
- Ανακινούνται τα δείγματα αρκετές φορές και περιμένουμε να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου.
- Θέτεται σε λειτουργία το φασματοφωτόμετρο και εισάγουμε το αποθηκευμένο πρόγραμμα για COD.
- Περιστρέφονται σε μήκος κύματος 620nm, και τοποθετείται ο αντάπτορας αντιδραστηρίων στο κελί.
- Σκουπίζεται το τυφλό δείγμα, τοποθετείται στον αντάπτορα με το λογότυπο να “κοιτάει” την μπροστινή πλευρά του οργάνου και τοποθετείται το κάλυμμα του αντάπτορα.
- Πατάμε την ένδειξη “ZERO” και περιμένουμε έως η οθόνη να δείξει “Zeroing” και μετά “0. mg/L COD HR”.
- Καθαρίζουμε το εξωτερικό του φιαλιδίου όπως το αφαιρούμε και τοποθετούμε τα άλλα δείγματα με την ίδια διαδικασία.
- Πατάμε την ένδειξη “READ” και περιμένουμε έως η οθόνη να δείξει “Reading” και μετά αποτέλεσμα της μέτρησης σε mg/L COD.

3.6 Μέτρηση TSS

Πριν από τη δειγματοληψία προετοιμάζουμε φίλτρα από ίνες υάλου τύπου GF/B (1.0μm) της εταιρίας Whatman τις οποίες ξηραίνουμε στους 103°C, ζυγίζω και καταγράφω το βάρος τους. Για τη διαδικασία χρησιμοποιείται δείγμα σε αραίωση 90%, δηλαδή 10ml λύματος και 90ml αποσταγμένου νερού, στην αντλία. Μετά την κατακράτηση, τοποθετούσαμε τα φίλτρα στις ειδικές αλουμινένιες υποδοχές και τα ξηραίναμε για μια (1) ώρα στους ειδικούς φούρνους σταθερής θερμοκρασίας 105°C της εταιρίας Memmert. Στη συνέχεια τα αφήναμε να κρυώσουν και τα επαναζυγίζαμε. Υπολογίζουμε τα TSS, χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{TSS (mg / L)} = \{ ([A-B] * 1000) \} / C ,$$

όπου: A = βάρος στο τέλος του φίλτρου B = αρχικό βάρος του φίλτρου C = ο όγκος του νερού που φιλτράρεται.

3.7 Μέτρηση BOD

Για τον προσδιορισμό του BOD ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με τα Standards Methods, όπου σε ειδικά γυάλινα μπουκάλια (Robotic Bottles BOD) των 300ml τοποθετήθηκε οξυγονωμένο αραιωμένο απόβλητο μαζί με την προσθήκη θρεπτικών σύμφωνα με τα Standard Methods και γινόταν μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου εντός του κάθε μπουκαλιού στην αρχή και μετά το πέρας των 5 ημερών.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής 3 διαλύματα θρεπτικών για τη μέτρηση του BOD σε συγκέντρωση 1ml/L:

➤ Φωσφορικό δ/μα:

Σε 1L νερού έχει: 8,5g KH_2PO_4 , 21,7g K_2HPO_4 , 1,7g NH_4Cl

➤ Δ/μα θεικού μαγνησίου:

Σε 1L νερού έχει: 22,5g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

➤ Δ/μα χλωριούχου ασβεστίου:

Σε 1L νερού έχει: 27,5g CaCl_2

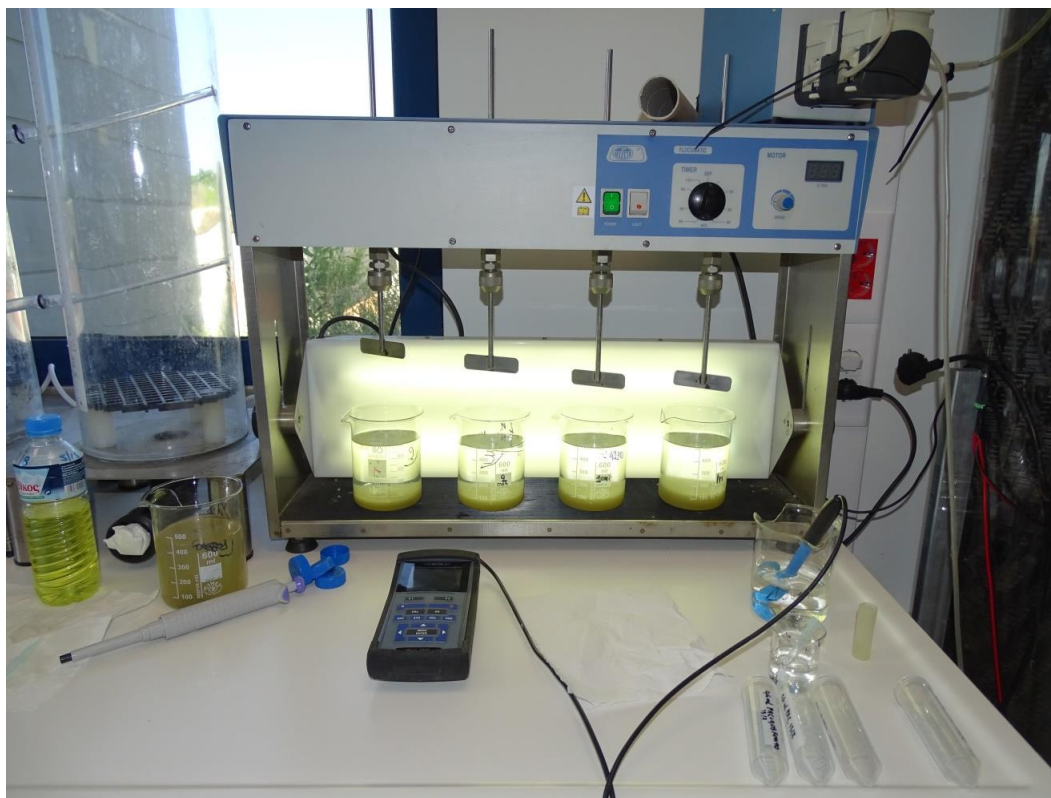
4 Πειραματική διαδικασία

4.1 Προκατεργασία δειγμάτων

Το κυρίως τμήμα της όλης διαδικασίας, είναι η κροκίδωση αστικών λυμάτων τα οποία παραλαμβάνονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα από την Εγκατάσταση Βιολογικού Καθαρισμού Χανίων, πιο συγκεκριμένα μετά από την υπερχείλιση της δεξαμενής Πρωτοβάθμιας Καθίζησης. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων διέφεραν ελάχιστα όπως αποδεικνύεται και από τα παρακάτω πειραματικά αποτελέσματα. Η δειγματοληψία γινόταν μία ή δύο φορές την εβδομάδα και μετά τη συλλογή τους τα δείγματα φυλάσσονταν εντός ψυγείου. Η ανάλυση των δειγμάτων γινόταν εντός 48ώρου για να μην επέλθει αλλοίωση των ιδιοτήτων τους. Η κροκίδωση λαμβάνει χώρα σε ποτήρια ζέσεως των 600 mL στα οποία τοποθετούνται 500 mL αστικού λύματος. Σε μία σειρά πειραμάτων διεξάγονται ταυτόχρονα συνήθως τέσσερα πειράματα, αφού η συσκευή ανάδευσης (P.Selecta Flocumatic) έχει τέσσερις διαθέσιμες θέσεις για ποτήρια ζέσεως. Η συσκευή τίθεται σε λειτουργία αναδεύοντας το απόβλητο σε χαμηλές στροφές (έως 90 rpm) ώστε αυτό να είναι ομογενοποιημένο τη στιγμή που προστίθενται τα κροκιδωτικά. Η ανάδευση γίνεται με διπτερυγιοφόρο στρόβιλο κάθετων πτερυγίων. Όταν προστεθεί το κροκιδωτικό και σταθεροποιηθεί το PH (>6.5), τότε η ταχύτητα ανάδευσης τοποθετείται στο μέγιστο (100 rpm) για 3 έως 5 λεπτά ώστε να αποσταθεροποιηθεί το κολλοειδές σύστημα. Σημαντικός παράγοντας είναι το pH για το οποίο καθ'όλη τη διάρκεια των πειραμάτων μετρείται και καταγράφεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (3-5 λεπτά) και μετά από κάθε προσθήκη κροκιδωτικού. Η τιμή του pH ρυθμίζεται πάντα μεγαλύτερη της 6,5 με τη προσθήκη διαλύματος βάσης (NaOH).

Τέλος το επεξεργασμένο απόβλητο αφήνεται σε ηρεμία για πάνω από 40 λεπτά σε ογκομετρικούς κυλίνδρους 600 mL ώστε να καθιζήσουν τα αιωρούμενα σωματίδια.

Μετά την πάροδο των 40 λεπτών, λαμβάνεται δείγμα από το υπερκείμενο διάλυμα (διαυγές) για τις διάφορες μετρήσεις όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1.1. Μετράται BOD_5 , TOC του υπερκείμενου διαλύματος, τα αιωρούμενα στερεά (TSS – Suspended Solids), θολρότητα και το ποσοστό συμπύκνωσης της ιλύος.



Εικόνα 4.1.1. Απεικόνιση εργαστηριακών δειγμάτων στον αναδευτήρα έπειτα από κροκίδωση.

Αρχικά γινόταν μέτρηση του pH του ανεπεξέργαστου λύματος αλλά και σε κάθε στάδιο των πειραμάτων, μετά δηλαδή την προσθήκη κροκιδωτικών και πολυηλεκτρολυτών καθώς τα συστατικά τους έχουν την τάση να μεταβάλλουν το pH του λύματος. Έτσι μετρούσαμε συστηματικά το pH σε κάθε ποτήρι ζέσεως ώστε να γίνεται άμεσα (με διάλυμα βάσης NaOH) η ρύθμιση της οξύτητας, η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση της κροκίδωσης.

Η πειραματική διαδικασία της παρούσας εργασίας ήταν η η εύρεση της βέλτιστης συγκέντρωσης μίγματος κροκιδωτικού – συσσωματικού με αργά και σταθερά βήματα. Αναλυτικότερα αναζητείται η ελάχιστη ποσότητα αυτού που θα προκαλέσει την

μεγαλύτερη απομάκρυνση οργανικού φορτίου από την υδατική φάση. Στις σειρές των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός ανόργανων κροκιδωτικών ενώσεων (PAC - PolyAcrylic Chloride, υδατικό διάλυμα AlCl_3 συγκέντρωσης 14% w/v Al^{3+}) και οργανικών ενώσεων (FO4190 VHM, FO4650 VHM, AN932 SH, FL4440). Σε κάθε σειρά πειραμάτων με τη βοήθεια των μετρήσεων και των παρατηρήσεων που υπάρχουν αναδεικνύεται η καλύτερη δόση μίγματος. Στη συνέχεια για να επαληθευτεί η καλύτερη δόση παίρνεται η καλύτερη δόση από την προηγούμενη σειρά πειραμάτων.

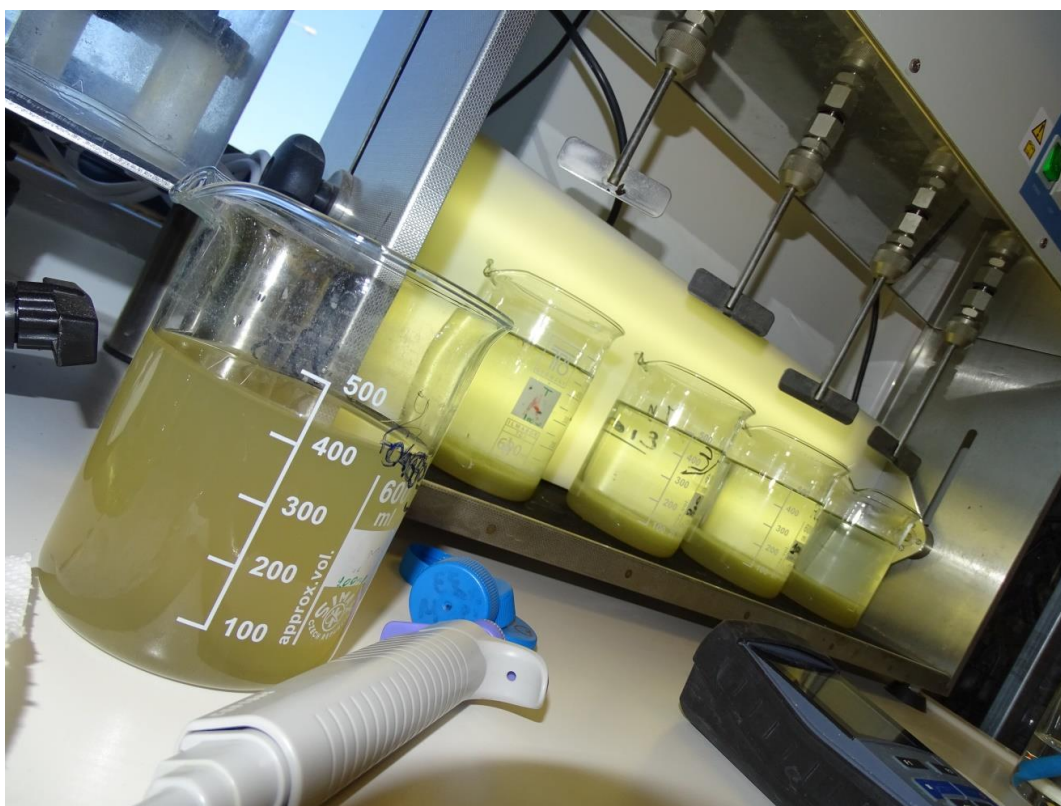
4.2 Αποτελέσματα και συζήτηση

4.2.1 Πρώτη σειρά μετρήσεων

Η πρώτη σειρά μετρήσεων αφορούσε δείγματα με διαφορετική συγκέντρωση κροκιδωτικού (PAC, FL4440, FO4190, FO4650, AN934) για να επιλέχθεί η καλύτερη συγκέντρωση για τις επόμενες σειρές πειραμάτων. Το κάθε δείγμα με διαφορετική συγκέντρωση κροκιδωτικού – συσσωματικού στο ανεπεξέργαστο δείγμα τοποθετείται σε δοχείο όγκου 500 mL στις θέσεις του πολλαπλού αναδευτήρα, όπου αναδεύονται ήρεμα (50 rpm) για περίπου πέντε με δέκα λεπτά μέχρι να σταθεροποιηθεί το pH (>6.5). Στη συνέχεια για τη σωστή ομογενοποίησή του και τη σωστή επίδραση του κροκιδωτικού που προστείνονται ξεχωριστά στο κάθε δοχείο αναδεύονται έντονα (100 rpm) για πέντε λεπτά. Έπειτα αφού επέλθει ηρεμία και το κάθε δοχείο αρχίζει και καθιζάνει σε χρόνο περίπου μισής ώρας τότε μπορεί να μετρηθεί η θολρότητα, ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) και το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο πέντε ημερών (BOD_5). Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων φαίνονται στον Πίνακα 3 και η πειραματική διάταξη στην Εικόνα 4.2.1.

Πίνακας 3. Πρώτη σειρά μετρήσεων παραμέτρων δείγματος αστικών λυμάτων από το βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων.

| | pH | ΘΟΛΟΤΗΤΑ (NTU) | TOC (mg L ⁻¹) | BOD ₅ (mg L ⁻¹) |
|-------------------------------|-----|----------------|---------------------------|--|
| Ανεπεξέργαστο δείγμα | 7.3 | 53 | 145 | 253 |
| PAC (3.5mL) | 6.8 | 3.2 | 109 | 160 |
| PAC & FL4440 (3mL) | 6.7 | 8 | 122 | 142 |
| PAC (3mL) + FO4190 HM(0.5 mL) | 7.2 | 0.30 | 134 | 109 |
| PAC (3mL) + FO4650 HM(0.5 mL) | 6.8 | 11.5 | 95 | 134 |
| PAC (3ml) + AN934 SH(0.5 mL) | 7.2 | 0.88 | 127 | 130 |



Εικόνα 4.2.1 Απεικόνιση αρχικών μετρήσεων παραμέτρων δείγματος αστικών λυμάτων από το βιολογικό καθαρισμό της πόλης των Χανίων.

Αρχικά προστίθεται ποσότητα 3,5 mL PAC με την πιπέτα του εργαστηρίου στο ανεπεξέργαστο δείγμα, έτσι ώστε να διερευνηθεί η επίδραση του και το αποτέλεσμα που

να επιφέρει στο δείγμα. Ακολουθεί ανάδευση για 1 min με ταχύτητα 50 rpm για να ομογενοποιηθεί το μίγμα και να επιδράσει το συσσωματικό, ελέγχοντας πάντα το pH του τελικού διαλύματος να είναι μεγαλύτερο του 6,5. Με τη σταθεροποίηση του pH στη τιμή του 6,8 αναδεύεται το μίγμα για 5 min με ταχύτητα 100 rpm και αφού το μίγμα επέλθει σε ηρεμία σε χρόνο μισής ώρας καταγράφονται πάλι οι παράμετροι που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.1.

Εδώ παρατηρούμε ότι η προσθήκη PAC επιφέρει μεταβολή στο pH του διαλύματος τουλάχιστον κατά 0,5 μονάδες της κλίμακας από 6,3 σε 5,8. Η θολερότητα μειώνεται από αρχική τιμή 53 σε 3,2 που σημαίνει ότι τα σωματίδια που την προκαλούσαν έχουν απομακρυνθεί από το διάλυμα-αιώρημα σε μεγάλο ποσοστό. Μειωμένα επίσης εμφανίζονται και οι παράμετροι που αφορούν τον ολικό οργανικό άνθρακα και το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο πέντε ημερών. Είναι αναμενόμενη αυτή η μείωση αφού κατά την κροκίδωση απομακρύνονται σωματίδια από το διάλυμα άρα η περιοκτικότητα τους θα μειωθεί.

Ακολουθεί προσθήκη του FL4440 (3 mL) μαζί με PAC (0,5-3,0 mL) σε άλλο δοχείο ανάδευσης οπότε παρατηρείται μια αλλαγή στο pH του διαλύματος σε τιμή 6,7 ουσιαστικά ανεπαίσθητη, υπάρχει αύξηση της θολερότητας, του οργανικού άνθρακα και του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου. Η επίδραση του FL4440 φαίνεται να λειτουργεί ανασταλτικά και όχι συνεργιστικά στο τελικό και επιθυμητό αποτέλεσμα.

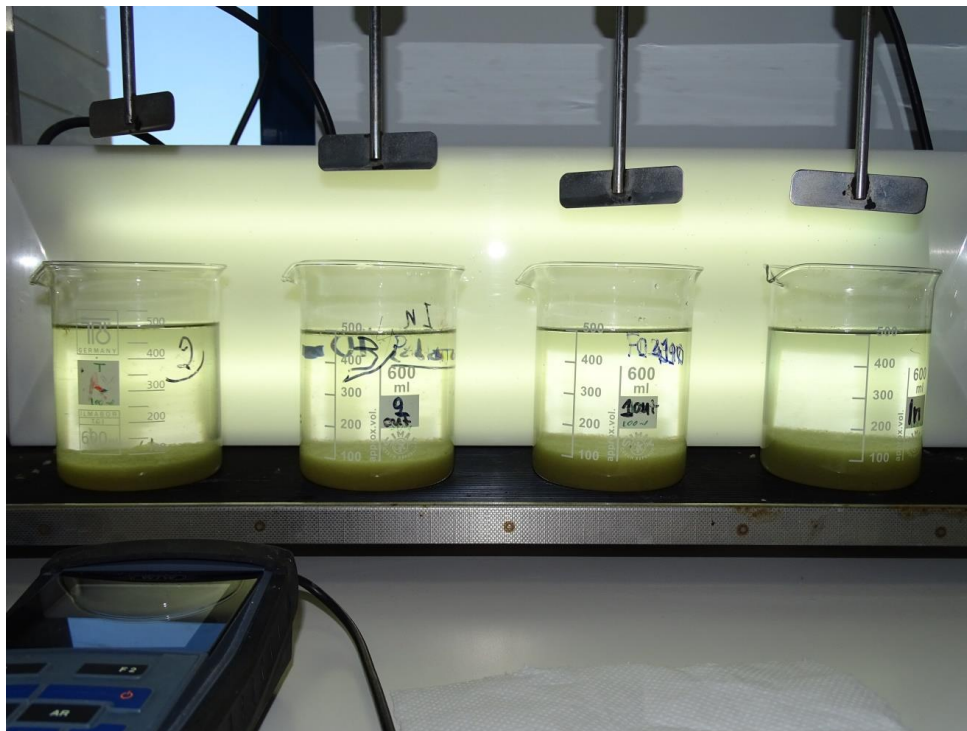
Στο επόμενο βήμα προστίθενται 0,5 mL FO4190 VHM με διάφορες συγκεντρώσεις του PAC (0,5 έως 3,0 mL) σε νέα ποτήρια ζέσεως των 500 mL. Η τιμή του pH διαμορφώνεται σε 7,2. Πιθανόν η προσθήκη του FO4190 VHM να εξισορροπεί τον όξινο χαρακτήρα του PAC. Με την προσθήκη του FO4190 VHM παρατηρείται και η μεγαλύτερη μείωση της θολερότητας του δείγματος καθώς επίσης και η μικρότερη τιμή βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου. Η προσθήκη του μίγματος PAC (3mL)+ FO4650 VHM(0.5mL) επιφέρει μεταβολή του pH σε τιμή 6,8 μειώνει αρκετά την θολερότητα από την αρχική τιμή 53 σε 11,5 NTU. Σε αυτό το συνδυασμό παρατηρείται η χαμηλότερη τιμή οργανικού άνθρακα. Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο 5 ημερών παραμένει σε τιμές 134 mg L⁻¹.

Η επόμενη δοκιμή είναι ο συνδυασμός PAC (3ml)+ AN934 SH (0.5ml) όπου παρατηρείται μια πολύ μικρή μεταβολή του pH του διαλύματος από 7,3 αρχική τιμή σε

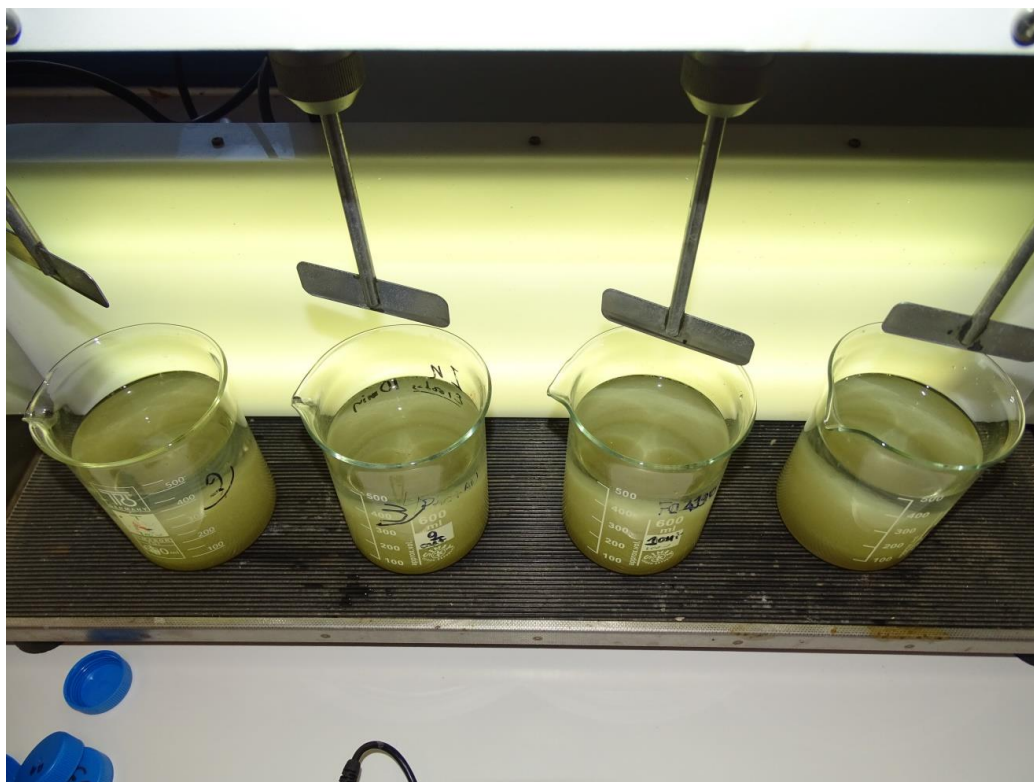
7,2 τελική. Σημειώνεται μια από τις χαμηλότερες τιμές θολερότητας ανάμεσα στους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν και παρουσιάστηκαν μέχρι το σημείο αυτό.

Βάσει των πειραματικών δεδομένων του Πίνακα 3 εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός PAC(3ml) + FO4190 VHM (0.5) επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα κροκιδώσης ενώ ταυτόχρονα διατηρεί την τιμή pH του δείγματος (στην περίπτωσή μας λύματα) σχεδόν αμετάβλητη.

Επόμενο βήμα ήταν οι δοκιμές για την επίτευξη συνδυασμού κροκιδωτικών. Διεξήχθησαν πειράματα όπου στο αρχικό δείγμα προστίθεται ο καλύτερος συνδυασμός PAC και FL4440, που είναι 3 mL και 0,5 mL και ακολουθεί η προσθήκη σταθερής ποσότητας και συγκεκριμένα 0,5 mL από τα αντιδραστήρια FO4190 VHM, FO4650 VHM και AN934 SH. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πειραμάτων που διεξήχθησαν παρουσιάζονται στον Πίνακα και τις Εικόνες που ακολουθεί Πίνακας 4.2.2 και στις Εικόνες 4.2.2 και 4.2.3.



Εικόνα 4.2.2. Απεικόνιση των διαφόρων παραμέτρων κατά την προσθήκη ποσοτήτων διαφόρων συνδυασμών κροκιδωτικών καθώς καθιζάνουν.



Εικόνα 4.2.3. Απεικόνιση των διαφόρων παραμέτρων κατά την προσθήκη ποσοτήτων διαφόρων συνδυασμών κροκιδωτικών καθώς καθιζάνουν από άλλη όψη.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα μετρήσεων διαφόρων παραμέτρων κατά την προσθήκη ποσοτήτων διαφόρων συνδυασμών κροκιδωτικών.

| | PH | ΘΟΛΟΤΗΤΑ (NTU) | TOC (mg/L) | BOD ₅ (mg/L) |
|--|------|----------------|------------|-------------------------|
| Ανεπεξέργαστο δείγμα | 7.36 | 47 | 116 | 206 |
| PAC & FL4440 (3ml) & FO4190 VHM (0.5ml) | 6.8 | 0.5 | 89 | 100 |
| PAC & FL4440 (3ml) & FO4650 (0.5ml) VHM | 7.9 | 0.66 | 122.7 | 101 |
| PAC & FL4440 (3ml) & AN934 SH(0.5ml) | 7.8 | 1.8 | 127.5 | 72 |

Το γενικό συμπέρασμα που εξάγεται αναλύοντας τα δεδομένα του Πίνακα 4 είναι ότι ο συνδυασμός περισσοτέρων του ενός κροκιδωτικού επιφέρει σημαντική μείωση στις φυσικές και χημικές παραμέτρους των δειγμάτων φυσικών λυμάτων του βιολογικού καθαρισμού της πόλης των Χανίων. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι προβλέψιμο λόγω της επίδρασης που επιφέρουν τα κροκιδωτικά και τα συσσωματικά στη επεξεργασία των λυμάτων. Ακόμη όσο αφορά τη θολερότητα παρατηρείται ότι παίρνει χαμηλές τιμές στο 0,5 NTU στο μίγμα PAC & FL4440 (3ml) & FO4190 VHM (0.5ml) που αποτελούνται από κροκιδωτικό μαζί με συσσωματικό. Επίσης όσο αφορά το TOC παίρνει χαμηλές τιμές στο 89mg/L στο διάλυμα PAC & FL4440 (3ml) & FO4190 VHM (0.5ml). Χαμηλές τιμές της τάξεως του 100 mg/L στη μέτρηση του BOD₅ παρατηρείται στο διάλυμα PAC & FL4440 (3ml) & FO4190 VHM (0.5ml). Συμπερασματικά στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων πιο κατάλληλο μίγμα είναι το PAC & FL4440 (3ml) & FO4190 VHM (0.5ml) σύμφωνα με τις παραπάνω μετρήσεις. Στην επόμενη σειρά πειραμάτων πρέπει να διαπιστωθεί αν σε χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης κροκιδωτικών και συσσωματικών υπάρξουν παρόμοια αποτελέσματα με τα παραπάνω έτσι ώστε να βρεθεί τα πιο κατάλληλα διαλύματα.

4.2.2 Δεύτερη σειρά πειραμάτων - Προσδιορισμός βέλτιστης τιμής κροκιδωτικών

Εκτελώντας τα πρώτα διαγνωστικά πειράματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω διαπιστώθηκε ότι η χρήση PAC βελτιώνει δραματικά την διαδικασία της κροκίδωσης και την τελική καθίζηση των αιρούμενων σωματιδίων στα αστικά λύματα. Στο επόμενο στάδιο είναι απαραίτητη η μελέτη της περιεκτικότητας του κροκιδωτικού που πρέπει να προστίθεται για την βέλτιστη απόδοση. Διεξήχθησαν πειράματα στα οποία προστίθενται διαφορετικές ποσότητες διαλύματος PAC και καταγράφεται η θολερότητα συναρτήσει του χρόνου. Τα δείγματα τοποθετούνται σε φιάλες των 500 mL και αναδεύονται υπό σταθερό ρυθμό. Σημαντική παράμετρος που ελέγχεται σε κάθε στάδιο των πειραμάτων είναι η τιμή pH όπου πρέπει να μείνει μεγαλύτερη του 6,5.

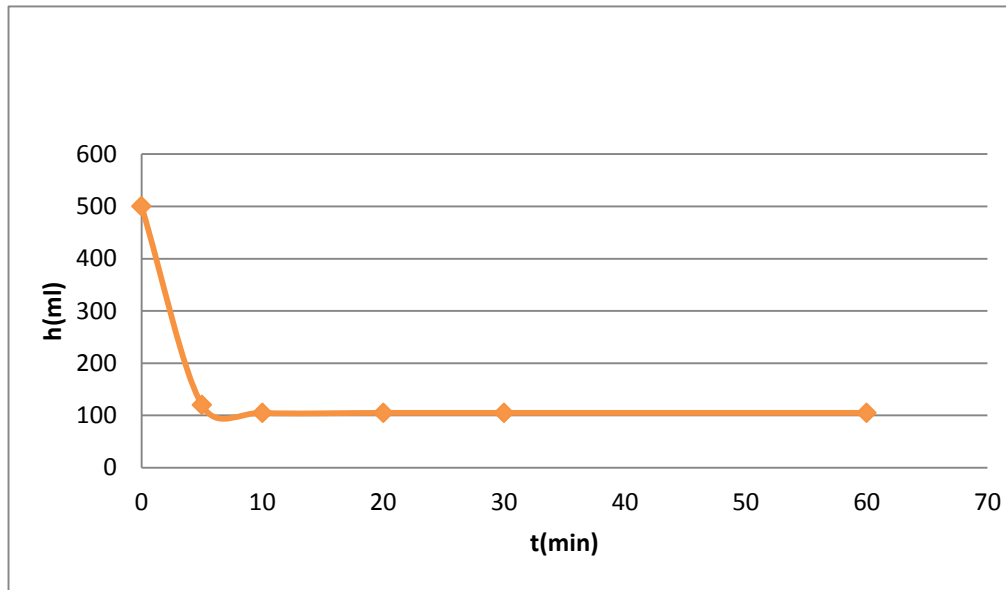
Ακολουθούν Πίνακες (5-9) με τις ποσότητες PAC που δοκιμάστηκαν και τα αντίστοιχα διαγράμματα καταγραφής θολερότητας συναρτήσει χρόνου.

Αρχικά μετά την ομογενοποίηση του δείγματος, προστίθενται διαφορετικές ποσότητες διαλύματος PAC. Η ποσότητες που επιλέχθηκαν είναι 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 και 3.0 mL όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. Ο χρόνος επίδρασης του κροκιδωτικού ορίστηκε στα 60 min. Απαιτείται μικρός χρόνος ώστε η διαδικασία να ολοκληρώνεται σχετικά γρήγορα αφού σε πραγματικές συνθήκες οι ποσότητες των λυμάτων που πρέπει να διαχειριστούν είναι αρκετά μεγάλες.

Πίνακας 5. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC και τιμές θολερότητας (NTU).

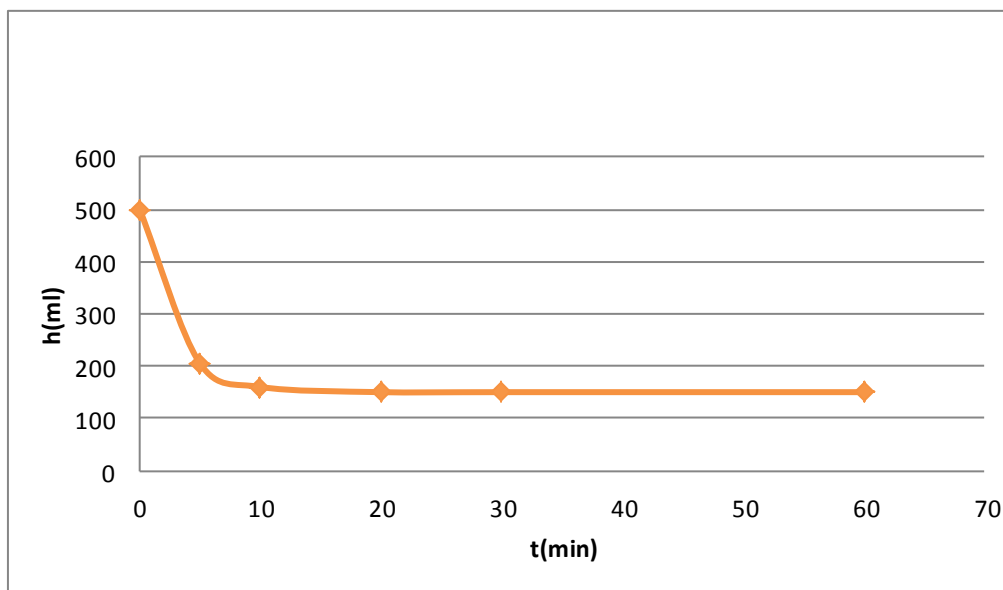
| | PAC (0.5mL) | PAC (1mL) | PAC (1.5mL) | PAC (2 mL) | PAC (3mL) |
|-------------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| pH | 7.7 | 8 | 8 | 8 | 7.9 |
| Θολερότητα (NTU) | 1.3 | 0.55 | 0.11 | 0.07 | 0.07 |

Αρχικά προστίθενται 0,5 mL PAC σε 500 mL απόβλητου και καταγράφεται η τιμή pH σε 7,7. Καταγράφοντας την καμπύλη καθίζησης συναρτήσει του χρόνου με τη βοήθεια κυλινδρικών δοχείων και μετρώντας τη θολερότητα που φαίνεται στο σχήμα 4.2.2.1. Παρατηρείται ότι τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν πολύ γρήγορα και συγκεκριμένα στα πρώτα 5 min έχει ολοκληρωθεί η κροκίδωση και δεν παρατηρείται περαιτέρω καθίζηση μέχρι και τη συμπλήρωση των 60 min που είναι και η συνολική διάρκεια του πειράματος. Με αυτό τον τρόπο θα βρεθεί η κατάλληλη ποσότητα PAC για να περάσει στην επόμενη σειρά πειραμάτων, όπου προστίθενται οι ενώσεις FO4190 VHM, FL4440, FO4650 VHM, AN934 SH.



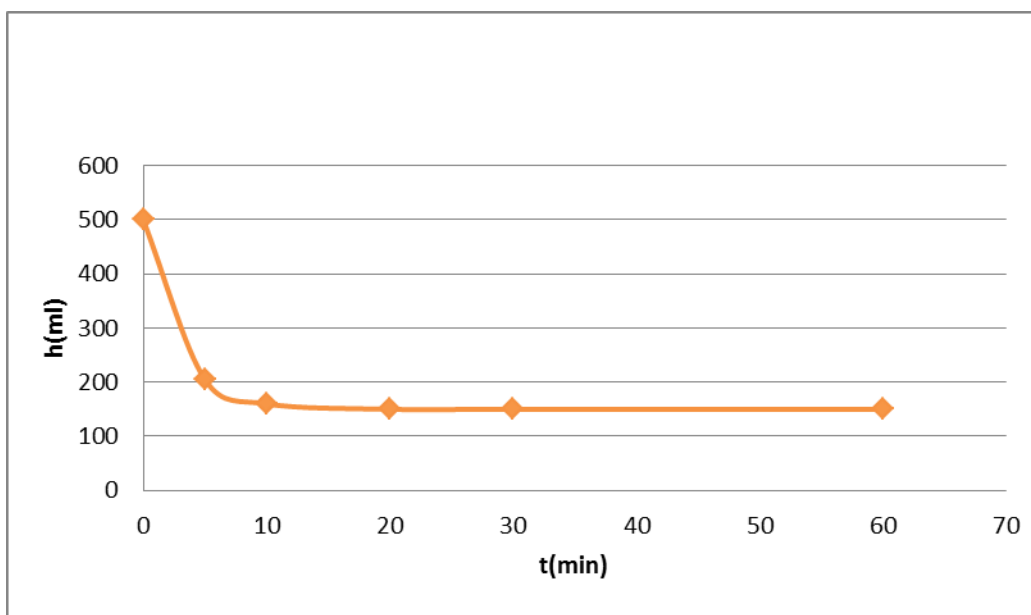
Σχήμα 4.2.2.1. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0,5 mL PAC, pH 7,7 και 1,3 NTU .

Επόμενη τιμή δοκιμής PAC είναι η 1 mL. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μικρότερη ταχύτητα καθίζησης αλλά το ύψος λάσπης που απομακρύνεται από το αιώρημα των λυμάτων είναι μεγαλύτερο όπως είναι λογικό αφού μεγαλύτερη ποσότητα κροκιδωτικού θα επιφέρει και μεγαλύτερο φαινόμενο κροκίδωσης. Ο χρόνος που απαιτείται στην συγκεκριμένη περίπτωση για οριακή τιμή είναι μεγαλύτερος της πρώτης και είναι 10 λεπτά όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2.2.2 . Αξίζει να αναφέρουμε ότι η θολρότητα στην πρώτη περίπτωση είναι 1,33 NTU ενώ στην δεύτερη 0,55 NTU.

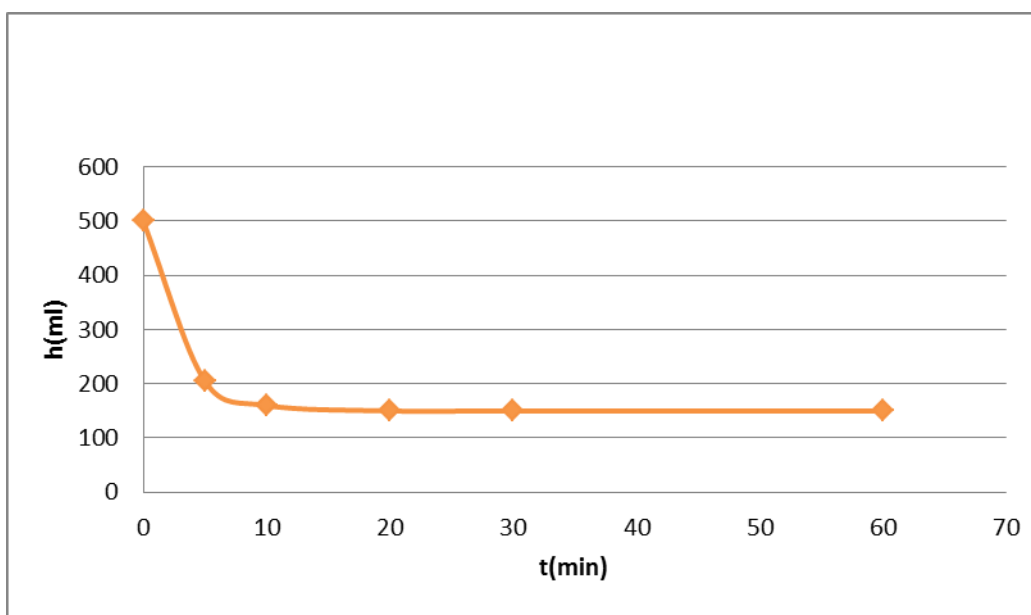


Σχήμα 4.2.2.2. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 1,0 mL PAC, pH 7,7 , 0,55 NTU

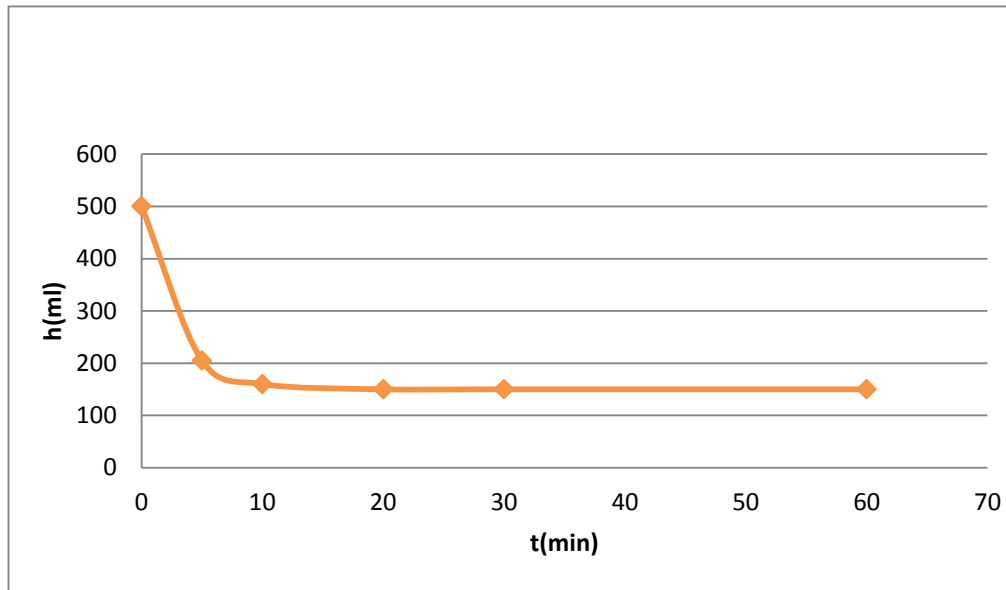
Δοκιμάστηκαν ακόμη τρεις ποσότητες PAC 1.5 ,2.0 και 3.0 mL και τα διαγράμματα φαίνονται στα Σχήματα 4.2.2.3, 4.2.2.4 και 4.2.2.5 αντίστοιχα, όπου δεν παρατηρήθηκε καλύτερη απόδοση στη κροκίδωση των δειγμάτων και διαπιστώθηκε πως είχαν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα καθώς η αύξηση δόσης συσσωματικού δεν επέφερε αυξημένη καθίζηση.



Σχήμα 4.2.2.3. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 1,5 mL PAC, pH 8,0 , 0,11 NTU.



Σχήμα 4.2.2.4. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 2,0 mL PAC, 8 PH, 0,07 NTU.



Σχήμα 4.2.2.5. Διαγραμματική αναπαράσταση θολερότητας συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 3,0 mL PAC, 7,9 PH, 0,07 NTU.

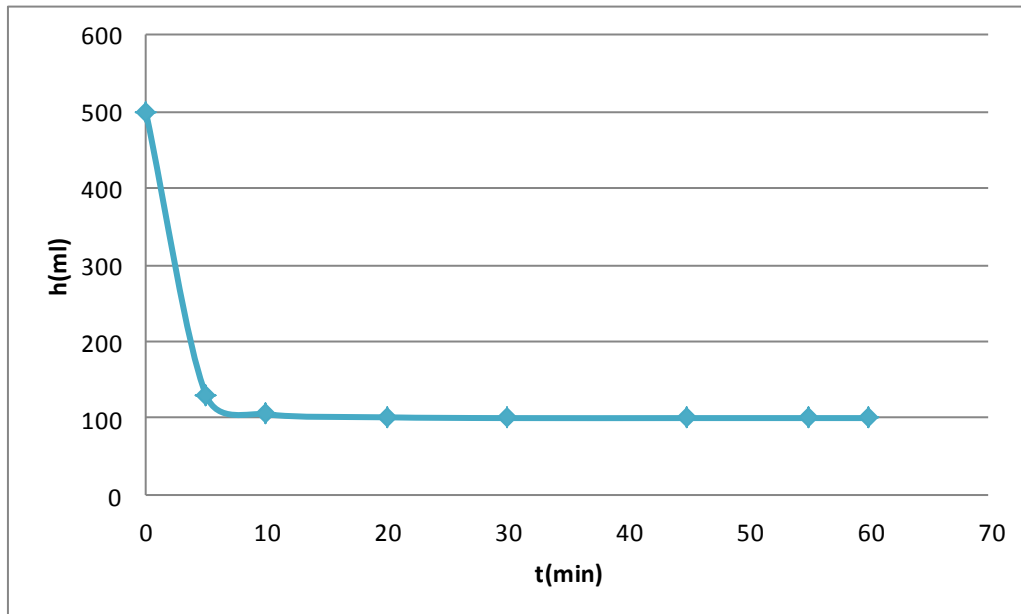
Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει πως η βέλτιστη δόση PAC, η οποία ορίζεται 0,5 mL , διότι έχει το ίδιο σχεδόν αποτέλεσμα τόσο στη μέτρηση της θολερότητας όσο και στην καθίζηση των αιωρούμενων στερεών.

Ακολούθησαν πειράματα με την βέλτιστη δόση PAC (0.5 mL) με το κροκιδωτικό FL4440 σε διάφορες συγκεντρώσεις έτσι ώστε να βρεθεί η βέλτιστη δόση του συγκεκριμένου μίγματος όπως φαίνεται στον Πίνακα 6. Τα διαγράμματα των πειραμάτων αυτών φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα.

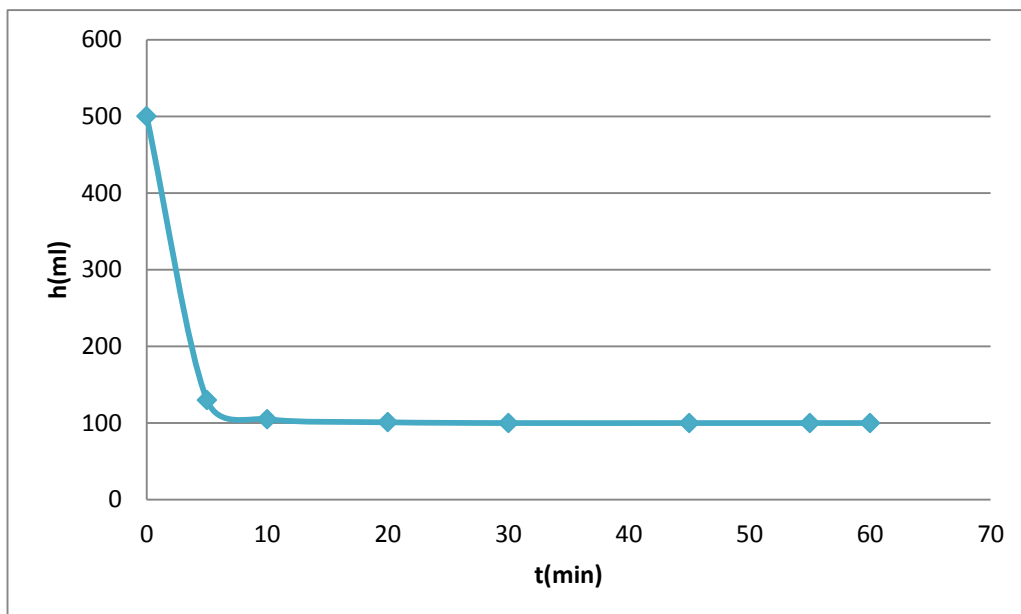
Πίνακας 6. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με FL4440 και τιμές θολερότητας (NTU).

| | PAC (0.5mL) FL4440 (0.5 mL) | PAC (0.5mL) FL4440 (1 mL) | PAC (0.5mL) FL4440 (1.5 mL) | PAC (0.5 mL) FL4440 (2 mL) | PAC (0.5mL) FL4440 (3 mL) |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Ph | 7.3 | 7.3 | 6.8 | 7.1 | 7 |
| Θολερότητα (NTU) | 7.4 | 0.83 | 1.05 | 0.45 | 0.62 |

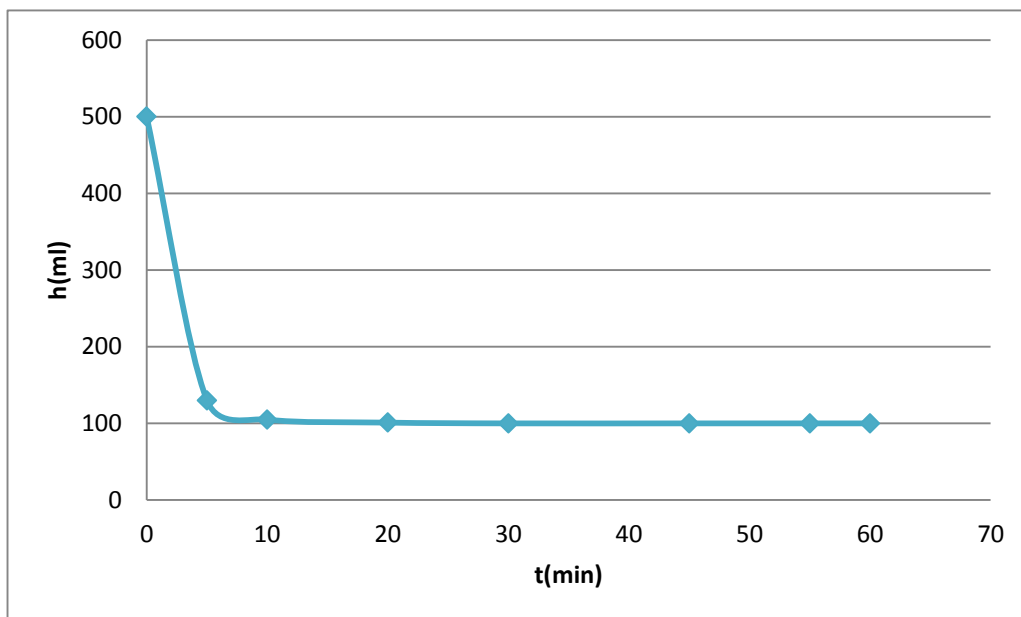
Τα πειράματα με την βέλτιστη δόση PAC (0.5 mL) και με το κροκκιδωτικό FL4440 σε διάφορες συγκεντρώσεις έγιναν ώστε να βρεθεί η βέλτιστη δόση του συγκεκριμένου μίγματος και τα αποτελέσματα της καθίζησης απεικονίζονται στα Σχήματα 4.2.2.6 – 4.2.2.10.



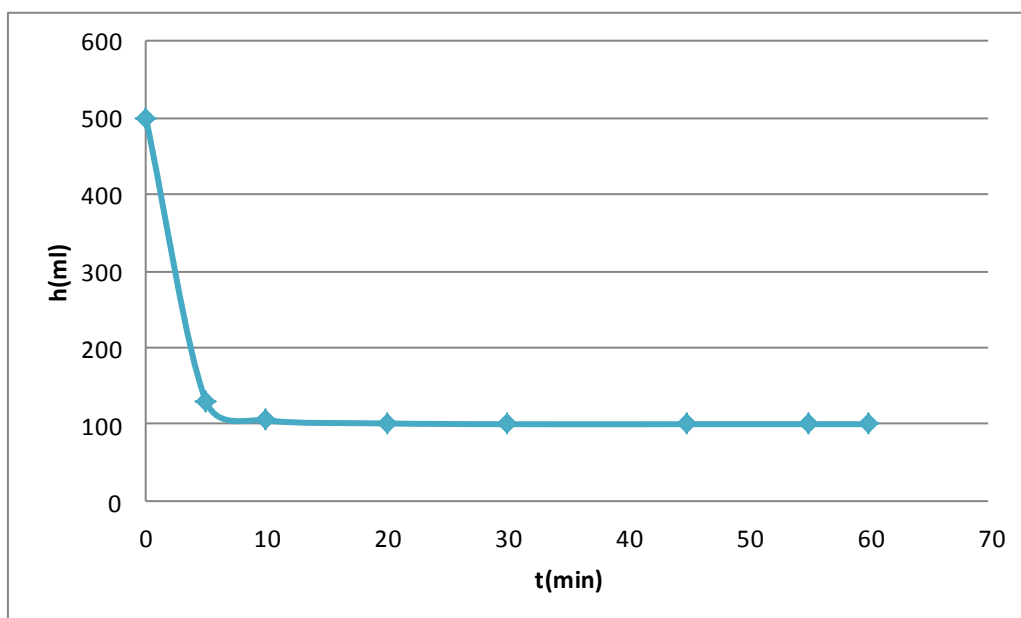
Σχήμα 4.2.2.6. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC ,0.5 mL FL4440 και 7.4 NTU.



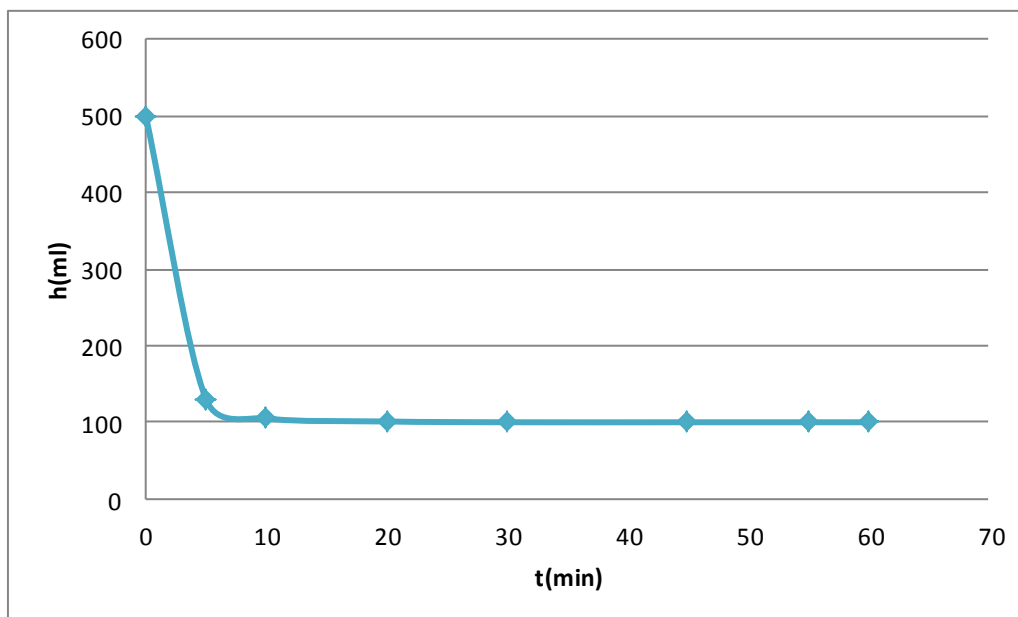
Σχήμα 4.2.2.7. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC, 1.0 mL FL4440 και 1.05 NTU.



Σχήμα 4.2.2.8. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC, 1.5 mL FL4440 και 0.83 NTU.



Σχήμα 4.2.2.9. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC, 2.0 mL FL4440 και 0.62 NTU.



Σχήμα 4.2.2.10. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC, 3.0 mL FL4440 και 0.32 NTU.

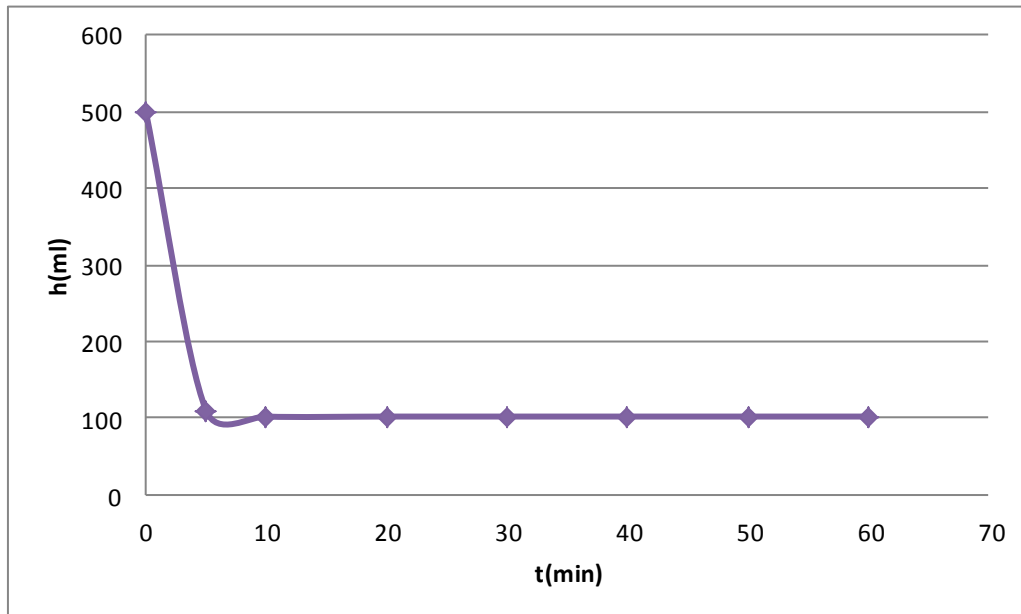
Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ανακύπτει πως η πιο κατάλληλη δόση μίγματος είναι 0.5 mL PAC με 1 mL FL4440 με βάση την καμπύλη καθίζησης και τις τιμές που παίρνει η θολερότητα (0.83 NTU). Με την αύξηση προσθήκης κροιδωτικού στο απόβλητο δεν μεταβάλλεται η κροκίδωση.

Ακολούθησαν πειράματα με την βέλτιστη δόση PAC (0.5 mL) με το κροκιδωτικό FO4190 VHM σε διάφορες συγκεντρώσεις έτσι ώστε να βρεθεί η βέλτιστη δόση του συγκεκριμένου μίγματος όπως φαίνεται στον Πίνακα 7. Τα διαγράμματα των πειραμάτων αυτών φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα.

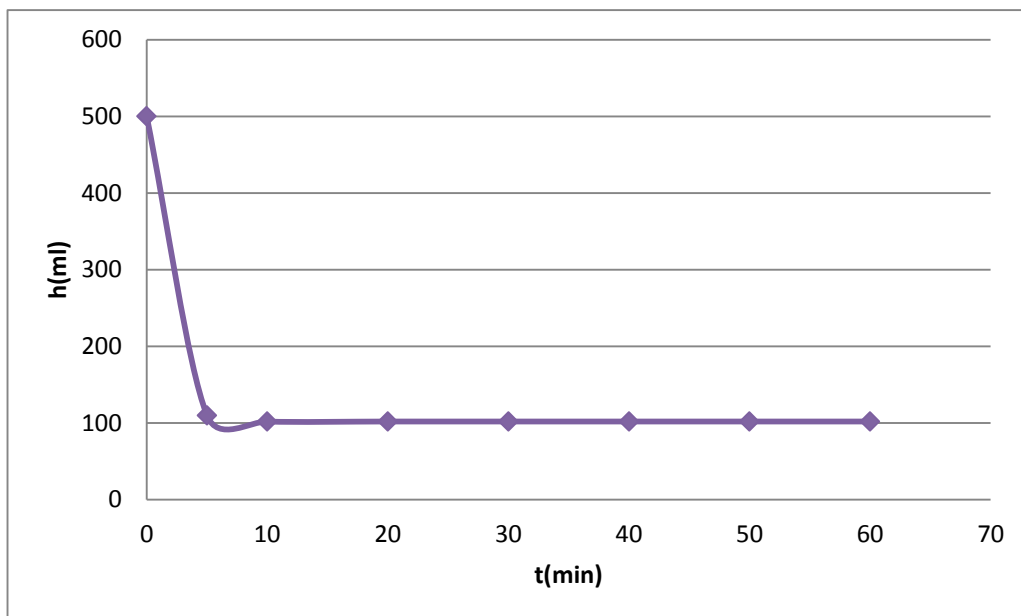
Πίνακας 7. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με FO4190 VHM και τιμές θολερότητας (NTU).

| | PAC (0.5mL) FO4190 VHM (0.1 mL) | PAC (0.5mL) FO4190 VHM (0.2 mL) | PAC (0.5mL) FO4190 VHM (0.3 mL) | PAC (0.5 mL) FO4190 VHM (0.4 mL) | PAC (0.5mL) FO4190 VHM (0.5 mL) |
|-----------------------------|---|--|--|---|--|
| Ph | 7.3 | 7.3 | 6.8 | 7.1 | 7 |
| Θολερότητα (NTU) | 1.25 | 0.38 | 0.26 | 0.07 | 0.05 |

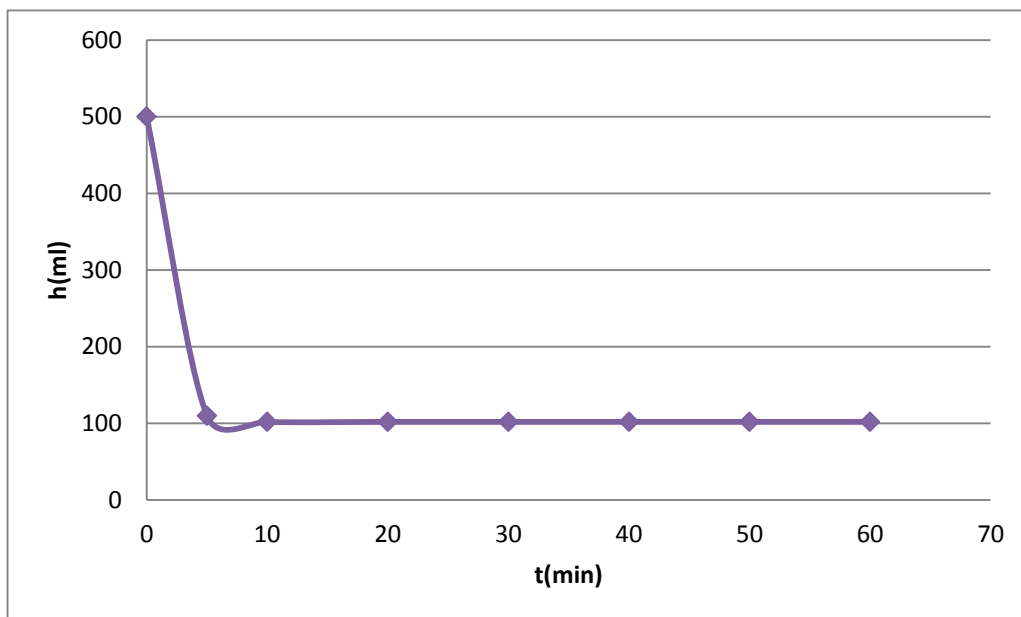
Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ανακύπτει πως η πιο κατάλληλη δόση μίγματος είναι 0.5 mL PAC με 0.2 mL FO4190 VHM με βάση την καμπύλη καθίζησης και τις τιμές που παίρνει η θολερότητα (0.38 NTU). Με την αύξηση προσθήκης κροιδωτικού στο απόβλητο δεν μεταβάλλεται η κροκίδωση.



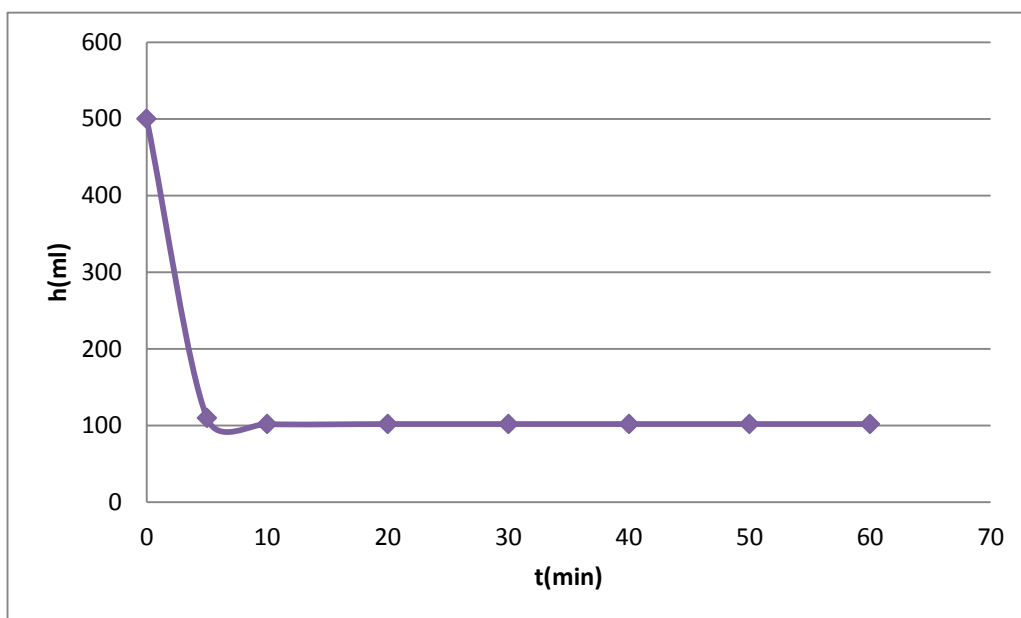
Σχήμα 4.2.2.11. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.1 mL FO4190 VHM, 1.25 NTU .



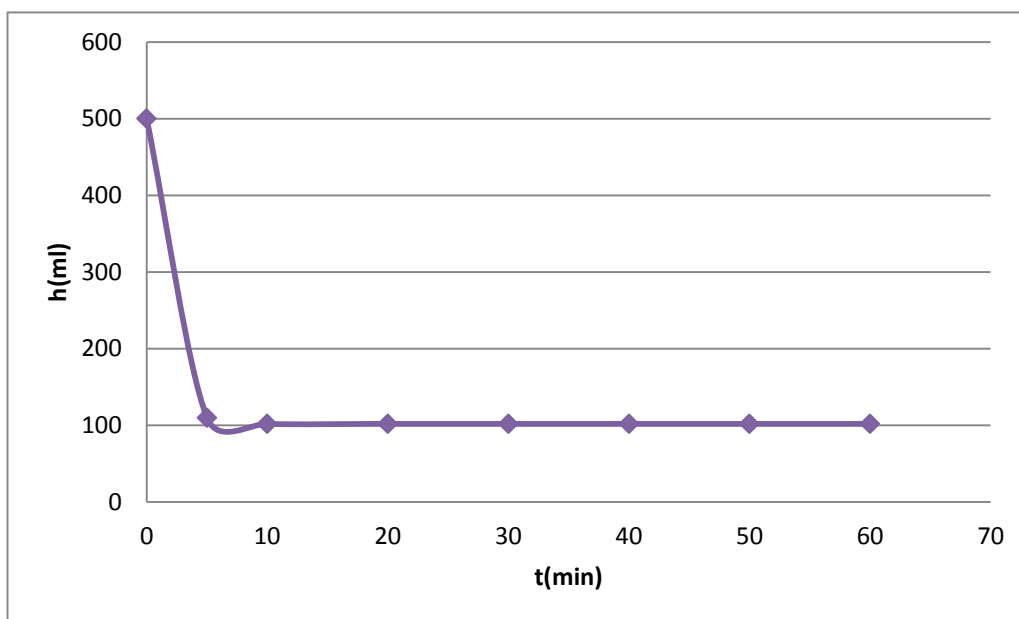
Σχήμα 4.2.2.12. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.2 mL FO4190 VHM, 0.38 NTU.



Σχήμα 4.2.2.13. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλη καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.3 mL FO4190 VHM, 0.26 NTU.



Σχήμα 4.2.2.14. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλη καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.4 mL FO4190 VHM, 0.07 NTU.



Σχήμα 4.2.2.15. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλη καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.5 mL FO4190 VHM, 0.07 NTU.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ανακύπτει πως η πιο κατάλληλη δόση μίγματος είναι 1mL PAC με 0.2 mL FO4190 VHM με βάση την καμπύλη καθίζησης και τις τιμές που παίρνει η θολερότητα (0.38 NTU).

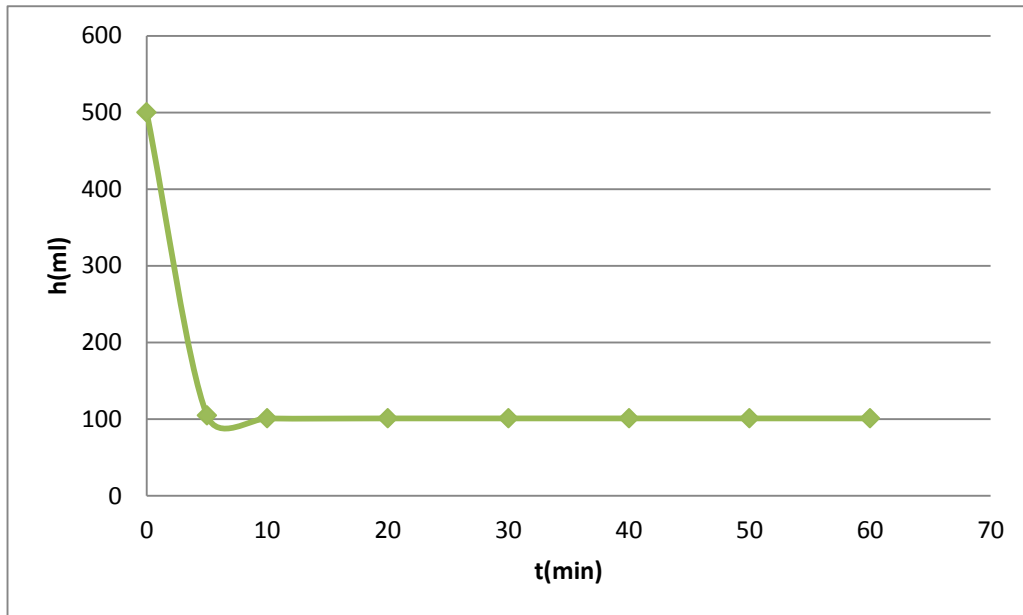
Ακολούθησαν πειράματα με την βέλτιστη δόση PAC (0.5 mL) με το κροκιδωτικό FO4650 VHM σε διάφορες συγκεντρώσεις έτσι ώστε να βρεθεί η βέλτιστη δόση του συγκεκριμένου μίγματος όπως φαίνεται στον Πίνακα 8. Τα διαγράμματα των πειραμάτων αυτών φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα.

Πίνακας 8. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με FO4650 VHM και τιμές θολερότητας (NTU).

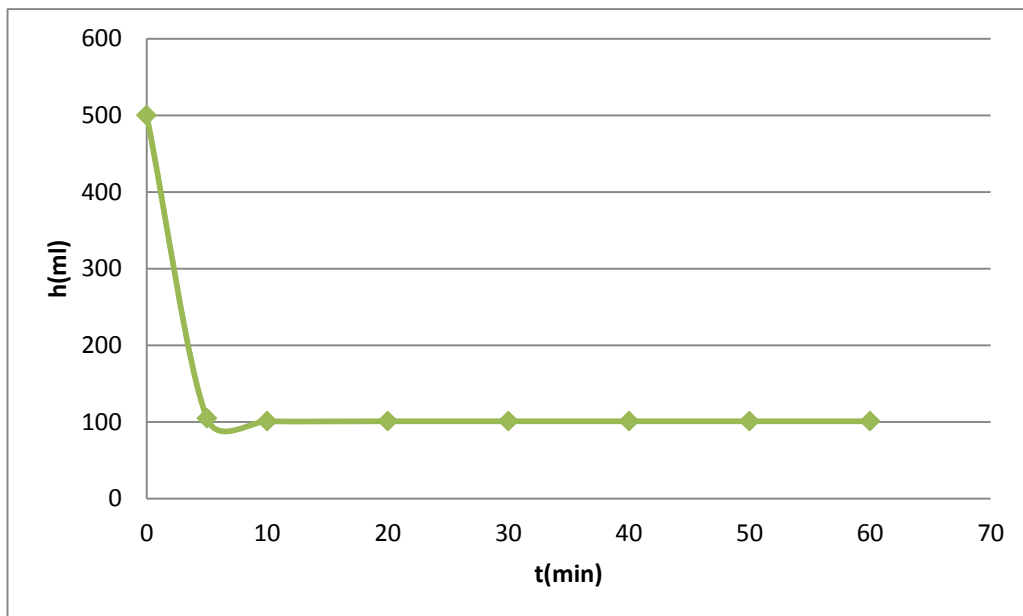
| | PAC (0.5mL) FO4650 VHM (0.1 mL) | PAC (0.5mL) FO4650 VHM (0.2 mL) | PAC (0.5mL) FO4650 VHM (0.3 mL) | PAC (0.5 mL) FO4650 VHM (0.4 mL) | PAC (0.5mL) FO4650 VHM (0.5 mL) |
|---------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|
| pH | 7.3 | 7.3 | 6.8 | 7.1 | 7 |
| Θολερότητα (NTU) | 3.1 | 0.35 | 0.75 | 0.12 | 0.11 |

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ανακύπτει πως η πιο κατάλληλη δόση μίγματος είναι 0.5 mL PAC με 0.2 mL FO4650 VHM με βάση την καμπύλη καθίζησης

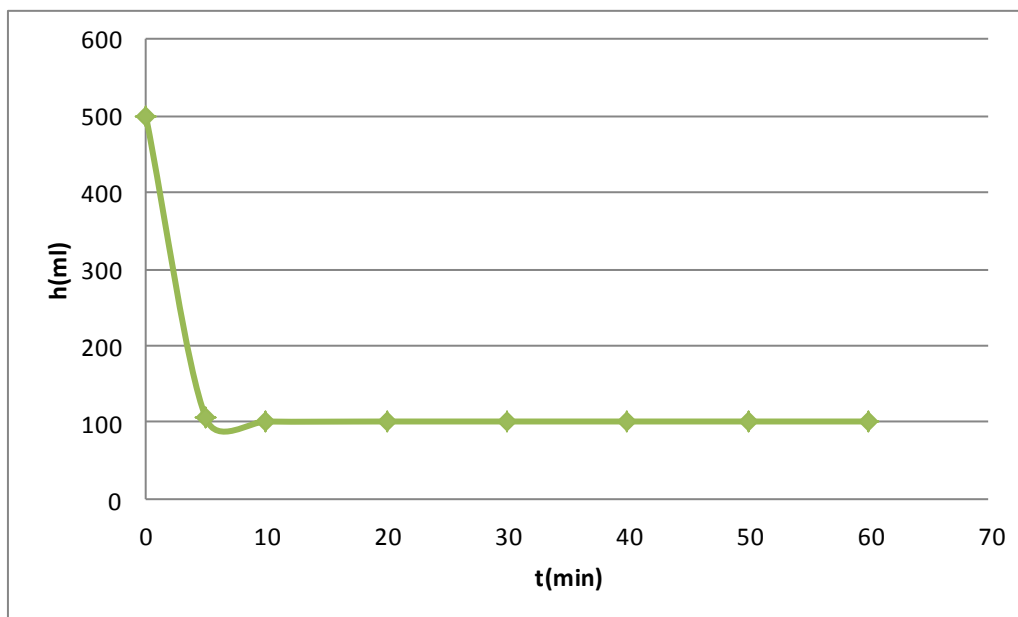
και τις τιμές που παίρνει η θολερότητα (0.35 NTU). Με την αύξηση προσθήκης κροιδωτικού στο απόβλητο δεν μεταβάλλεται η κροκίδωση όπως φαίνεται και στα Σχήματα 4.2.2.16 – 4.2.2.20.



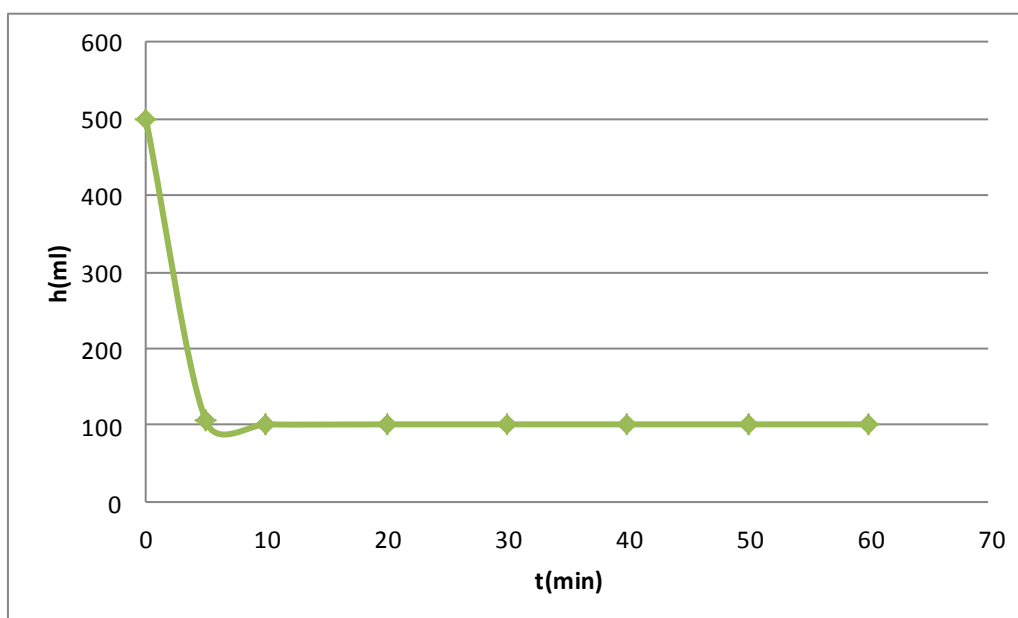
Σχήμα 4.2.2.16. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.1 mL FO4650 VHM, 3.1 NTU.



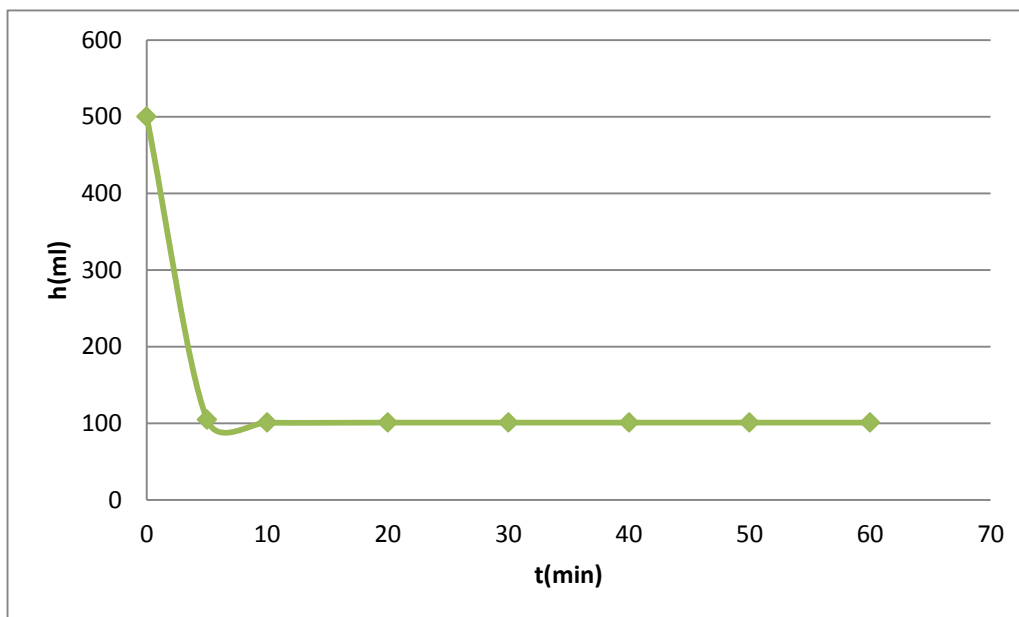
Σχήμα 4.2.2.17. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.2 mL FO4650 VHM, 0.75 NTU.



Σχήμα 4.2.2.18. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.3 mL FO4650 VHM, 0.35 NTU.



Σχήμα 4.2.2.19. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 04 mL FO4650 VHM, 0.12 NTU.



Σχήμα 4.2.2.20. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.5 mL FO4650 VHM, 0.11 NTU.

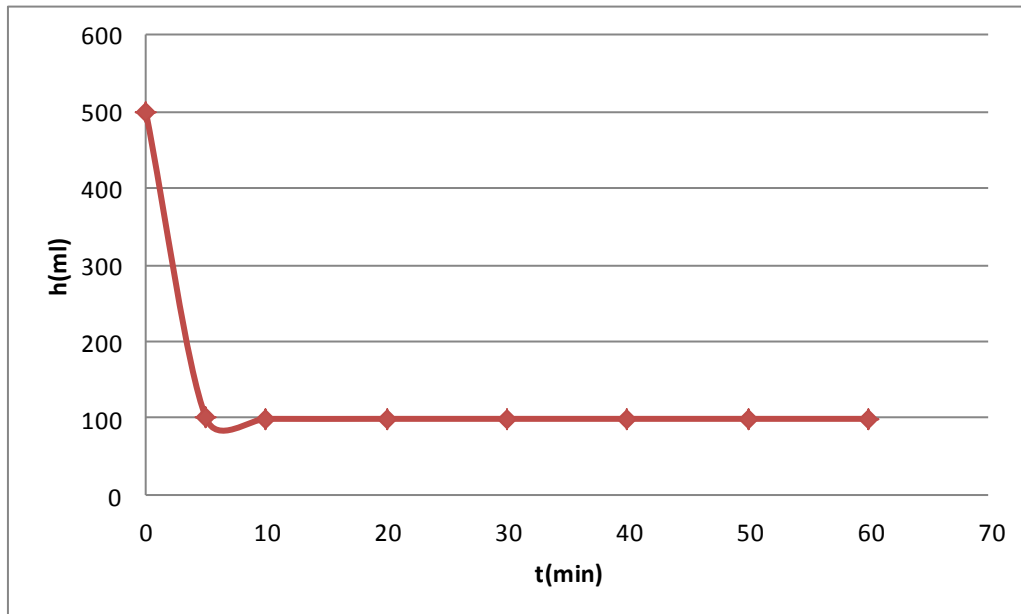
Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ανακύπτει πως η πιο κατάλληλη δόση μίγματος είναι 1mL PAC με 0.2 mL FO4650 VHM με βάση την καμπύλη καθίζησης και τις τιμές που παίρνει η θολερότητα (0.35 NTU).

Ακολούθησαν πειράματα με την βέλτιστη δόση PAC (0.5 mL) με το κροκιδωτικό AN934 SH σε διάφορες συγκεντρώσεις έτσι ώστε να βρεθεί η βέλτιστη δόση του συγκεκριμένου μίγματος όπως φαίνεται στον Πίνακα 9. Τα διαγράμματα των πειραμάτων αυτών φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα.

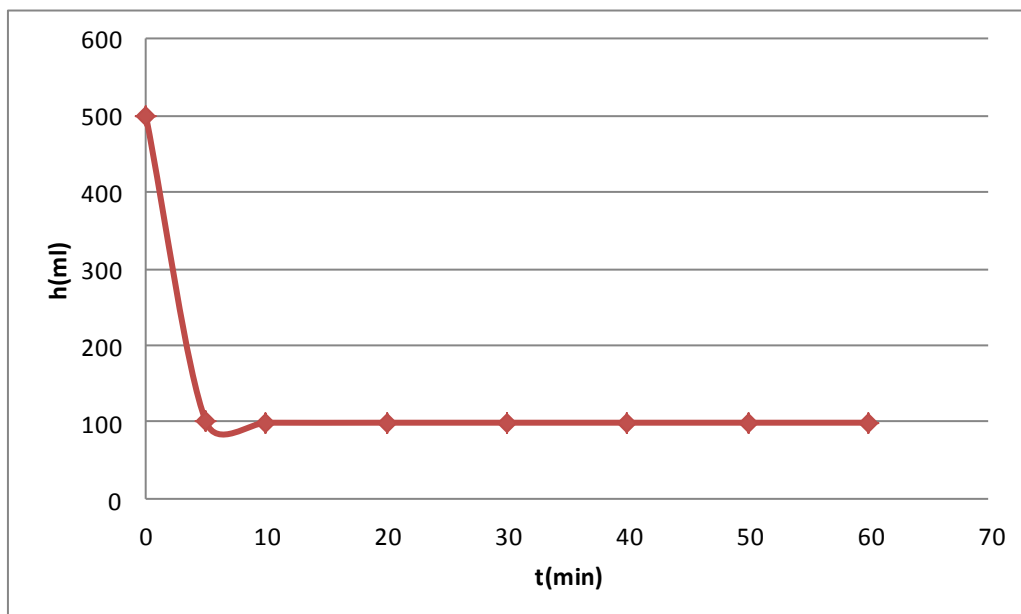
Πίνακας 9. Συγκριτική μελέτη προστιθέμενης ποσότητας PAC με AN934 SH και τιμές θολερότητας (NTU).

| | PAC (0.5mL) AN934 SH (0.1 mL) | PAC (0.5mL) AN934 SH (0.2 mL) | PAC (0.5mL) AN934 SH (0.3 mL) | PAC (0.5 mL) AN934 SH (0.4 mL) | PAC (0.5mL) AN934 SH (0.5 mL) |
|-----------------------------|--|--|-------------------------------------|---|--|
| PH | 7 | 8 | 8 | 8.5 | 8.7 |
| Θολερότητα (NTU) | 5.6 | 0.66 | 0.23 | 0.25 | 0.20 |

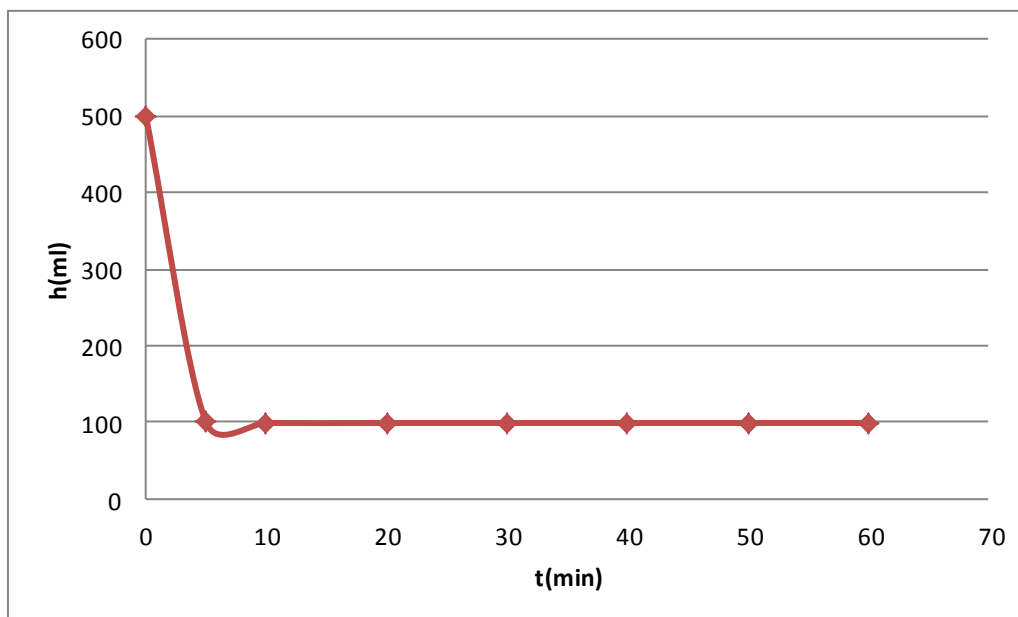
Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα ανακύπτει πως η πιο κατάλληλη δόση μίγματος είναι 0.5 mL PAC με 0.2 mL AN934 με βάση την καμπύλη καθίζησης και τις τιμές που παίρνει η θολερότητα (0.66 NTU). Με την αύξηση προσθήκης κροιδωτικού στο απόβλητο δεν μεταβάλλεται η κροκίδωση όπως φαίνεται και στα Σχήματα 4.2.2.21 – 4.2.2.25.



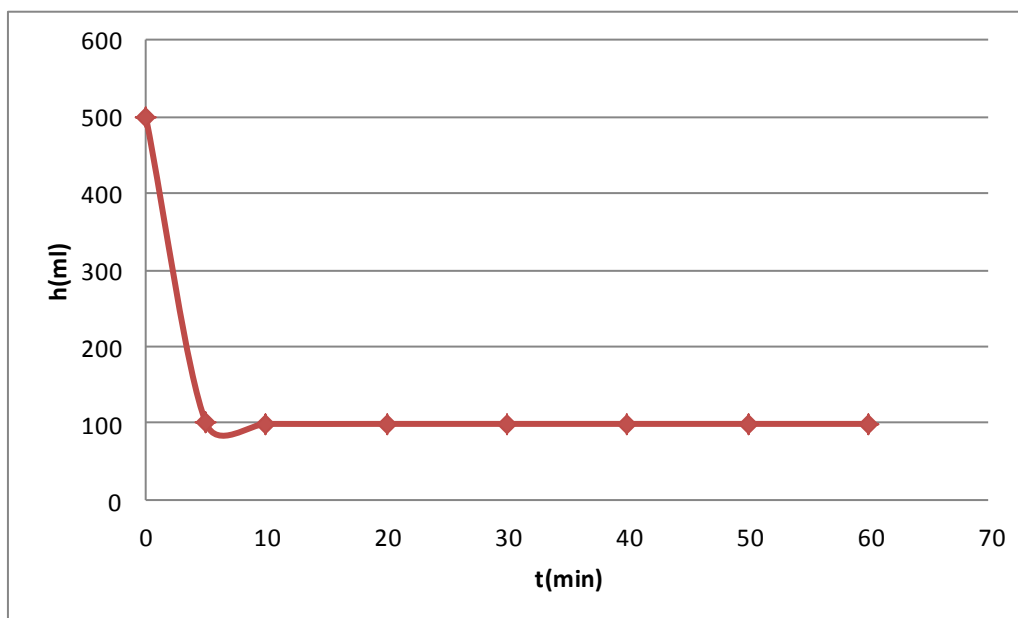
Σχήμα 4.2.2.21. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.1 mL AN934 SH, 5.6 NTU.



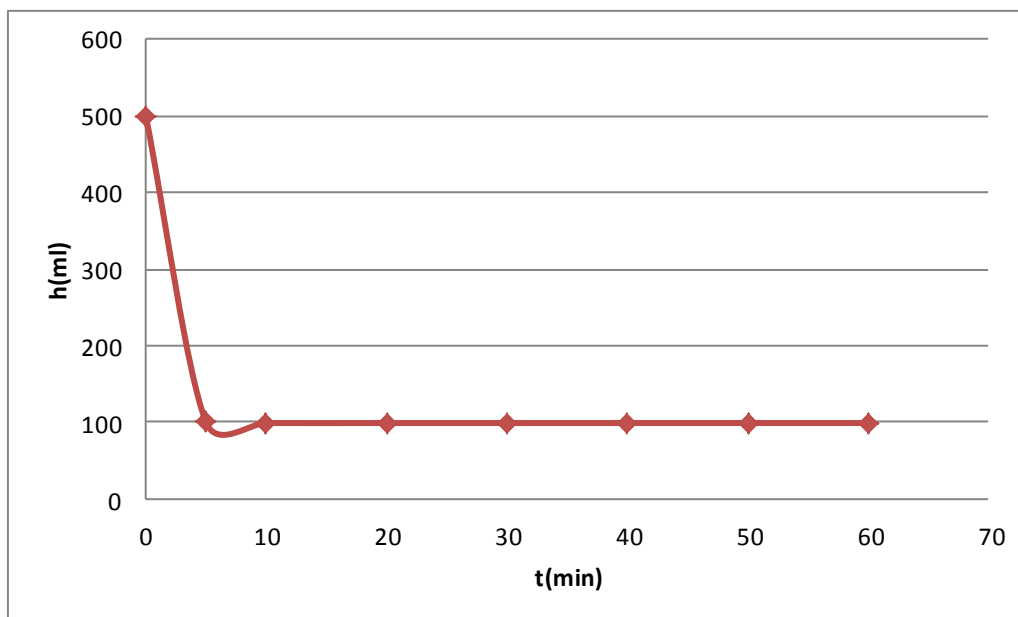
Σχήμα 4.2.2.22. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.2 mL AN934 SH, 0.66 NTU.



Σχήμα 4.2.2.23. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.3 mL AN934 SH, 0.25 NTU.



Σχήμα 4.2.2.24. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.4 mL AN934 SH, 0.23 NTU.



Σχήμα 4.2.2.25. Διαγραμματική αναπαράσταση καμπύλης καθίζησης συναρτήσει χρόνου με την προσθήκη 0.5 mL PAC και 0.5 mL AN934 SH, 0.20 NTU.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι η καλύτερη συγκέντρωση PAC είναι αυτή των 0,5 mL στα 500 mL απόβλητου, πράγμα που επαληθεύεται από τις διαγραμματικές αναπαραστάσεις και τις τιμές θολερότητας των δειγμάτων.

Οπότε το επόμενο βήμα, η τρίτη σειρά πειραμάτων είναι να ελέγξουμε την περιοχή τιμών γύρω από το 0.5 mL. Έτσι σχεδιάζονται πειράματα όπως φαίνονται στον Πίνακα 10. Στη συγκεκριμένη σειρά πειραμάτων πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις TSS , COD, BOD₅, θολερότητα, pH. Στην Εικόνα 4.2.2.1 φαίνεται η ζύγιση των φίλτρων για τον υπολογισμό των TSS των δειγμάτων μας.

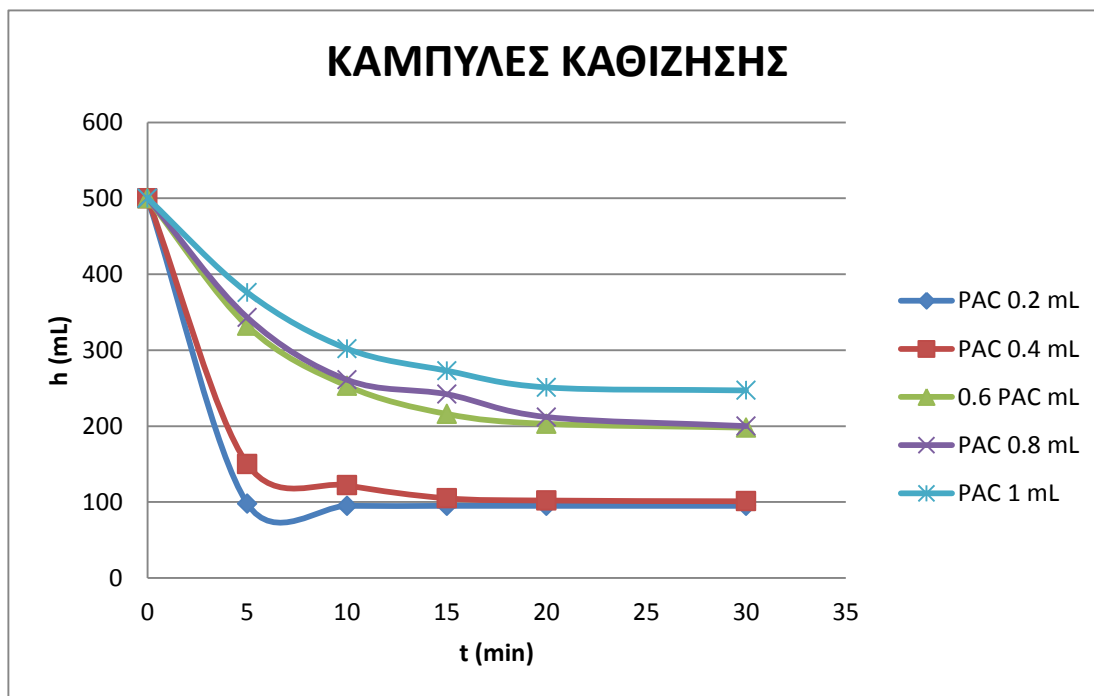


Εικόνα 4.2.2.1. Απεικόνιση ζυγίσματος φίλτρων για τον προσδιορισμό του TSS.

Σε πέντε δοχεία των 500 mL τοποθετώ απόβλητο από το βιολογικό καθαρισμό Χανίων προσθέτοντας διαφορετικές συγκεντρώσεις κροκιδωτικού PAC για να καταλήξω στη καλύτερη συγκέντρωση, τα οποία τα αναδεύω για 1 min με σταθερή ταχύτητα 100 rpm και ρυθμίζω το PH σε κάθε δοχείο να είναι μεγαλύτερο από 6.5 .

Πίνακας 10. Πειραματικά αποτελέσματα προσθήκης διαφόρων ποσοτήτων κροκιδωτικού PAC.

| Χαρακτηριστικά | Δείγμα | 0.2 mL PAC | 0.4 mL PAC | 0.6 mL PAC | 0.8 mL PAC | 1.0 mL PAC |
|-------------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| PH | 7.6 | 6.9 | 6.6 | 7 | 7.1 | 6.7 |
| Θολερότητα (NTU) | 132 | 10.1 | 6.3 | 8.2 | 8.8 | 8.3 |
| BOD₅ (mg/L) | 339 | 157 | 146 | 133 | | |
| COD (mg/L) | 524 | | 179.4 | | | |
| TSS (mg/L) | 210.67 | 37 | 36 | 29 | | |

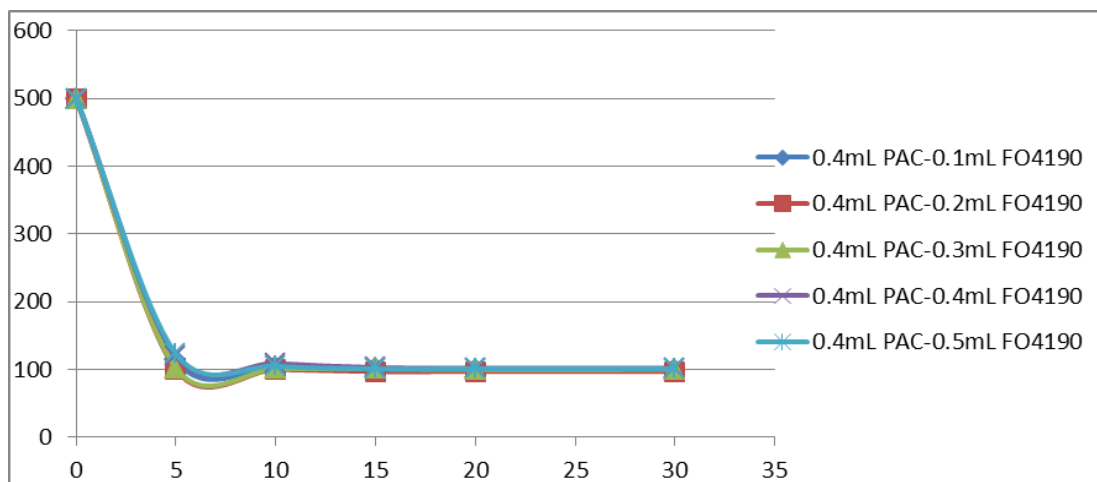


Σχήμα 4.2.2.26. Καμπύλες καθίζησης δείγματος λυμάτων για διαφορετικές συγκεντρώσεις κροκιδωτικού PAC.

Επιλέγω ως καλύτερη συγκέντρωση 0.4 mL PAC λόγω καλύτερης καμπύλης καθίζησης και θολερότητας. Φτιάχνω διάλυμα FO4190 με σύσταση 2/1000 αναλυτικότερα 2 gr FO4190 σε 1000 mL απιονισμένου νερού. Τοποθετώ σε πέντε δοχεία των 500 mL την καλύτερη συγκέντρωση PAC (0.4 mL) προσθέτω διαφορετικές συγκεντρώσεις του FO4190 για να επιλέξω το καλύτερο μίγμα. Αναδεύω με 100 rpm για 1 min και ρυθμίζω το PH έτσι ώστε να είναι μεγαλύτερο από 6.5 .

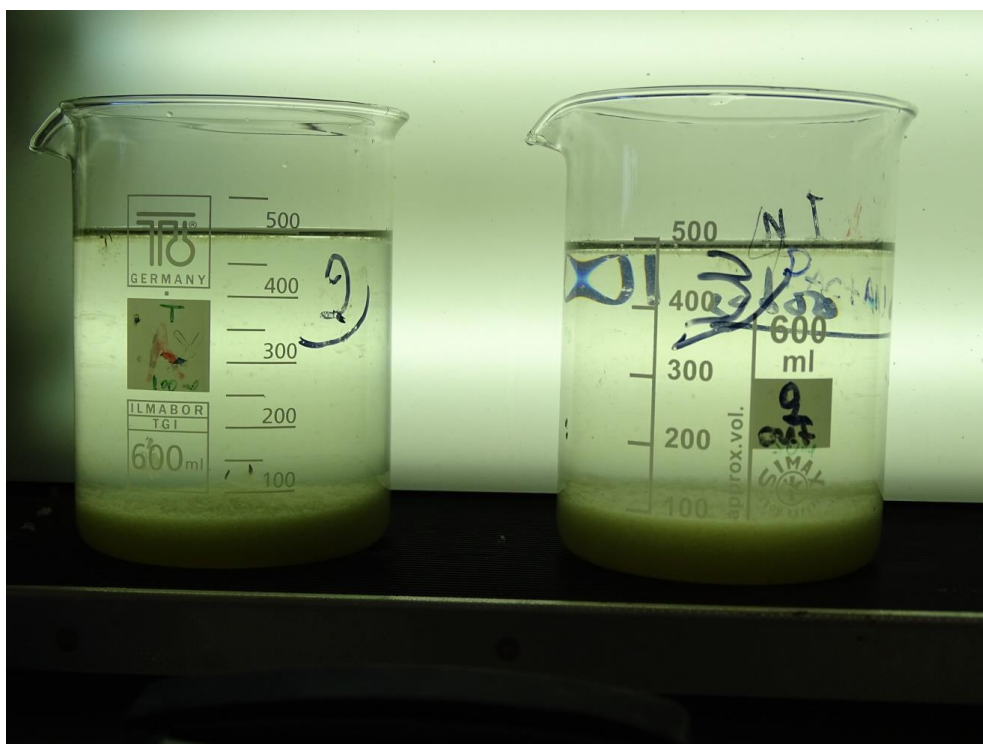
Πίνακας 11. Πειραματικά αποτελέσματα προσθήκης διαφόρων ποσοτήτων κροκιδωτικού FO4190.

| Χαρακτηριστικά | FO4190 | | | | |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.1 mL | 0.2 mL | 0.3 mL | 0.4 mL | 0.5 mL |
| pH | 7 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.9 |
| Θολερότητα (NTU) | 2.9 | 4.5 | 7.5 | 5.3 | 6.6 |
| BOD ₅ (mg/L) | 124 | | | | |
| COD (mg/L) | 179.6 | | | | |
| TSS (mg/L) | 80 | | | | |



Σχήμα 4.2.2.27. Καμπύλες καθίζησης δείγματος λυμάτων για 0,4 mL PAC και διαφορετικές συγκεντρώσεις κροκιδωτικού FO4190.

Επιλέγω το πρώτο δοχείο λόγω θολερότητας και καμπύλης καθίζησης, δηλαδή το 0.4 mL PAC- 0.1 mL FO4190.

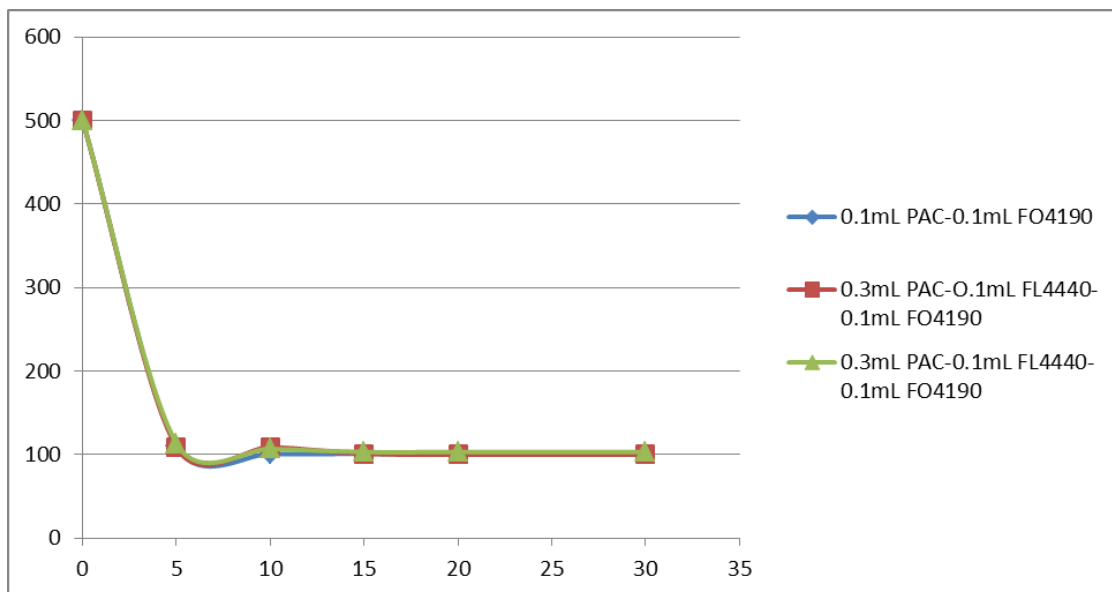


Εικόνα 4.2.2.2. Κοντινή απεικόνιση της επίδρασης του κροκιδωτικού στα αστικά λύματα.

Τοποθετώ σε τρία δοχεία των 500 mL την καλύτερη συγκέντρωση PAC (0.4 mL) προσθέτω την καλύτερη συγκεντρώση του FO4190 (0.1 mL) και προσθέτω στα άλλα δύο δοχεία 0.1 mL FL4440 για να επιλέξω το καλύτερο μίγμα. Αναδεύω με 100 rpm για 3 min και ρυθμίζω το pH έτσι ώστε να είναι μεγαλύτερο από 6.5 .

Πίνακας 12. Πειραματικά αποτελέσματα προσθήκης με 0,4 mL PAC και 0,1 mL FL4440 και διαφόρων ποσοτήτων κροκιδωτικού FO4190.

| Χαρακτηριστικά | 0.3 mL PAC-0.1mL FO4190 (1min) | 0.3 mL PAC-0.05 mL FO4190 (1min) | 0.3 mL PAC-0.1mL FL4440-0.1 mL FO4190 (1min) |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| pH | 7.4 | 7.5 | 7.5 |
| Θολερότητα (NTU) | 1.5 | 6.9 | 9.2 |
| BOD ₅ (mg/L) | 144 | 83 | 88 |
| COD (mg/L) | 180 | | |
| TSS (mg/L) | 37.93 | 65.52 | 90.32 |



Σχήμα 4.2.2.28. Καμπύλες καθίζησης δείγματος λυμάτων για τις βέλτιστες τιμές κροκιδωτικών.

Εξετάζοντας λοιπόν τη μεταβολή όλων των παραμέτρων για όλες τις δόσεις κροκιδωτικών, θεωρούμε ως «βέλτιστη δόση» κροκιδωτικού τα παρακάτω μίγματα.

- 0,1 mL FO4190 VHM και 0,3 ml PAC σε 500 mL αποβλήτου.
- 0,05 mL FO4190 VHM και 0,3 ml PAC σε 500 mL αποβλήτου.

- 0.1mL FL4440 και 0.1 mL FO4190 0,1 mL FL4440 και 0,3 ml PAC σε 500 mL αποβλήτου.

Με την προσθήκη αυτών των ποσοτήτων κροκιδωτικών, επιτυγχάνεται ένα σημαντικά μεγάλο ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης των παραμέτρων, με ικανοποιητικές τιμές για την περαιτέρω επεξεργασία του λύματος στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης επεξεργασίας των αστικών λυμάτων. Επιπλέον, με εφαρμογή μεγαλύτερης δόσης, δεν πραγματοποιούνται σημαντικά μεγαλύτερες μειώσεις, τόσο όσο να συμφέρει οικονομικά η χρησιμοποίησή του στη διεργασία της κροκίδωσης. Συμπερασματικά το καλύτερο κροκιδωτικό είναι το διάλυμα 0,1 mL FO4190 VHM και 0,3 ml PAC σε 500 mL λύματος λόγω των αποτελεσμάτων στις παραμέτρους που φαίνονται στον Πίνακα 12 και λόγω των οικονομικών κριτηρίων.

4.2.3. Κοστολόγηση

Η κοστολόγηση των κροκιδωτικών που χρησιμοποιήθηκαν είναι σημαντική παράμετρος ώστε να μπορέσει να γίνει μια εκτίμηση κόστους χρήσης των κροκιδωτικών σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων πιλοτικής κλίμακας. Στα πειράματα όλοι οι όγκοι των δειγμάτων από το απόβλητο πρωτοβάθμιας καθίζησης ήταν 500 ml και με βάση τις διαφορετικές ποσότητες που χρησιμοποιήθηκαν από το PAC και τα FO4190 και FL4440 θα γίνει η κοστολόγηση και η εκτίμηση κόστους για μεγαλύτερους όγκους αποβλήτου.

Εξετάζουμε τα μίγματα που είχαν καλύτερα αποτελέσματα τα οποία είναι τα εξής:

✓ 0.3 mL PAC – 0,1 mL 0.2 % w/v FO4190 – 0.1 mL 0.2 % w/v FL4440

Για 0.3 mL PAC στα 500 mL δείγματος το κόστος δίνεται από τον τύπο:

$k = 0.3 \times 10^{-3} \text{ €/g} \times 1.33 \text{ g/mL} \times y \text{ (mL)}$, όπου το y είναι ο όγκος του διαλύματος

PAC που προσθέτουμε στο απόβλητο. Άρα θα έχουμε:

$k = 0.012 \text{ cents}$ για 0.3 ml PAC σε 500 ml απόβλητου.

Επίσης για 0.1 mL FO4190 0.2% το κόστος δίνεται από τον τύπο:

$k = 2.5 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-2} \times y$, όπου το y είναι ο όγκος του διαλύματος FO4190

που προσθέτουμε στο δείγμα. Άρα σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε

$k = 0.00005$ cents για 0,1 ml FO4190 σε 500 ml αποβλήτου

Ακόμη για 0.1 mL FL4440 0.2% το κόστος δίνεται από τον τύπο:

$k = 2.5 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-2} \times y$, όπου το y είναι ο όγκος του διαλύματος FL4440

που προσθέτουμε στο δείγμα. Άρα σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε

$k = 0.00005$ cents για 0.1 ml FO4190 σε 500 ml αποβλήτου

ΣΥΝΟΛΟ = 0.01210 cents κόστος κροκιδωτικών στα 500 ml αποβλήτου.

Συνεπώς αν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα κυβικό (m^3) αποβλήτου δηλαδή 1000 L έχουμε:

Κόστος κροκιδωτικών: 24,2 cents = **0,24 euro/m³** αποβλήτου.

✓ 0.3 mL PAC – 0,1 mL 0.2 % w/v FO4190

Για 0.3 mL PAC στα 500 mL δείγματος το κόστος δίνεται από τον τύπο:

$k = 0.3 \times 10^{-3} \text{ €/g} \times 1.33 \text{ g/mL} \times y \text{ (mL)}$, όπου το y είναι ο όγκος του διαλύματος

PAC που προσθέτουμε στο απόβλητο. Άρα θα έχουμε:

$k = 0.012$ cents για 0,3 ml PAC σε 500 ml αποβλήτου.

και αντίστοιχα για 0,1 mL FO4190 0,2% το κόστος δίνεται από τον τύπο:

$k = 2.5 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-2} \times y$, όπου το y είναι ο όγκος του διαλύματος FO4190

που προσθέτουμε στο δείγμα. Άρα και εδώ θα έχουμε:

$k = 0.00005$ cents για 0,1 ml FO4190 σε 500 ml αποβλήτου

ΣΥΝΟΛΟ = 0.01205 cents κόστος κροκιδωτικών στα 500 ml αποβλήτου.

Συνεπώς για ένα κυβικό (m^3) αποβλήτου θα έχουμε:

Κόστος κροκιδωτικών: 24,1 cents = **0,24 euro/m³** αποβλήτου.

✓ 0.3 mL PAC – 0,05 mL 0.2 % w/v FO4190

Για 0.3 mL PAC στα 500 mL δείγματος όπως και προηγουμένος θα έχουμε:

$k = 0.012$ cents

και για 0,05 mL FO4190 0,2% το κόστος δίνεται αντίστοιχα από τον τύπο:

$k = 2.5 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-2} \times y$, όπου το y είναι ο όγκος του διαλύματος FO4190

που προσθέτουμε στο δείγμα. Άρα έχουμε:

$k = 0.000025$ cents για 0,05 ml FO4190 σε 500 ml αποβλήτου

ΣΥΝΟΛΟ = 0.012025 cents κόστος κροκιδωτικών στα 500 ml αποβλήτου.

Συνεπώς για ένα κυβικό (m^3) αποβλήτου θα έχουμε:

Κόστος κροκιδωτικών: 24,05 cents = **0,24 euro/ m^3** αποβλήτου.

✓ 0.3 mL PAC – 0,1 mL 0.2 % w/v FL4440

Για 0.3 mL PAC στα 500 mL δείγματος όπως και προηγουμένος το κόστος θα είναι:

$k = 0.012$ cents

και για 0,1 mL FL4440 0,2% το κόστος δίνεται από τον τύπο:

$k = 3.0 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-2} \times y$, όπου το y είναι ο όγκος του διαλύματος FL4440

που προσθέτουμε στο δείγμα. Άρα θα έχουμε:

$k = 0.00006$ cents για 0,1 ml FL4440 σε 500 ml αποβλήτου.

ΣΥΝΟΛΟ = 0.01206 cents κόστος κροκιδωτικών στα 500 ml αποβλήτου.

Συνεπώς για ένα κυβικό (m^3) αποβλήτου θα έχουμε:

Κόστος κροκιδωτικών: 24,12 cents = **0,24 euro/ m^3** αποβλήτου.

Από τα παραπάνω κοστολόγια βλέπουμε ότι και τα τέσσερα μίγματα έχουν σχεδόν την ίδια τιμή (0,24 ευρώ / κυβικό αποβλήτου). Αυτό συμβαίνει γιατί ο όγκος του PAC (κροκιδωτικό) σε όλα τα μίγματα είναι σταθερός και είναι αυτός που καθορίζει το συνολικό κόστος του μίγματος κροκιδωτικών. Τα υπόλοιπα κροκιδωτικά (FO4190 VHM, FL4440) λόγω της συγκέντρωσής τους δεν επηρεάζουν τη συνολική τιμή λόγω της χαμηλής συγκέντρωσής τους στο διάλυμα και γι' αυτό το λόγο ο μόνος καθοριστικός παράγοντας του κόστους είναι η συγκέντρωση του συσσωματικού (PAC) στο διάλυμα (0.6 mL / L). Οπότε με τη μείωση της συγκέντρωσης του PAC μπορούμε να επηφέρουμε συνολική μείωση του κόστους αλλά η παραπάνω συγκέντρωση (0.6 mL/L) είναι η βέλτιστη ελάχιστη για ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, τα στοιχεία για τον βιολογικό καθαρισμό της πόλης των χανίων και με το κόστος αγοράς των κροκιδωτικών που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία μπορούμε να εξάγουμε τα εξής οικονομικά στοιχεία:

Η κοστολόγηση για το βέλτιστο μίγμα κροκιδωτικών - συσσωματικών που έχουν δοκιμαστεί σε εργαστηριακή κλίμακα είναι:

- Για το μίγμα **0,3 mL PAC και 0,1 mL 0,2% w/v FO4190** έχουμε:

Τα 0,3 mL PAC δοκιμάστηκαν σε 0,5 L δείγματος άρα απαιτούνται 0,6 mL ανά λίτρο δείγματος. Με δυναμικότητα βιολογικού καθαρισμού 26.000.000 L/d απαιτούνται 15.600 L PAC. Βάση της πυκνότητας του PAC που είναι 1,33 Kg/L προκύπτει ότι περιέχονται 20.748 Kg. Με τιμή 0,3 €/Kg που κοστίζει το PAC έχουμε 6.224,3 € PAC / d.

Για το FO4190 έχουμε διάλυμα 0,2% w/v που σημαίνει ότι για ένα λίτρο δείγματος προσθέτουμε 0,2 mL διαλύματος ή διαφορετικά $0,4 \times 10^{-3}$ g FO4190. Άρα για ημερήσια δυναμικότητα 26.000.000 L λυμάτων απαιτούνται 10,4 Kg και με τιμή αγοράς του FO4190 3 € / Kg προκύπτει ποσό ύψους 31,20 € για την χρήση του FO4190.

Συμπερασματικά για την περίπτωση αυτή έχουμε **6.255,50 € /d.**

Συμπερασματικά τα παραπάνω κοστολόγια (6255 ευρώ / ημέρα) δεν εξυπηρετούν για καθημερινή χρήση των παραπάνω αντιδραστηριών στο βιολογικό καθαρισμό των Χανίων. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει η ανάγκη να χρησιμοποιηθούν μικρότερες ποσότητες κυρίως του συσσωματικού PAC στις δεξαμενές οι οποίες θα είναι οικονομικά αποδεκτές και συγχρόνως αποτελεσματικές για τη μείωση του οργανικού και ρυπαντικού φορτίου, κάτι που χρήζει περαιτέρω έρευνας.

5 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η κροκίδωση είναι μια από τις πλέον διαδεδομένες και σημαντικές φυσικοχημικές διεργασίες επεξεργασίας των υγρών αστικών αποβλήτων, για αυτό και είναι σημαντική η εξέταση επιλογής των κατάλληλων χημικών και των ποσοτήτων αυτών ώστε να μελετηθεί ο βέλτιστος συνδυασμός κροκιδωτικών και των ποσοτήτων τους που παίζει σημαντικό ρόλο στο κόστος επεξεργασίας.

Με βάση τα χημικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, τα οποία ήταν και τα πιο διαδεδομένα πάνω στην κροκίδωση υγρών αποβλήτων, αποδείχθηκε ότι τα πιο αποδοτικά μίγματα φαίνεται να είναι τα εξής τρία: 0.1 mL FO4190 VHM με 0.3 ml PAC, 0.05 mL FO4190 VHM με 0.3 ml PAC και 0.1mL FL4440 με 0.1 mL FO4190 με 0.3 ml PAC σε 500 mL αποβλήτου. Και με βάση την εκτίμηση κόστους τους οι πιο οικονομικοί και αποδοτικοί συνδυασμός είναι ο 0.1 mL FO4190 VHM με 0.3 ml PAC σε 500 mL αποβλήτου με κόστος 0,24 euro/m³. Όπως εξετάστηκε ο μόνος καθοριστικός παράγοντας του κόστους είναι η συγκέντρωση του συσσωματικού (PAC) στο διάλυμα (0.6 mL / L), η οποία είναι η βέλτιστη ελάχιστη για ικανοποιητικά αποτελέσματα για μέθοδο της κροκίδωσης.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα φάνηκε ότι η καλύτερη συγκέντρωση του PAC ήταν 0.6 mL/L απόβλητου (0.3 mL στα 500 mL) και για το FO4190 VHM ήταν 0.2 mL/L απόβλητου (για 0.2 % διαλύματος FO4190). Επίσης αποδείχθηκε ότι το βέλτιστο μίγμα 0.1 mL FO4190 VHM με 0.3 ml PAC (στα 500mL λύματος) μπορεί να μειώσει τα στερεά (TSS) κατά 82% , το COD κατά 66% , το BOD κατά 56% και τη Θολερότητα κατά 99%.

Γενικά υπάρχει μεγάλο πλήθος κροκιδωτικών – συσσωματικών τα οποία μπορούν να εξεταστούν πάνω στην φυσικοχημική επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων, καθώς και συνδυασμοί αυτών. Συνεπώς μπορεί να γίνει περαιτέρω εξέταση της

απόδοσης κροκίδωσης στα υγρά απόβλητα και με χρήση άλλων κροκιδωτικών αλλά και με διαφοροποίηση των ποσοτήτων τους ώστε να βρεθούν και άλλοι επιπλέον συνδυασμοί που πιθανόν να είναι εξίσου ή περισσότερο αποδοτικοί αλλά και οικονομικοί.

Όσον αφορά τις Εγκαταστάσεις Βιολογικού Καθαρισμού των Χανίων το βέλτιστο διάλυμα κροκιδωτικών – συσσωματικών κοστολογείται στα 6255 ευρώ την ημέρα (για 26000 m³ λυμάτων την ημέρα), δεν ενδείκνυται οικονομικά για καθημερινή χρήση των αντιδραστηριών. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει η ανάγκη να χρησιμοποιηθούν μικρότερες ποσότητες κυρίως του συσσωματικού PAC στις δεξαμενές οι οποίες θα είναι οικονομικά αποδεκτές και συγχρόνως αποτελεσματικές για τη μείωση του οργανικού και ρυπαντικού φορτίου, κάτι που χρήζει περαιτέρω έρευνας.

Βιβλιογραφία

- Becker, E.W., 1994. *Microalgae: Biotechnology and Microbiology*, Cambridge University Press. Available at: <https://books.google.gr/books?id=KAKx4I7NWEYC>.
- Bouwer, H., 2000. Integrated water management: emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, 45(3), pp.217–228. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377400000925> [Accessed March 15, 2015].
- Bouwer, H., 1994. Irrigation and global water outlook. *Agricultural Water Management*, 25(3), pp.221–231. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378377494900620> [Accessed July 5, 2015].
- Erickson, D.R., 1990. *Edible Fats and Oils Processing: Basic Principles and Modern Practices : World Conference Proceedings*, American Oil Chemists' Society. Available at: https://books.google.gr/books?id=_Ib6DNiJ89IC.
- Henze, M., 2008. *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*, IWA Pub. Available at: <https://books.google.gr/books?id=41JButufnm8C>.
- Henze, M. et al., 2013. *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*, Springer Berlin Heidelberg. Available at: <https://books.google.gr/books?id=knShBQAAQBAJ>.
- Hung, Y.T., Wang, L.K. & Shamas, N.K., 2012. *Handbook of Environment and Waste Management: Air and Water Pollution Control*, World Scientific. Available at: <https://books.google.gr/books?id=tW-GXrFpCRcC>.
- Karia, G.L. & Christian, R.A., 2013. *WASTEWATER TREATMENT: Concepts and Design Approach*, PHI Learning. Available at: <https://books.google.gr/books?id=oqPfjRWZ8mwC>.
- La Mer, V.K., 1964. Coagulation symposium introduction. *Journal of Colloid Science*, 19(4), pp.291–293. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0095852264900303> [Accessed August 28, 2015].
- Metcalf, N. & Eddy, M., 2007. *Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα*.
- Pizzi, N.G., 2011. *Water Treatment Operator Handbook*, American Water Works Association. Available at: <https://books.google.gr/books?id=8nDIGStFlyMC>.
- Simeonov, L.I., Kochubovski, M. V & Simeonova, B.G., 2010. *Environmental Heavy Metal Pollution and Effects on Child Mental Development: Risk Assessment and Prevention*

- Strategies*, Springer Netherlands. Available at:
<https://books.google.gr/books?id=00iR7qnjJgwC>.
- Sincero, A.P. & Sincero, G.A., 2002. *Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater*, CRC Press. Available at: <https://books.google.gr/books?id=5r1a5ugptroC>.
- Staff, A. & Sarai, D.S., 2005. *Basic Chemistry for Water and Wastewater Operators*, American Water Works Association. Available at:
<https://books.google.gr/books?id=UPRk7FooETgC>.
- Tchobanoglous, G. et al., 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, McGraw-Hill Education. Available at: <https://books.google.gr/books?id=L1MAXTAkL-QC>.
- Tomar, M., 1999. *Quality Assessment of Water and Wastewater*, Taylor & Francis. Available at:
<https://books.google.gr/books?id=ishs2cY6iUoC>.
- Αϊβαζίδης, Α., 2000. *Τεχνολογία και διαχείριση υγρών αποβλήτων*, Ξάνθη.
- Κοκκινός, Σ., 2000. Αποκεντρωμένη Λογική Διαχείρισης και Επεξεργασίας Λυμάτων. *Αφιέρωμα Ε.Δ. ΤΕΕ*, 2129.
- Κουτσογιάννης, Δ. & Ξανθόπουλος, Θ., 1999. *Τεχνική Υδρολογία* 3rd ed., Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μανιός, Θ., 2007. *Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση*, Ηράκλειο: Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ.
- Μεγάλου, Κ., 2003. *Βελτιστοποίηση της κροκίδωσης εκροής αναερόβιου αντιδραστήρα επεξεργασίας αστικών λυμάτων*. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Μήτρακας, Μ., 2001. *Ποιοτικά χαρακτηριστικά και επεξεργασία νερού*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Πούλιος, Ι., 2001. *Προχωρημένες οξειδωτικές μέθοδοι αντιρρύπανσης* Ι. Πούλιος, ed., Θεσσαλονίκη: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΑΠΘ.
- Τοσουνίδης, Γ., 2005. *Συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων για μικρούς και απομονωμένους οικισμούς. Εφαρμογή στη Λέσβο*.