ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

«**Β**ΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ **Ε**ΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ **Ε**ΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΛΥΜΑΤΩΝ **Α**ΡΜΕΝΩΝ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ **Μ**ΟΝΑΔΑΣ **Ε**ΠΙΠΛΕΥΣΗΣ (**DAF**)»

Παυλής Σ. Ευάγγελος

Εξεταστική Επιτροπή:

Καλογεράκης Νικόλαος (επιβλέπων)
Παρανυχιανάκης Νικόλαος
Ψυλλάκη Ελευθερία

Χανιά, Δεκέμβρης 2011

«ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΑΡΜΕΝΩΝ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ (DAF)»

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Πινάκων

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Αντί Προλόγου

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η παρακολούθηση της λειτουργίας της μονάδας επίπλευσης διαλυμένου αέρα (DAF), αλλά και η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού κροκιδωτικών ουσιών, καθώς η κατανάλωση στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Αρμένων χαρακτηρίζεται ως εξαιρετική υψηλή, ενώ παρουσιάζει προβλήματα και με την τελική συγκέντρωση χλωριωμένων οργανικών ενώσεων.

Τα δείγματα λαμβάνονταν τόσο μετά από την εσχάρωση και πριν από την είσοδο της μονάδας εξάμμωσης της εγκατάστασης, όσο και στην έξοδο του DAF. Τα γενικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων διέφεραν ανάμεσα στις δειγματοληψίες, το οποίο αποδώσαμε σε εσωγενείς και εξωγενείς παράγοντες που επηρέαζαν τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας (πχ. καιρικές συνθήκες, πληθυσμιακές αυξομειώσεις, συντήρηση μονάδας).

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων κροκίδωσης ελέγχθηκε η συνδυασμένη χρήση οργανικού (FLOCAN 23) και ανόργανου ηλεκτρολύτη (PAC), ώστε να έχουμε τη μέγιστη δυνατή κατακράτηση σωματιδίων με τη μικρότερη δυνατή χρήση τους.. 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.

Η πειραματική διεργασία πραγματοποιήθηκε από τους φοιτητές του τμήματος Παυλή Ευάγγελο και Χουχούμη Γεώργιο. Οι παράμετροι που παρακολουθούσαμε ήταν το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) των λυμάτων, τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), το ελεύθερο και ολικό χλώριο, το ολικό άζωτο (N), ο ολικός φώσφορος (PO_4^{-3} -P) και το αμμωνιακό άζωτο (NH_3 -N), ενώ στο χώρο εργασίας έγιναν μετρήσεις της ειδικής αγωγιμότητας και της ενεργούς οξύτητας (pH).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξετάσουμε την απομάκρυνση των COD και TSS μετά τη μονάδα επίπλευσης, θα γίνει σύγκριση των τιμών αυτών με τα αποτελέσματα των κροκιδώσεων στο εργαστήριο και θα σχολιάσουμε τα ευρήματα των παραμέτρων ποιότητας νερού (ειδική αγωγιμότητα και pH).

Κεφάλαιο 1ο:

Εισαγωγή

1.1.Σύγχρονες Ανάγκες Επεξεργασίας

Η κατακόρυφη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η έντονη αστικοποίηση, η συνεχώς εντεινόμενη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων & η πρωτοφανής βιομηχανική ανάπτυξη υπήρξαν παράγοντες δημιουργίας των σύγχρονων περιβαλλοντικών προβλημάτων που συμβάλλουν στην όλο και μεγαλύτερη αύξηση των παραγόμενων υγρών αποβλήτων τις τελευταίες δεκαετίες.

Η αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων δεν ήταν πλέον εφικτή μόνο με συνετή χρήση των φυσικών πόρων, αλλά απαιτήθηκε λήψη απαραίτητων τεχνικών μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, η επεξεργασία και η διάθεση των υγρών αποβλήτων αποτελούσε, πλέον, ένα βασικό συστατικό της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Αναπτύχθηκαν, λοιπόν, μέθοδοι σκοπεύοντας να τα φέρουν σε κατάσταση όπου μπορούν να απορριφθούν με ασφάλεια στους διάφορους υδάτινους αποδέκτες ή ακόμα και να χρησιμοποιηθούν για άρδευση, ενώ μετά από εξαιρετική επεξεργασία για ύδρευση. Με αυτό τον τρόπο συμβάλλουν στην οικονομία του νερού, θέμα με σημαντικές διαστάσεις στις μέρες μας, ενώ στη περίπτωση της άρδευσης το νερό εμπεριέχει επίσης θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, δρώντας έτσι ως μια επιπλέον μορφή λιπάσματος. Με τη κατάλληλη μελέτη, το νερό μπορεί ακόμη και να χρησιμοποιηθεί για τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα.

Σήμερα στην Ελλάδα θα πρέπει να γίνει προσπάθεια ώστε να δημιουργηθούν συστήματα επεξεργασίας των αποβλήτων αυτών ακόμη και σε περιπτώσεις μικρών και απομονωμένων οικισμών. Ιδιαίτερα για αυτούς, μπορούμε να πούμε πως, η σχεδίαση των συστημάτων ενδέχεται να διαφέρει από την τυπική σχεδίαση μεγαλύτερων πόλεων λόγω του μικρού πληθυσμού, των πιθανώς μεγάλων πληθυσμιακών διαφοροποιήσεων κατά τη θερινή περίοδο λόγω προσέλευσης τουριστών και έχοντας τον χαρακτήρα του απομονωμένου, της δυσκολίας σύνδεσης σε κάποιο δίκτυο που ήδη εξυπηρετεί μια άλλη περιοχή.

1.2.Ιστορικά – Γεωγραφικά Στοιχεία

Η Ε.Ε.Λ. που εξετάζουμε είναι εγκατεστημένη στο χωριό Καλύβες, το οποίο είναι χτισμένο στην είσοδο του κόλπου της Σούδας με πληθυσμό περίπου 1400 κατοίκους. Στο λόφο Καστέλι των Καλυβών υπάρχει η αρχαία πόλη Ιπποκορώνιο, καθώς επίσης και ερείπια βυζαντινού ρυθμού, μνημεία και μονές.

Οι Καλύβες έχουν φόντο τα Λευκά Όρη και τις διασχίζει ο Ξυδάς ποταμός. Άνηκαν στον πρώην δήμο Αρμένων του νομού Χανίων, που συστάθηκε με το πρόγραμμα Καποδίστριας από τη συνένωση παλαιότερων κοινοτήτων της περιοχής. Από το 2010 εντάχθηκε στον νέο Δήμο Αποκορώνου Χανίων.

Εικόνα 1.1.Άποψη από το χωριό Καλύβες

Ο όρμος Καλυβών έχει μήκος 3km περίπου και διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Το σημερινό αποτέλεσμα της ακτής οφείλεται στη διαβρωτική - μεταφορική - δημιουργική δράση των κυμάτων και ρευμάτων που επικρατούν στο Κρητικό πέλαγος. Η παράκτια ζώνη είναι αμμώδης και περιορίζεται μεταξύ των βραχωδών ακτών του ακρωτηρίου Σούδα στα βορειοδυτικά και της τοποθεσίας Φοινικιά στα νοτιοανατολικά (θέση Βιολογικού Σταθμού).

Ιστορικά, οι Καλύβες φαίνεται να τοποθετούνται στην αρχαία πόλη Αμφιμάτριον ή Αμφιμάτρων, σημασία που παραπέμπει στον αρχαίο ιστορικό και γεωγράφο Στράβωνα, ο οποίος τοποθετεί είτε σε αυτή τη περιοχή, είτε κάτω από το Καλάμι τη μια από τις δύο πόλεις με το όνομα Κίσσαμος που αποτελούσε λιμάνι της αρχαίας Απτέρας με ναυπηγική δραστηριότητα. Το γεγονός ότι η περιοχή των Καλυβών συνδέεται με την Απτέρα, οδηγεί στο συμπέρασμα για ανάλογη δραστηριότητα στη περιοχή. Το όνομα τους φαίνεται να το πήραν από τις καλύβες που έστησαν οι γεωργοί -καλλιεργητές στα κτήματα τους για να μείνουν το καλοκαίρι και να μην πηγαινοέρχονται στους γειτονικούς οικισμούς, σύμφωνα με τον Σπύρο Πανηγυράκη.

Το 1206, χτίζεται φρούριο Castel Apicorno ανατολικά του χωριού Καλύβες με ανασχετική επίδραση στις εχθρικές διαθέσεις των επιδρομέων, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί καταφύγιο των Βενετών αποίκων σε περίπτωση απειλής, και το 1538 καταλαμβάνεται από τον Τούρκο Ναύαρχο Μπαρμπαρόσα όπου και καταστρέφεται.

Οι Καλύβες λόγω του εύφορου εδάφους τους και της γεωγραφικής τους θέσης στην ευρύτερη περιοχή του Αποκόρωνα διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο και κατά τη διάρκεια της Επανάστασης του 1821, καθώς σε όλες τις φάσεις της Κρητικής Επανάστασης. Όντας συγκοινωνιακός κόμβος, υπήρξαν σταθμός διέλευσης είτε Τουρκικών είτε επαναστατικών στρατευμάτων. Το 1770 κατά την επανάσταση του δάσκαλου Ιωάννη Δασκαλογιάννη, από τις Καλύβες περνούν και προωθούνται προς τον ορεινό Αποκόρωνα οι Τουρκικές δυνάμεις, ενώ το 1821 αποτελούν έδρα για Τούρκο πασά που διορίζεται στην περιοχή του Αποκόρωνα. Εκεί πηγαίνουν τους αιχμαλώτους για βασανισμούς και θάνατο.

Σήμερα αποτελούν πόλο έλξης πολλών επισκεπτών αφού προσφέρουν μια όαση ξεκούρασης και ηρεμίας παράλληλα με την αισθητική απόλαυση. Κατά τους θερινούς μήνες οι επισκέπτες έχουν τη δυνατότητα να απολαύσουν τις διακοπές τους στα υψηλών προδιαγραφών ξενοδοχεία που διαθέτει η περιοχή, το μπάνιο τους στις βραβευμένες με γαλάζιες σημαίες παραλίες Μαϊστράλι και Κυανή Ακτή, καθώς και στις παραλίες Ξυδά, Γλάρος και Κερά, και τη βραδινή τους έξοδο περπατώντας στο γραφικό λιμανάκι επισκεπτόμενοι παραδοσιακά εστιατόρια και ταβέρνες (πηγή: Ιστότοπος πρώην Δ. Αρμένων)

1.3.Τεχνολογία Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Όπως αναφέρεται από τους Στάμου, Βογιατζή (1994) και Λοιζίδου (2006) *υγρό απόβλητο χαρακτηρίζεται ένα νερό το οποίο, εξαιτίας της χρήσης του μέσω του ανθρώπου και των δραστηριοτήτων του, υπέστη μια αλλαγή των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του* *και συνεπώς είτε είναι αδύνατο πλέον να χρησιμοποιηθεί όπως είναι για τον ίδιο σκοπό, είτε η χρήση του περιέχει κινδύνους*. Συνεπώς το νερό των υγρών αποβλήτων έχει χάσει την ικανότητα της προηγούμενης αξιοποίησής του και είναι πλέον ένα υποβαθμισμένο υλικό.

Η ρύπανση νερών προέρχεται:

- από τη διάλυση ή ανάμειξη τοξικών ή δηλητηριωδών ουσιών κατά τη βιομηχανική ή αστική του χρησιμοποίηση (χημική ρύπανση),
- από τη μείωση του διαλελυμένου οξυγόνου - Dissolved Oxygen (βιολογική ρύπανση),
- από την αύξηση της θερμοκρασίας του, που προκαλεί διαταραχές στο οικολογικό περιβάλλον και την ισορροπία των οικοσυστημάτων (βιολογική ρύπανση).

Συνοπτικά, τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ορίζουμε τον κλάδο της περιβαλλοντικής μηχανικής στον οποίο εφαρμόζονται οι βασικές αρχές της επιστήμης και της μηχανικής με σκοπό την επίλυση των θεμάτων που σχετίζονται με την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων. Ο κύριος στόχος της είναι η προστασία της δημόσιας υγείας με τρόπο τέτοιο ώστε να λαμβάνονται υπόψη περιβαλλοντικές, κοινωνικές, οικονομικές & πολιτικές παράμετροι.

Για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος είναι απαραίτητα τα εξής:

- τα συστατικά των υγρών αποβλήτων,
- η επίδραση των συστατικών αυτών όταν τα υγρά απόβλητα διατίθενται στο περιβάλλον,
- η μετατροπή και η μακρόχρονη πορεία των συστατικών σε διεργασίες επεξεργασίας,
- οι μέθοδοι επεξεργασίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση ή τη μεταβολή των συστατικών που περιέχονται στα απόβλητα και
- οι μέθοδοι για αξιοποίηση ή τη διάθεση των στερεών που παράγονται από τα συστήματα επεξεργασία.

1.4.Νέες Κατευθύνσεις & Μελλοντικές Τάσεις

Κάποια από τα νέα θέματα για συζήτηση στον τομέα της επεξεργασίας αποβλήτων είναι: η παλαίωση των υποδομών, οι νέες μέθοδοι ανάλυσης και ελέγχου, η λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και η αξιοπιστία αυτών, η απολύμανση των αποβλήτων, οι υπερχειλίσεις από παντορροικά δίκτυα, η επίδραση από τα όμβρια και τις υπερχειλίσεις από αποχετεύσεις και από μη σημειακές πηγές ρύπανσης, η ξεχωριστή επεξεργασία των επιστρεφομένων ρευμάτων, ο έλεγχος των οσμών και ο έλεγχος των πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds - VOC) και η ανανέωση και αναβάθμιση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων.

Στο άμεσο μέλλον υπολογίζεται ότι η δυναμικότητα σχεδιασμού μονάδων όπου θα επιτυγχάνεται επεξεργασία μεγαλύτερη από τη δευτεροβάθμια αναμένεται να αυξηθεί κατά 40% (U.S. Environmental Protection Agency 1997). Είναι συνεπώς προφανές ότι οι μελλοντικές τάσεις στο σχεδιασμό των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων θα αναφέρονται σε εγκαταστάσεις όπου επιτυγχάνονται υψηλότερα επίπεδα επεξεργασίας.

Ορισμένες από τις καινοτόμες διατάξεις επεξεργασίας περιλαμβάνουν τους διαχωριστές δίνης, την υψηλού ρυθμού καθίζηση, το βιοαντιδραστήρα μεμβράνης, τη διήθηση υπό πίεση μέσω μεμβράνης (υπερδιήθηση και αντίστροφη όσμωση) και την υπεριώδη ακτινοβολία (χαμηλής πίεσης, χαμηλής και υψηλής έντασης λαμπτήρες UV και μέτριας πίεσης, υψηλής έντασης λαμπτήρες UV).

Κάποιες από αυτές τις τεχνολογίες, ιδίως αυτές που αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη, είναι μικρού μεγέθους και κατάλληλα σχεδιασμένες για εγκαταστάσεις επεξεργασίας όπου ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος. Άλλωστε τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες μονάδες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων κατοχυρωμένες με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, οι οποίες προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση στην κατασκευή και λειτουργία (Metacalf & Eddy, Εκδόσεις Τζιόλα, 1998).

Κεφάλαιο 2ο:

Υγρά Απόβλητα

2.1.Αστικά Λύματα

Ορίζουμε αστικά λύματα μια κατηγορία υγρών αποβλήτων, που καταλήγουν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων και διακρίνονται ανάλογα με την προέλευσή τους, στις παρακάτω κατηγορίες:

i. Αστικά απόβλητα, από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών. Προέρχονται κυρίως από τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού και τις εμπορικές δραστηριότητες.

ii. Βιομηχανικά υγρά απόβλητα, τα οποία απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα και διοχετεύονται στο αποχετευτικό σύστημα χωρίς ή μετά από μερική επεξεργασία.

iii. Επιφανειακά νερά απορροής, δηλαδή τα νερά της βροχής μαζί με τα προϊόντα έκπλυσης των δρόμων που καταλήγουν στο αποχετευτικό σύστημα.

iv. Νερά διήθησης – εισροής που δέχεται το αποχετευτικό σύστημα λόγω της απουσίας απόλυτης στεγανότητάς τους και τα οποία προέρχονται από τον υδροφόρο ορίζοντα και τα νερά της επιφανειακής απορροής.

Η κατανόηση της φύσης των αποβλήτων είναι βασικής σημασίας στη διαστασιολόγηση, διαμόρφωση και λειτουργία συστημάτων περιβαλλοντικής μηχανικής για συλλογή επεξεργασία και διάθεση αυτών.

Οι παραγόμενες ποσότητες αστικών λυμάτων παρουσιάζουν μια σχετική σταθερότητα και εκτιμάται πως - με την προϋπόθεση ότι η εφαρμοζόμενη πολιτική διαχείρισης του νερού δεν ευνοεί την υπερκατανάλωσή του – η μέση ημερήσια παραγωγή ανά κάτοικο κυμαίνεται περίπου στα 160 – 170 λίτρα. Επομένως, για συγκεκριμένο πληθυσμό μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί η παραγόμενη ποσότητα λυμάτων.

Οι βασικές ρυπαντικές παράμετροι των αστικών λυμάτων είναι:

- Αιωρούμενα στερεά (*Suspended Solids – TSS*)

- Οργανικό φορτίο (το οποίο προσδιορίζεται με τις παραμέτρους COD και BOD_5)

- Ενώσεις του αζώτου

- Ενώσεις του φωσφόρου

- Κολοβακτηρίδια

Τα αιωρούμενα στερεά μαζί με τα διαλυμένα στερεά (*Dissolved Solids, DS*) αποτελούν τα ολικά στερεά (*Total Solids, TS*). Τόσο τα αιωρούμενα όσο και τα ολικά στερεά διακρίνονται σε πτητικά (*Volatile Solids, VS*) και σταθερά (*Fixed Solids, FS*). Τα πτητικά είναι αυτά που αεριοποιούνται σε θερμοκρασία 550^{o}C και αντιπροσωπεύουν κυρίως τα οργανικά στερεά ενώ τα σταθερά είναι το υπόλειμμα της καύσης και αποτελούνται από ανόργανα στερεά.

Στις περιπτώσεις που τα αστικά λύματα δεν υφίστανται αποτελεσματική επεξεργασία, το περιεχόμενο σε αυτά ρυπαντικό φορτίο ενδέχεται να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στους φυσικούς αποδέκτες.

Ενδεικτικά αναφέρονται:

i. Η παρουσία οργανικού φορτίου οδηγεί στην ανάπτυξη φαινομένων αποξυγόνωσης των φυσικών υδατικών αποδεκτών (μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου)

ii. Το αμμωνιακό άζωτο (αμμωνιακό ιόν – NH_4^+) μετατρέπεται σε νιτρικά τα οποία επίσης οδηγούν σε φαινόμενα αποξυγόνωσης

iii. Η μη ιονισμένη συνιστώσα του αμμωνιακού αζώτου (NH_3 είναι τοξική για τους υδρόβιους οργανισμούς

iv. Το άζωτο (υπό τη μορφή αμμωνιακών και νιτρικών), όπως και ο φώσφορος (υπό τη μορφή φωσφορικών) είναι οι δύο κατηγορίες θρεπτικών αλάτων που ευθύνονται για την ανάπτυξη του φαινομένου του ευτροφισμού (ο εμπλουτισμός των υδάτων με θρεπτικές ουσίες, ιδίως ενώσεις αζώτου ή/και φωσφόρου που προκαλεί την ταχύτερη ανάπτυξη φυκών και ανωτέρων μορφών φυτικής ζωής, με συνακόλουθη ανεπιθύμητη διαταραχή της ισορροπίας των οργανισμών που ζουν στα ύδατα και υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων)

v. Τα κολοβακτηρίδια αποτελούν δείκτη της δυνητικής παθογένειας των αστικών λυμάτων

Όπως και στην περίπτωση της ποσότητας των αστικών λυμάτων, η ποιότητά τους (σύσταση) παρουσιάζει επίσης μια σχετική σταθερότητα. Πιο συγκεκριμένα, τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των αστικών λυμάτων μπορούν να εκτιμηθούν ως εξής:

Βιοαποικοδομήσιμο οργανικό φορτίο, εκφρασμένο ως BOD_5: 60 g/κάτοικο ανά ημέρα

Αιωρούμενα στερεά (*Total Suspended Solids – TSS*): 70 – 80 g/κάτοικο ανά ημέρα

Ολικό άζωτο: 15 – 20% της τιμής του BOD_5 ή 9 – 12 g/κάτοικο ανά ημέρα

Ολικός φώσφορος: 4 – 5% της τιμής του BOD_5 ή 2,4 – 3 g/κάτοικο ανά ημέρα

Κολοβακτηρίδια: $2 * 10^9$ /κάτοικο ανά ημέρα

Πτητικά αιωρούμενα στερεά (*Volatile Suspended Solids, VSS*): 70 – 80% των Αιωρουμένων στερεών (*SS*) ή 50 – 64 g/κάτοικο ανά ημέρα

Σημαντική παράμετρος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό φορτίων αστικών λυμάτων είναι και η μονάδα ισοδύναμου πληθυσμού (ι.π.). 1 μονάδα ι.π. είναι η ποσότητα βιοαποικοδομήσιμου οργανικού φορτίου που παράγει ένας κάτοικος σε ημερήσια βάση και ισούται με 60 BOD (Μαρκαντωνάτος Γ. 1990, Λοιζίδου 2006)$_5$.

Πίνακας 2.1 Επεξήγηση συνήθων βασικών όρων

TS	: Total Solids,	Ολικά Στερεά
DS	: Dissolved Solids,	Διαλυμένα Στερεά
SS	: Suspended Solids,	Αιωρούμενα Στερεά
VS	: Volative Solids,	Πτητικά Στερεά
NVS	: Non Volative Solids,	Μη πτητικά Στερεά
VSS	: Volative Syspended Solids,	Εξαερώσιμα Αιωρούμενα Στερεά
BOD	: Biochemical Oxygen,	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
COD	: Chemical Oxygen Demand,	Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
TOD	: Total Oxygen Demand,	Συνολικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
ThOD	: Theoretical Oxygen Demand,	Θεωρητικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
TOC	: Total Organic Carbon,	Συνολικός Οργανικός Άνθρακας
DO	: Dissolved Oxygen,	Διαλυμένο Οξυγόνο

Ανάλογα με τη συγκέντρωση των συστατικών των αστικών λυμάτων, αυτά χαρακτηρίζονται ως ισχυρά, μεσαία και αδύνατα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται μία τυπική σύσταση αστικών λυμάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο πίνακας χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των λυμάτων και όχι ως βάση για τον σχεδιασμό μονάδων επεξεργασίας.

Πίνακας 2.2. Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων

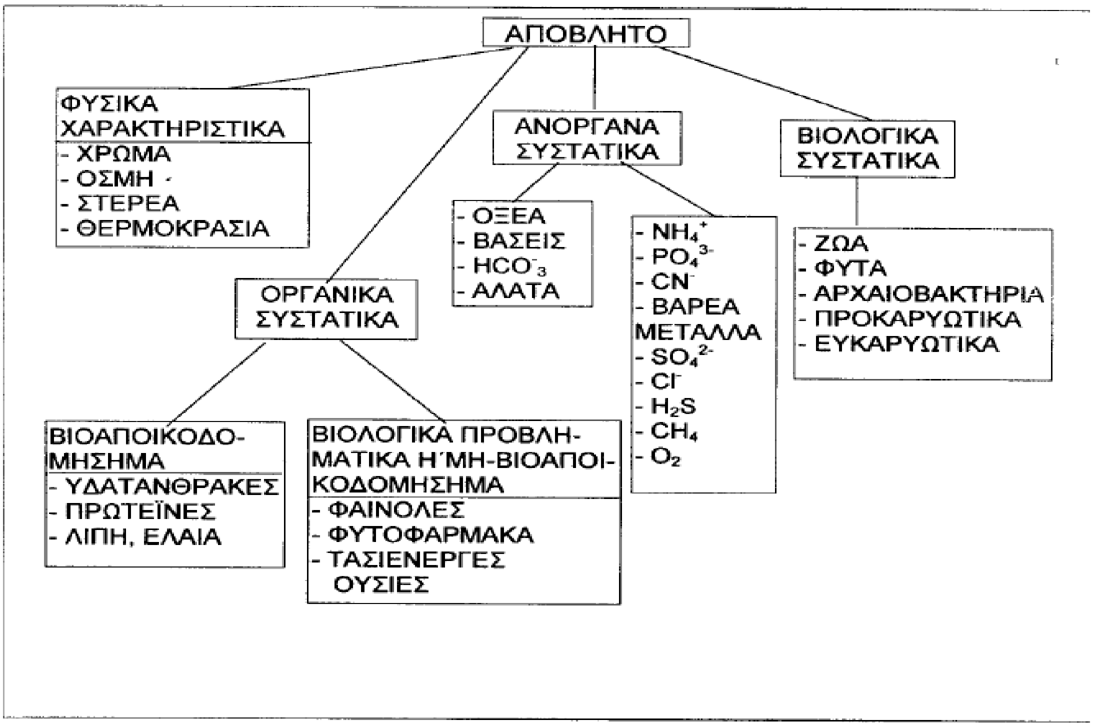
	Όρια Συγκέντρωσης (mg/l)		
	Ισχυρή	*Μεσαία*	*Αδύνατη*
Ολικά στερεά	*1200*	*720*	*350*
**Διαλυμένα(TDS)*	*850*	*500*	*250*
Αιωρούμενα(SS)	*350*	*220*	*100*
Καθιζάνοντα ml/l	*20*	*10*	*5*
Bod_5 (20^oC)	*400*	*220*	*110*
Cod	*1000*	*500*	*250*
Toc	*290*	*160*	*80*
Ολικό άζωτο (N)	*85*	*40*	*20*
Οργ. - N	*35*	*15*	*8*
NH_4 - N	*50*	*25*	*12*
Ολικός φώσφορος(P)	*15*	*8*	*4*
Οργανικός	*5*	*3*	*1*
Ανόργανος	*10*	*5*	*3*
**Χλωριόντα*	*100*	*50*	*30*
Θειικά	*50*	*30*	*20*
**Αλκαλικότητα*	*200*	*100*	*50*
Λίπη - έλαια	*150*	*100*	*50*

*οι τιμές πρέπει να αυξάνονται κατά ένα ποσοστό σε οικιακά απόβλητα

πηγή: Asano et al (1985), UN.D.T.C.D. (1985), Asano (1996)

2.2.Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων

Όπως αναφέραμε, σύμφωνα με τους Metcalf &Eddy (2006) Μήτρακα (2001), τα υγρά απόβλητα χωρίζονται ανάλογα με τη φυσική, χημική ή βιολογική τους σύσταση.



Σχήμα 2.1. Ταξινόμηση των υγρών αποβλήτων με βάση τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και την σύστασή τους (Crites and Tchobanoglous, 1998).

Το πιο σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό είναι η περιεκτικότητα σε ολικά στερεά. Άλλα σημαντικά φυσικά χαρακτηριστικά είναι η θολότητα, η οσμή, το χρώμα, η θερμοκρασία, η αγωγιμότητα, η γεύση, η αγωγιμότητα, το ειδικό βάρος και η κατανομή μεγέθους σωματιδίων.

Τα χημικά χαρακτηριστικά ταξινομούνται κυρίως σε ανόργανα και σε οργανικά. Τα ανόργανα περιλαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά, τα αμέταλλα, τα μέταλλα και τα αέρια. Τα οργανικά ταξινομούνται ως συσσωματωμένα και ως μεμονωμένα οργανικά συστατικά. Τόσο τα μεμονωμένα όσο και τα συσσωματωμένα έχουν εξαιρετική σημασία στις διαδικασίες επεξεργασίας, διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων.

Η αναγνώριση των βιολογικών χαρακτηριστικών αποβλήτων είναι αναγκαία για δύο λόγους:

- Ο πρώτος συνίσταται στην προστασία τόσο των μονάδων επεξεργασίας όσο και των ανθρώπων από παθογόνους μικροοργανισμούς ανθρώπινης προέλευσης,

- Ο δεύτερος αφορά τη μεγάλη σημασία των βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών στην αποικοδόμηση και σταθεροποίηση της οργανικής ύλης.

Οι κυριότεροι οργανισμοί που βρίσκονται στα επιφανειακά νερά και στα απόβλητα ανήκουν στα βακτήρια, πρωτόζωα, φύκη, φυτά και ζώα καθώς στους μύκητες και στους ιούς, και γίνονται διακριτοί μόνο κάτω από το μικροσκόπιο (διάμετρος μικρότερη από 1mm)

2.2.1.Ηλεκτρική Ειδική Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electrical Conductance - EC) του νερού αποτελεί ένα μέτρο της ικανότητας ενός διαλύματος να άγει ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρεται με τα ιόντα του διαλύματος, η αγωγιμότητα αυξάνει όσο η συγκέντρωση των ιόντων αυξάνει (Οικονομόπουλος, 2005).

Προσδιορίζεται με μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ δύο ιδίου μεγέθους ηλεκτρονίων. Εναλλασσόμενη τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων προκαλεί κίνηση των ιόντων προς τα ηλεκτρόδια. Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση ιόντων στο διάλυμα, τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα που διέρχεται από τα ηλεκτρόδια. Εκτός από τη συγκέντρωση, η ένταση εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως το σθένος και το μέγεθος των ιόντων. Πράγματι, όσο το ηλεκτρικό φορτίο είναι μεγαλύτερο και το μέγεθος είναι μικρότερο τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση για δεδομένη συγκέντρωση ιόντων.

Η ένταση εξαρτάται επίσης και από τη θερμοκρασία του διαλύματος. Το ποσοστό αύξησης της αγωγιμότητας ανά ^oC για υπερκαθαρό νερό είναι της τάξης του 5%, για φυσικά νερά 1,9% ενώ για πυκνά διαλύματα 1%.

Η ειδική αγωγιμότητα (Electrical Conductivity) είναι χρήσιμη παράμετρος για τον έλεγχο της ποιότητας των νερών ή της καταλληλότητας για άρδευση, δίνοντας πληροφορίες για τις διαλυμένες ιοντικές ουσίες, κυρίως άλατα, οξέα και βάσεις, και γι αυτό το λόγο μετριέται στο πεδίο ή το εργαστήριο. Τα περισσότερα ανόργανα οξέα, βάσεις και άλατα που διίστανται στο νερό έχουν μεγάλη αγωγιμότητα ενώ τα οργανικά μόρια έχουν πολύ μικρή.

Η ειδική αγωγιμότητα διαλύματος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C= G*(L/A)$$

όπου C η ειδική αγωγιμότητα σε (Ohm^{-1}/cm) ή Siemens/cm (S/cm), G η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε Ohm^{-1} ή Siemens (S), L η απόσταση των ηλεκτροδίων (cm) και A η επιφάνειά τους.

Παράλληλα με την ειδική αγωγιμότητα προσμετράμε και τη θερμοκρασία δεδομένου ότι επηρεάζεται από αυτή. Προκειμένου οι τιμές ειδικής αγωγιμότητας διαλυμάτων να είναι συγκρίσιμες, ανάγονται σε κανονική θερμοκρασία (25^{o}C) και με τον τρόπο αυτό αναφέρονται.

Η μεγαλύτερη της όμως χρήση γίνεται για τον έμμεσο προσδιορισμό των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) ή των μεταλλοιόντων σε διαλύματα δεδομένου ότι σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν να διαμορφωθεί μια συγκεκριμένη αναλογία μεταξύ της συγκέντρωσης τους και της αγωγιμότητας.

Η παρακάτω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των TDS ενός δείγματος νερού, βασιζόμενη στη μετρηθείσα τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Standard Methods,1998):

$$TDS(mg/l) \approx EC(dS/m \text{ ή } \mu mho/cm) x\ (0,55\text{-}0,70).$$

Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη της απόδοσης των εναλλακτικών ρητινών ή άλλων συσκευών αποσκλήρυνσης του νερού και για το λόγο αυτό ορισμένες συσκευές αποσκλήρυνσης νερού διαθέτουν ενσωματωμένο αγωγιμόμετρο για συνεχή έλεγχο. Ακόμα, μπορεί να συσχετισθεί και με τη συγκέντρωση των μεταλλοιόντων στα απόβλητα βιομηχανιών και να χρησιμοποιηθεί για συνεχή έλεγχο των συγκεντρώσεων τους μια και ο ξεχωριστός έλεγχος των μετάλλων απαιτεί δαπανηρό εξοπλισμό και είναι χρονοβόρος ή με την απαιτούμενη ποσότητα χημικών ουσιών για την εξουδετέρωση ή κροκίδωση ορισμένων αποβλήτων.

Στα νερά με χαμηλή περιεκτικότητα αλάτων ισχύει με ικανοποιητική προσέγγιση TDS= 0,5 EC.. Καθώς η συγκέντρωση των αλάτων αυξάνεται, ελαττώνεται η ενεργότητα των ιόντων και κατά συνέπεια ελαττώνεται η ικανότητά τους να μεταφέρουν ρεύμα, οπότε η σχέση τείνει προς TDS ≈ 0,9*EC.

2.2.2. Ενεργός Οξύτητα (pH)

Το pH επηρεάζει σημαντικά την υδρόβια ζωή, την επεξεργασιμότητα του πόσιμου νερού, τη διάβρωση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, αποχετευτικών συστημάτων και δικτύων νερού. Επιδρά επίσης, σε φυσικά φαινόμενα, όπως η διαλυτότητα φυσικών συστατικών στο νερό και άρα στη γενικότερη ποιότητα του νερού. Για τους λόγους αυτούς το pH μετριέται συχνά στα απόβλητα πριν από τη διάθεσή τους στο αποχετευτικό σύστημα για προστασία των αγωγών από διάβρωση και της εγκατάστασης καθαρισμού από μεταβολές του pH που είναι ενδεχόμενο να επηρεάσουν τη λειτουργία της. Μετριέται επίσης σε αποδέκτες και φυσικά νερά μια και αποτελεί βασική παράμετρο της ποιότητας τους.

Ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση υρδογονιόντων που περιέχει ένα διάλυμα, εκφρασμένη σε γραμμοιόντα ανά λίτρο διαλύματος,

$$pH = -\log[H^+]$$

Το καθαρό νερό είναι ελάχιστα ιονισμένο και στους 25°C η συγκέντρωση υδρογονιόντων και υδροξυλιόντων σε moles/l διέπεται από τη σχέση:

$$[H^+][OH^-]=10^{-14} \quad \& \quad [H^+]=[OH^-]= 10^{-7}$$

Η κλίμακα μέτρησης του pH αναφέρεται στους 25°C και είναι από 0 έως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε pH= 7.0. Δείγματα με τιμές μικρότερες του 7 καλούνται όξυνα και με τιμές μεγαλύτερες αλκαλικά.

Στα βιομηχανικά απόβλητα το pH ελέγχεται πριν από τη διάθεσή τους μιας και η νομοθεσία θέτει περιορισμούς ανάλογα με τον αποδέκτη. Η περιοχή 6.5 – 8.5 είναι συνήθως αποδεκτή για όλους τους αποδέκτες. Για το πόσιμο νερό η Π.Ο.Υ. (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) συνιστά pH < 8 προκειμένου να έχουμε αποδοτική απολύμανση με χλώριο και αποφυγή γεύσης “σαπουνιού”. Συνιστά επίσης όχι πολύ χαμηλό για αποφυγή διαβρώσεων.

Για την αυτόματη ρύθμισή του σε παραγωγικές διαδικασίες ή σε μονάδες επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων χρησιμοποιούνται πεχάμετρα βιομηχανικού τύπου που συνδέονται με δοσομετρικά συστήματα προσθήκης οξέων ή βάσεων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται συνεχής ρύθμιση.

Ο προσδιορισμός του pH γίνεται κατά προτίμηση in-situ ή στα δείγματα αμέσως μετά τη δειγματοληψία. Αν αυτό δεν είναι δυνατόν, η μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο πρέπει να γίνει το συντομότερο δυνατόν από τη στιγμή της δειγματοληψίας (Οικονομόπουλος, 2005).

2.2.3.COD (Χημικώς Απαιτούμενο Οξυγόνο)

Τα οργανικά συστατικά μετρώνται με την ανάλυση του COD ή του BOD, αναλύσεις που είναι κρίσιμες στο σχεδιασμό της διεργασίας της ενεργού ιλύος. Υψηλότερες συγκεντρώσεις αποικοδομήσιμου COD ή BOD θα έχουν αποτέλεσμα (1) ένα μεγαλύτερο όγκο για τη δεξαμενή αερισμού, (2) μεγαλύτερες ανάγκες για μεταφορά οξυγόνου και (3) μεγαλύτερη παραγωγή ιλύος.

Η ανάλυση του COD χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ισοδύναμου οξυγόνου του οργανικού υλικού των υγρών αποβλήτων που μπορεί να οξειδωθεί χημικά, χρησιμοποιώντας διχρωμικό κάλιο σε ένα διάλυμα οξέως,όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$C_nH_aO_bN_c + dCr_2O_7^{2-} + (8d + c)H^+ \rightarrow nCO_2 + (\ a+8d-3c/2\ ) \cdot H_2O + cNH_4^+ + 2dCr^{3+}$$

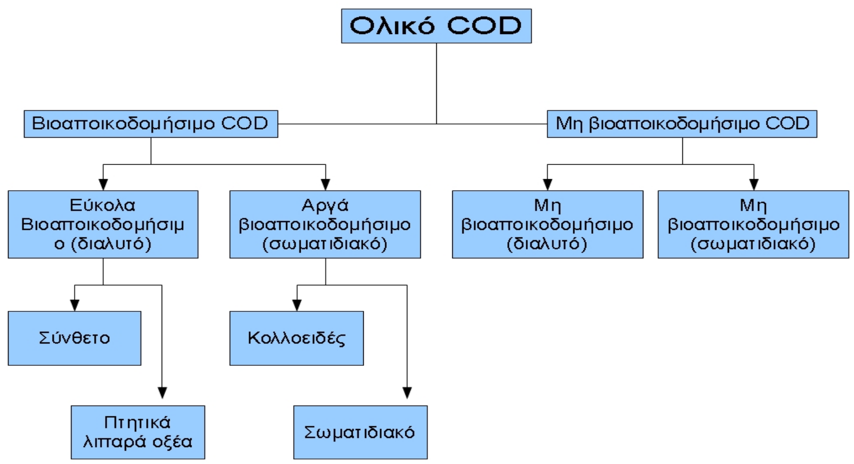
$$\text{όπου } d= \ (2n/3)+(a/6)-(b/3)-(c/2)$$

Από λειτουργική άποψη, ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα της ανάλυσης του COD είναι ότι μπορεί να ολοκληρωθεί σε 2,5 ώρες, σε αντίθεση με την ανάλυση του BOD που απαιτεί 5 μέρες. Όσο αναπτύσσονται νέες μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας κυρίως σε ότι αφορά τη βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών, γίνεται ολοένα και πιο σημαντικός ο διαχωρισμός του COD. Τα κυριότερα κλάσματα συνιστάται στο διαλυτό COD και στο COD σωματιδιακής μορφής. Στις βιολογικές επιστήμες, τα κλάσματα αυτά κατηγοριοποιούνται περισσότερο για την εκτίμηση του βαθμού επεξεργασίας του νερού.

Κλάσματα που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς είναι:

- εύκολα βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD,
- δύσκολο βιοαποικοδομήσιμο κολλοειδές COD σωματιδιακής μορφής,
- μη βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD,
- μη βιοαποικοδομήσιμο κολλοειδές COD σωματιδιακής μορφής.

Το εύκολα βιοαποικοδομήσιμο διαλυτό COD κατηγοριοποιείται περαιτέρω σε σύνθετο COD που μπορεί να εξατμιστεί με τη μορφή πτητικών λιπαρών οξέων (volatile fatty acids, VFA) και σειράς VFA. Δυστυχώς δεν υπάρχουν σαφείς διαχωρισμοί μεταξύ των ορισμών του διαλυτού COD και του COD σωματιδιακής μορφής. Όταν χρησιμοποιείται η διήθηση ως τεχνική για το διαχωρισμό του δείγματος, η σχετική κατανομή μεταξύ τους εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων του φίλτρου. Μια εναλλακτική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εύρεση του διαλυτού COD περιλαμβάνει την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών και ενός τμήματος του κολλοειδούς υλικού. Το COD του υγρού αντιστοιχεί στο διαλυτό COD (Metcalf & Eddy, 2006).

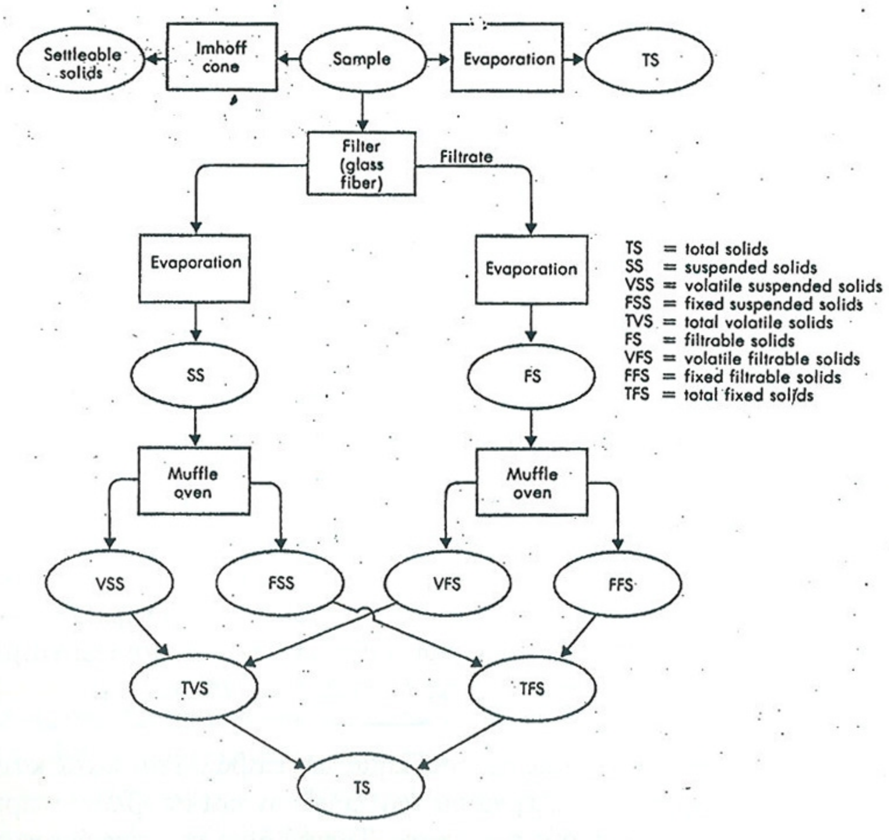


Σχήμα 2.2. *Διαχωρισμός COD (Metcalf & Eddy, 2006)*

2.2.4.TS (Ολικά Στερεά)

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους ρύπανσης των νερών είναι η περιεκτικότητά του σε ολικά στερεά (TS – Total Solids), τα οποία προσδιορίζονται με ζύγιση του υλικού που απομένει μετά από εξάτμιση ορισμένου όγκου δείγματος στους 102–105°C και εκφράζονται ως mg/L. Υλικά που είναι πτητικά σ αυτή τη θερμοκρασία και εξατμίζονται δεν συμπεριλαμβάνονται στα ολικά στερεά.

Από τα ολικά στερεά μπορούν να διαχωριστούν τα καθιζάνοντα στερεά, τα οποία κατακάθονται στον πυθμένα κωνικού δοχείου, τον "κώνο imhoff", και είναι ενδεικτικά των στερεών που αφαιρούνται από δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.

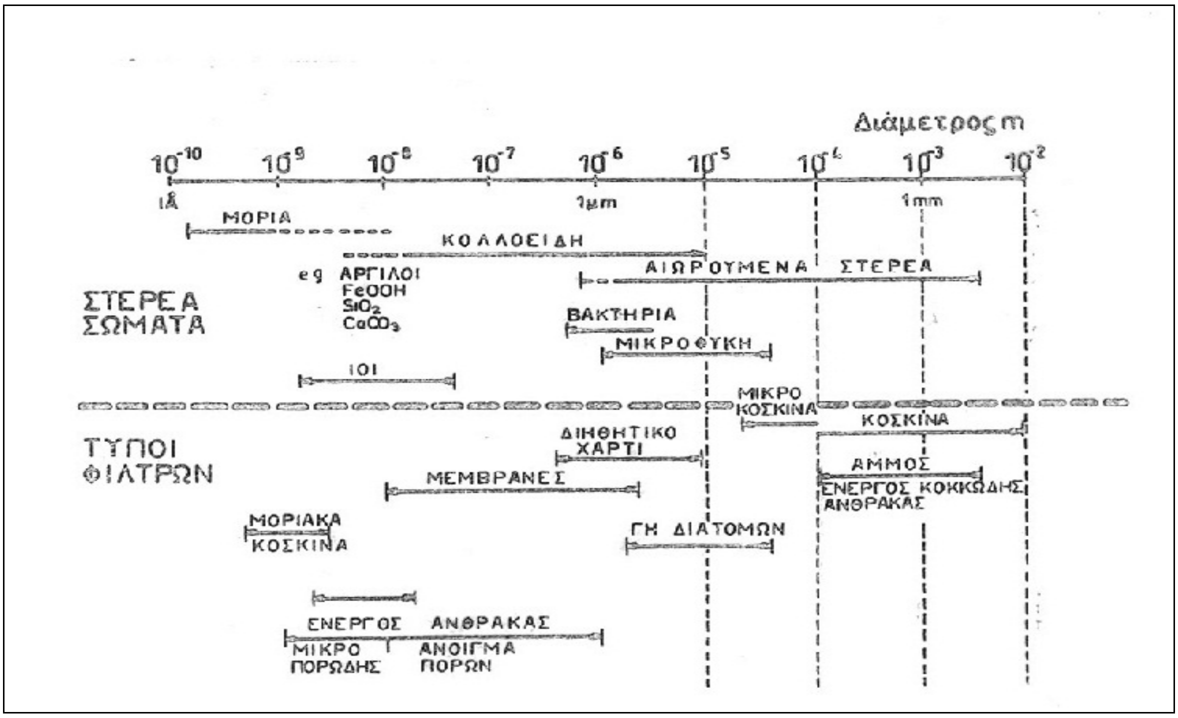


Σχήμα 2.3. *Κατηγορίες στερεών σε υγρά και απόβλητα και μεταξύ τους συσχετίσεις (Tchobanoglous and Schroeder, 1985)*

Ακόμα διαφοροποιούνται σε αυτά που διέρχονται από φίλτρο με διάμετρο πόρων 0.45μm και ονομάζονται διαλυμένα στερεά (DS – Dissolved Solids) και σε αυτά που παραμένουν στο φίλτρο και ονομάζονται αιωρούμενα στερεά (SS – Suspended Solids). Τα πρώτα εμπεριέχουν τα πραγματικά διαλυμένα στερεά (οργανικά και ανόργανα μόρια και ιόντα) και τα κολλοειδή. Τα κολλοειδή είναι σωματίδια που διατηρούνται σε αιώρηση εξ' αιτίας του μικρού τους μεγέθους (0,001 – 1μm), της κατάστασης της ενυδάτωσης τους και των επιφανειακών ηλεκτρικών τους φορτίων. Δεν απομακρύνονται μέσω καθίζησης, αλλά στην περίπτωση αυτή απαιτείται βιολογική οξείδωση ή μικροδιήθηση ή κροκίδωση / συσσωμάτωση με ακόλουθη καθίζηση.

Τα αιωρούμενα στερεά μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη συσσωματωμάτων ιλύος, καθώς και στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών, όταν τα ανεπεξέργαστα απόβλητα διατίθονται σε υδάτινο περιβάλλον. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η τάξη μεγέθους οργανικών και βιολογικών ρυπαντών σε υγρά απόβλητα.

***Σχήμα 2.4.**. Τάξη μεγεθών αιωρούμενων στερεών (Λοιζίδου, 2006)*



Κάθε μία από τις κατηγορίες στερεών μπορεί να ταξινομηθεί περαιτέρω βάσει της πτητικότητάς της σε θερμοκρασίες 550 ± 50ºC. Το οργανικό τμήμα οξειδώνεται και απομακρύνεται ως αέριο, ενώ το ανόργανο μέρος παραμένει σαν τέφρα. Έτσι οι έννοιες «πτητικά» αιωρούμενα συστατικά (***V**olatile **S**uspended **S**olids*) και «μη – πτητικά» (***F**ixed **S**uspended **S**olids*) αναφέρονται στο οργανικό και ανόργανο περιεχόμενο αντίστοιχα. Ο προσδιορισμός πτητικών συστατικών χρησιμοποιείται συχνά σε ιλύες για την εκτίμηση του βιολογικά ενεργού τμήματος (βιομάζα).

Η ύπαρξη των στερεών στα φυσικά νερά δεν προέρχεται μόνο από εξωτερικές πηγές ρύπανσης. Αιωρούμενα και διαλυμένα στερεά προέρχονται κατ' εξοχήν από φυσικές πηγές και οφείλονται στην αποσάθρωση και στη διαλυτοποίηση ορυκτών που έρχονται σε επαφή με τα νερά. Επίσης, δημιουργούνται στα φυσικά νερά και από φαινόμενα όπως αυτό του ευτροφισμού. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα έντονο στην περίπτωση των λιμνών, εμφανίζεται όμως υπό ορισμένες συνθήκες και στα ποτάμια και στη θάλασσα.

Τα καθιζάνοντα κατακάθονται στον πυθμένα όπου το οργανικό τους φορτίο αποσυντίθεται δημιουργώντας οσμές, έλλειψη οξυγόνου και επηρεάζοντας την υδρόβια ζωή. Τα επιπλέοντα περιέχουν λάδια που δημιουργούν αντιαισθητική όψη και εμποδίζουν τη διέλευση του φωτός. Τα διαλυμένα στερεά οφείλονται στην παρουσία κυρίως ευδιάλυτων ανόργανων αλάτων όπως χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, νιτρώδη, αμμωνιακά κλπ. Η προέλευσή τους είναι είτε φυσική είτε οφείλεται σε ανθρωπογενείς

Αποτελούν σημαντικές παραμέτρους και για τα απόβλητα καθώς επηρεάζουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους και την ποιότητα των τελικών αποδεκτών. Γι αυτό το λόγο οι περιβαλλοντικές υπηρεσίες ορίζουν όρια συγκέντρωσης των στερεών τόσο στα προς διάθεση απόβλητα όσο και στα νερά των αποδεκτών, ανάλογα με την επιθυμητή τους χρήση (πηγές: Metcalf & Eddy, 2006 και Οικονομόπουλος, 2005).

2.3.Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

Ο καθαρισμός των αποβλήτων συνίσταται στην απομάκρυνση όλων των βλαβερών συστατικών των αποβλήτων δηλαδή:

- τα ογκώδη στερεά αντικείμενα,
- την άμμο που προέρχεται από την έκπλυση των δρόμων και των κήπων (νερά απορροής),
- τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων,
- τα οργανικά – φυσικά συστατικά που είναι διαλυμένα στη μάζα των αποβλήτων (π.χ. υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη),
- τα τοξικά συστατικά που περιέχονται σε βιομηχανικά απόβλητα,
- το άζωτο και το φώσφορο,
- τους παθογόνους μικροοργανισμούς που προκαλούν τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς.

Αν τα απόβλητα διοχετευτούν χωρίς επεξεργασία σε ένα υδάτινο αποδέκτη δημιουργούν διάφορα προβλήματα. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσαρέσκεια παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Η παρουσία τους διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν στον άνθρωπο όπως π.χ. δερματικές και άλλες μολύνσεις. Αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά ως το βασικότερο κριτήριο για την καταλληλότητα ή όχι μιας ακτής για κολύμβηση. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος, είναι όμως τα περισσότερο υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης. Και αυτό γιατί κάθε υδάτινος φορέας, αλλά και τα ίδια τα απόβλητα, περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς και το άζωτο και το φώσφορο για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν καταναλώνοντας παράλληλα το οξυγόνο (δηλαδή αναπνέοντας), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό του φορέα μέχρι να το εξαφανίσουν τελείως. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το φαινόμενο του ευτροφισμού, που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο φορέα.

Για τη μείωση/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 απόβλητου (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 σύμφωνα με τους Στάμου, Βογιατζή (Αθήνα,1994) συνοψίζονται, κατά κατηγορία παρακάτω:

1. **Αερόβια Βιολογική επεξεργασία**

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

2. **Αναερόβια Βιολογική Επεξεργασία**

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

3. **Χημική Φυσικοχημική Επεξεργασία**

- Χημική κατακρήμνιση
- Χημική οξείδωση
- Απορρόφηση σε ενεργό άνθρακα
- Αντίστροφη ώσμωση
- Απαέρωση αμμωνίας

2.4.1. 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.

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 (Metcalf & Eddy, Εκδόσεις Τζιόλα 2006).

2.4.2. 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. 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 ($T=35^oC$).

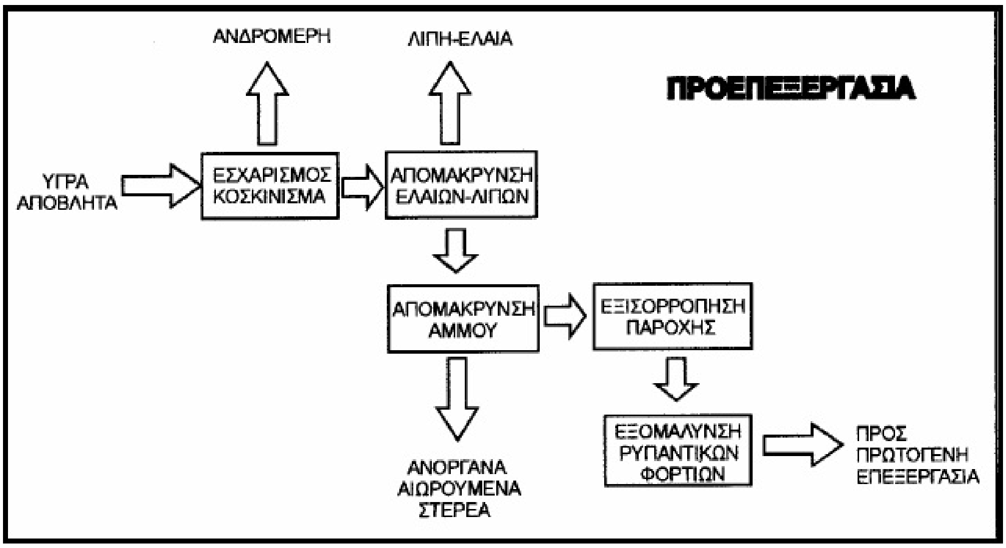
Γενικά, οι αναερόβιες επεξεργασίες είναι κατάλληλες για την επεξεργασία αποβλήτων που έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο. Μια τυπική εγκατάσταση αναερόβιας επεξεργασίας δύο σταδίων έχει ως εξής: Στο πρώτο στάδιο, η δεξαμενή είναι κλειστή, υπάρχει πλήρης ανάμιξη λάσπης σε αυτή και γίνεται ανακύκλωση του αποβλήτου 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 (Metcalf & Eddy, Εκδόσεις Τζιόλα, 4η έκδοση 2006).

2.5.Προεπεξεργασία

Σκοπός της προκαταρκτικής επεξεργασίας είναι να προστατευτούν οι επόμενες κύριες διαδικασίες επεξεργασίας. Το ακατέργαστο επιφανειακό νερό που προέρχεται από ποταμούς ή από ταμιευτήρες περιέχει πολλές φορές αιωρούμενα ή επιπλέοντα στερεά, που λόγω μεγέθους ή χαρακτηριστικών πρέπει να απομακρυνθούν πριν το νερό εισέλθει στην κύρια διεργασία καθαρισμού του. Η άμεση απομάκρυνση τέτοιων στερεών είναι αναγκαία και για την προστασία των αντλητικών συγκροτημάτων καθώς και του δικτύου διακίνησης του νερού, κυρίως για την αποφυγή εμφράξεων. Οι διεργασίες απομάκρυνσης είναι: εσχαρισμός, κοσκίνισμα, εξάμμωση, άλεση, από-ιλύωση, απομάκρυνση ελαιωδών και μικροκοσκίνισμα. Στις διεργασίες προεπεξεργασίας εξετάζεται και η μέτρηση της παροχής (Λέκκας, 2005).

1.



2.

Σχήμα 2.5. *Διεργασίες προεπεξεργασίας*

3.

4. Εσχάρωση

Οι εσχάρες είναι διατάξεις με παράλληλες μπάρες και χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση των ογκωδών αντικειμένων (κουρέλια, κομμάτια ξύλων, πλαστικά, κλαδιά κλπ), που μπορεί να φράξουν και να καταστρέψουν τις αντλίες και το υπόλοιπο μηχανολογικό εξοπλισμό. Η απομάκρυνση γίνεται με τη συγκράτησή τους σε εσχάρες κατά τη διέλευσή των αποβλήτων μέσα από αυτές.

Η απόδοση των εσχάρων εξαρτάται από τα διάκενα μεταξύ των παράλληλων μπαρών. Οι εσχάρες χωρίζονται σε :

- λεπτές εσχάρες με διάκενα 3 – 10 mm,
- μεσαίες εσχάρες με διάκενα 10 -25 mm,
- χοντρές εσχάρες με διάκενα 50 – 100mm.

Ο εσχαρισμός γίνεται είτε με εσχάρες που καθαρίζονται χειρωνακτικά είτε με εσχάρες αυτόματου καθαρισμού που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερες μονάδες.

5. Άλεση

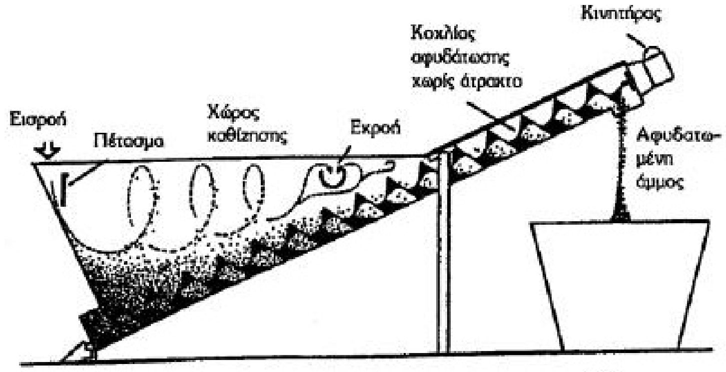
Σκοπός της είναι ο θρυμματισμός των ογκωδών αντικειμένων σε πολύ μικρού μεγέθους στερεά, που παραμένουν στη μάζα των αποβλήτων και απομακρύνονται σε επόμενα στάδια. Η άλεση γίνεται σε ειδικές συσκευές (θρυμματιστές) που χρησιμοποιούνται εναλλακτικά ή σε συνδυασμό με τις εσχάρες.

6. Εξάμμωση

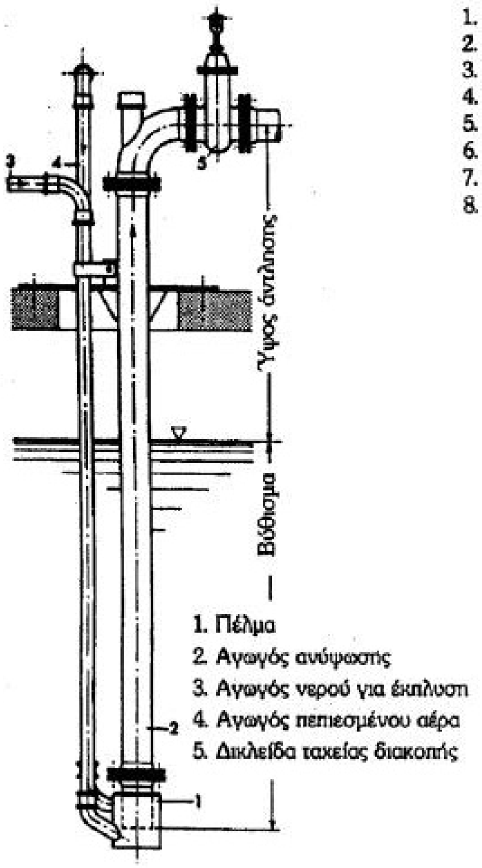
Σκοπός της είναι η απομάκρυνση κόκκων άμμου, σωματιδίων αργίλου ή άλλων βαριών σωματιδίων, γεωλογικής ή όχι υφής, διαμέτρου μεγαλύτερης από 200μm, που δεν είναι οργανικά και έχουν ταχύτητες καθίζησης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των οργανικών στερεών. Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη, γιατί η παρουσία τους, δημιουργεί προβλήματα, όπως εναπόθεση φερτών στον πυθμένα αγωγών, φράξιμο σωληνώσεων, φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού (αντλίες, ξέστρα κλπ.) και μείωση της απόδοσης διαφόρων μονάδων επεξεργασίας (πχ. Στους αναερόβιους χωνευτές λάσπης η υπερβολική συσσώρευση άμμου μειώνει τον ωφέλιμο όγκο και την απόδοσή τους). Η εξάμμωση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές (εξαμμωτές) με τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών ροής που ευνοούν την καθίζηση και την απομάκρυνση της άμμου και των άλλων ανόργανων σωματιδίων αλλά όχι και των οργανικών στερεών.

7. Τεμαχιστές

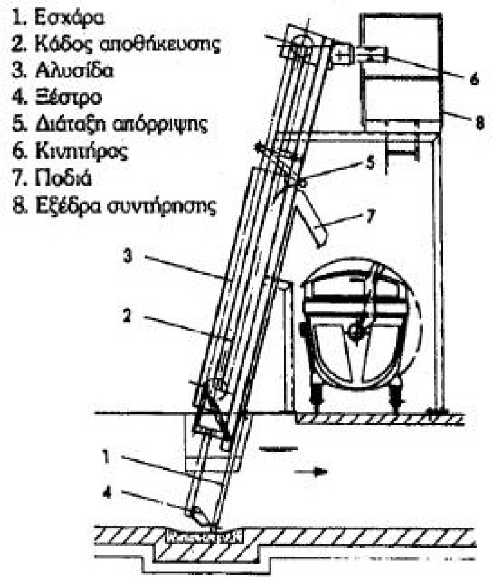
Ο ρόλος των τεμαχιστών είναι η μείωση του μεγέθους των στερεών σε βαθμό που να απομακρύνονται από τις διεργασίες καθαρισμού που ακολουθούν. Ο σκοπός χρήσης τους είναι η αποφυγή δημιουργίας ενός ξεχωριστού ρεύματος στερεών με όλα τα επακόλουθα προβλήματα διαχείρισης όπως διακίνηση, προσωρινή αποθήκευση, μεταφορά και τελική διάθεση.



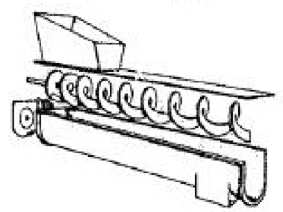
Σκαρίφημα κοχλιωτού διαχωριστή άμμου



Αεραντλία Passavant



Επίπεδη αυτόματη εσχάρα Passavant



Κλειστός μεταφορικός κοχλίας εσχαρισμένος χωρίς άτρακτο

Σχήμα 2.6.*Συστήματα Προεπεξεργασίας (Τεχνικό μνημόνιο 2002, περιοδικό "ΤΕΧΝΙΚΑ")*

8. Απο-ιλύωση

Η από-ιλύωση είναι διεργασία προκαταρκτικής καθίζησης για επιφανειακά νερά που περιέχουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων στερεών. Στόχος η απομάκρυνση της λεπτής άμμου και του μεγαλύτερου μέρους της αργίλου. Το επίπεδο της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών πέραν του οποίου γίνεται απαραίτητη η διεργασία αυτή εξαρτάται από τον τύπο της δεξαμενής καθίζησης που ακολουθεί.

Οι δεξαμενές από-ιλύωσης σχεδιάζονται σχεδιάζονται με ή χωρίς ξέστρα και είτε ως δεξαμενές καθίζησης είτε ως πυκνωτές ιλύος ανάλογα με την αρχική συγκέντρωση των στερεών. Ακόμα, χρησιμοποιούνται πολυηλεκτρολύτες όταν η συγκέντρωση είναι μεγάλη και απαιτείται αυξημένη απόδοση.

Στις χαμηλές συγκεντρώσεις, το επιφανειακό φορτίο κυμαίνεται μεταξύ 2 έως 6 m^3/m^2h όπου η τιμή εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών, των τύπο των στερεών και τη χρήση ή όχι του πολυηλεκτρολύτη. Ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται μεταξύ 1 και 2 ωρών και εξαρτάται από τη φόρτιση και τα χαρακτηριστικά των αιωρούμενων στερεών. Για υψηλό φορτίο ή χαμηλή ταχύτητα καθίζησης η δεξαμενή σχεδιάζεται ως πυκνωτής ιλύος Το φορτίο είναι χαμηλό (0,5 - 2 m^3/m^2h) και ο χρόνος παραμονής 2 έως 5 ώρες.

Η απόδοση των δεξαμενών κυμαίνεται μεταξύ 50 έως 65% χωρίς προσθήκη πολυηλεκτρολυτών και 75 έως 98% με προσθήκη.

9. Απομάκρυνση Ελαιωδών

Η απομάκρυνση ελαιωδών και λιπαρών προσμίξεων είναι αναγκαία σε μία σειρά περιπτώσεων:

- απομάκρυνση ελαιωδών από τα επιφανειακά νερά πριν από την κύρια επεξεργασία νερού,
- απομάκρυνση λιπαρών από τα οικιακά υγρά απόβλητα πριν από την απόρριψη στο δίκτυο αποχέτευσης,
- απομάκρυνση λιπαρών κατά την προεπεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων,
- απομάκρυνση ελαιωδών προσμίξεων από τα υγρά απόβλητα των διυλιστηρίων πετρελαίου και άλλων βιομηχανιών,

- απομάκρυνση ελαιωδών από τα συμπυκνώματα ατμού στη βιομηχανία πριν την ανακύκλωση νερού.

Η απομάκρυνση των ελαιωδών είναι μια απομάκρυνση υγρών φάσεων ενώ των λιπαρών ένας διαχωρισμός στερεής-υγρής φάσης. Τόσο τα ελαιώδη όσο και τα λιπαρά συστατικά είναι ελαφρύτερα από το νερό και όταν το νερό βρεθεί σε ηρεμία, οι προσμίξεις αυτές επιπλέουν. Η υπερχείλιση που πολλές φορές υποβοηθείται με ένα επιφανειακό ξέστρο κυρίως για τα λιπαρά είναι η μέθοδος απομάκρυνσης των προσμίξεων αυτών. Σε πολλές περιπτώσεις η επίπλευση αυτή των ελαιωδών και των λιπαρών γίνεται καλύτερα με την εφαρμογή της Επίπλευσης Διαλυμένου Αέρα (DAF).

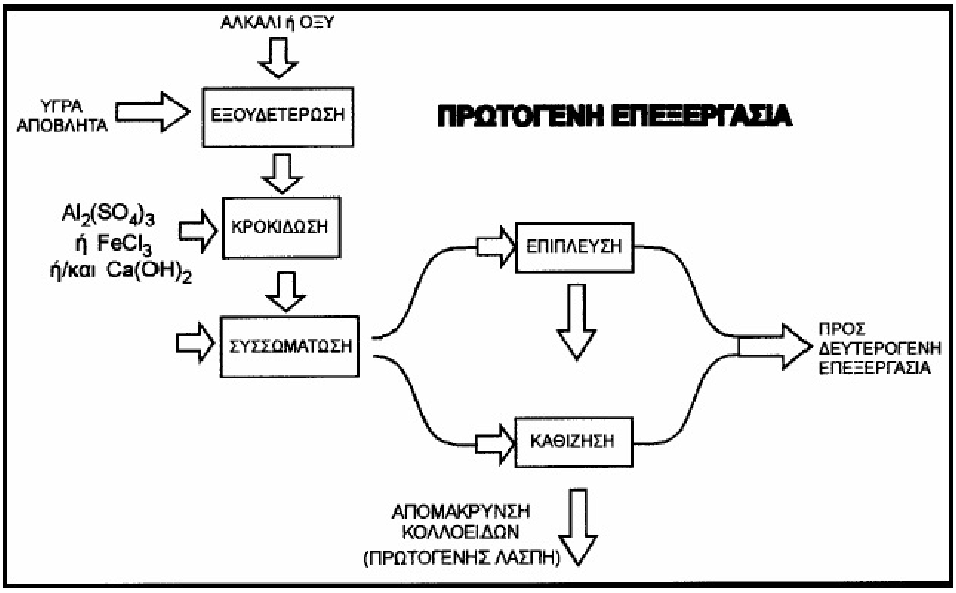
10. Εξισορρόπηση Παροχής

Σκοπός της, είναι η ομοιόμορφη φόρτιση των επομένων μονάδων επεξεργασίας και η βελτίωση της απόδοσής τους. Επιτυγχάνεται με την εξομάλυνση των διακυμάνσεων της παροχής (ή του ρυπαντικού φορτίου) των αποβλήτων σε δεξαμενές κατάλληλα σχεδιασμένες, ώστε τα απόβλητα να εξέρχονται σε σταθερή παροχή.

Τα παραπροϊόντα της προεπεξεργασίας είναι αδρομερή στερεά τα οποία διατίθενται με μεθόδους διάθεσης στερεών απορριμμάτων, τα λίπη και έλαια τα οποία αν δεν μπορούν να ανακυκλωθούν καίγονται σε ειδικούς κλιβάνους και τα ανόργανα στερεά τα οποία μπορούν να διατεθούν στους χώρους υγειονομικής ταφής ή να καούν σε ειδικούς αποτεφρωτήρες (Βλυσίδης, 2006).

2.6.Πρωτοβάθμια Επεξεργασία.

Σκοπός της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση των στερεών από τα απόβλητα. Περιλαμβάνει την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών με καθίζηση (πρωτοβάθμια καθίζηση) ή επίπλευση, αλλά και των κολλοειδών στερεών με χημική επεξεργασία και καθίζηση.



Σχήμα 2.7. *Διεργασίες πρωτογενούς επεξεργασίας*

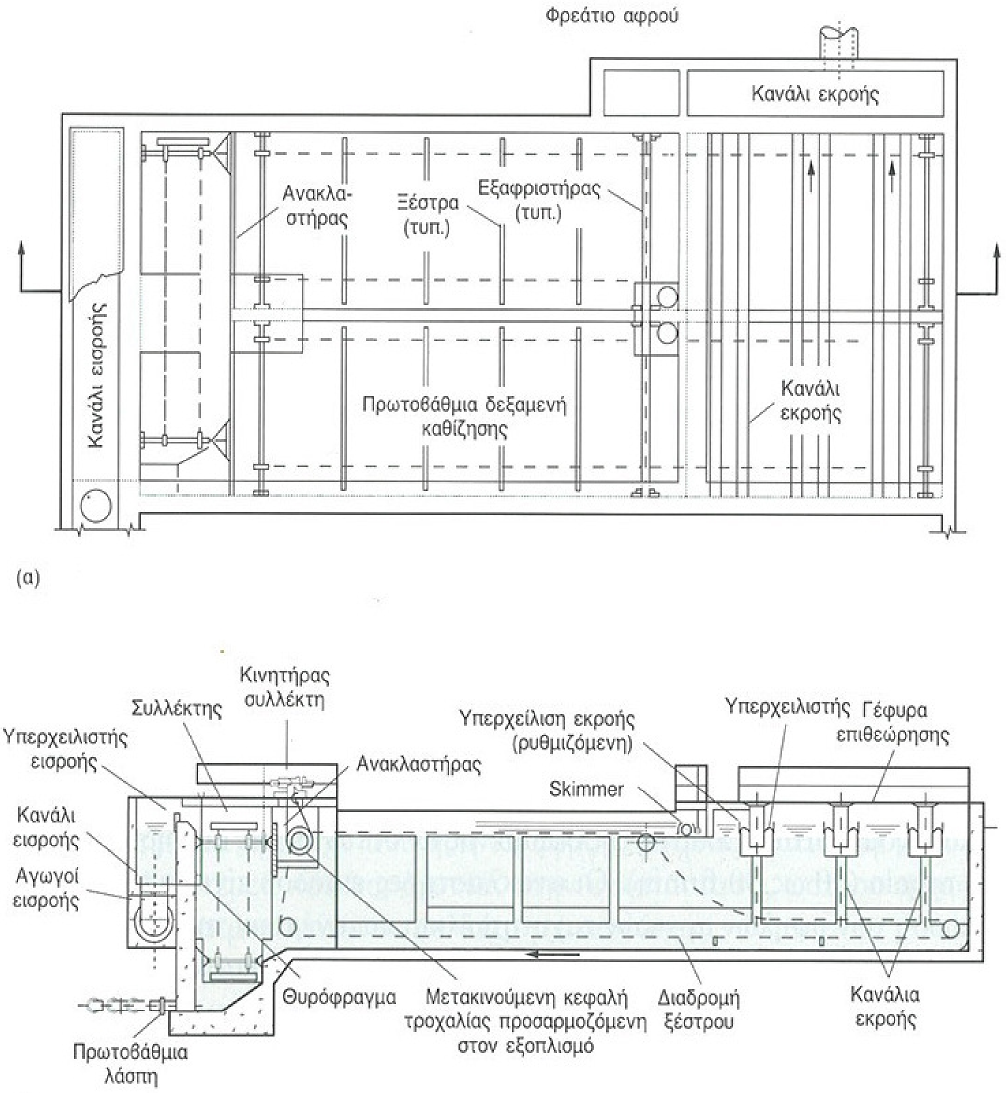
Τα παραπροϊόντα της πρωτογενούς επεξεργασίας είναι μία πρωτογενή λάσπη η οποία πρέπει να παχυνθεί (αύξηση της συγκέντρωσης των αιωρουμένων σε 5%) να σταθεροποιηθεί ή/και να αξιοποιηθεί ενεργειακά με διεργασίες αναερόβιας ή αερόβιας χώνευσης (κομπόστες, βιοαέριο) και τελικά να διατεθεί αν δεν περιέχει τοξικότητες σε χώρους υγειονομικής ταφής (Βλυσίδης, 2006).

Καθίζηση – Επίπλευση

Με τη διαδικασία καθίζησης επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των αιωρούμενων οργανικών και ανόργανων στερεών, μεγέθους 1 – 0,001mm. Οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης που έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν αποδοτικά μπορούν να απομακρύνουν 25 έως 40% του BOD και 50 έως 70% των αιωρούμενων στερεών πριν από τις επόμενες μονάδες επεξεργασίας και κατά συνέπεια στη μείωση του κόστους.

Όλες οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας χρησιμοποιούν μηχανικά καθαριζόμενες κυκλικές ή ορθογώνιες δεξαμενές καθίζησης. Η επιλογή του τύπου της μονάδας καθορίζεται από το μέγεθος της εγκατάστασης, από τους κανονισμούς και τις διατάξεις των τοπικών αρχών και από τις επιμέρους συνθήκες.

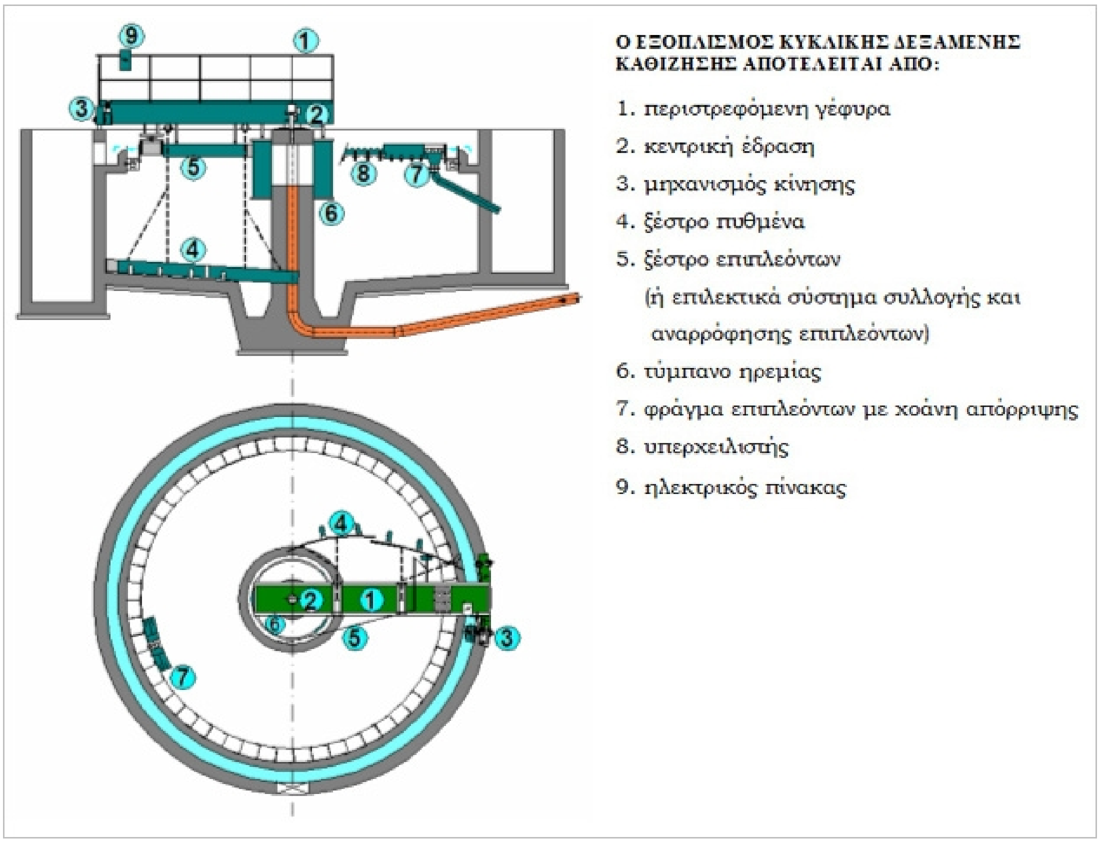
Η πρωτοβάθμια καθίζηση γίνεται σε δεξαμενές όπου τα στερεά καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας και κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Επειδή η ταχύτητα καθίζησης είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερα είναι τα στερεά, στις περισσότερες περιπτώσεις καθαρισμού του νερού εφαρμόζεται κροκίδωση και συσσωμάτωση για την αύξηση του μεγέθους των στερεών πριν τη δεξαμενή καθίζησης (ΔΚ).



Σχήμα 2.8. *Τυπική ορθογώνια δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (α) κάτοψη και (β) τομή (Metcalf & Eddy, 2006).*

Η επίπλευση εφαρμόζεται όταν τα αιωρούμενα στερεά έχουν ειδικό βάρος μικρότερο ή παραπλήσιο του νερού. Διακρίνονται τρία είδη επίπλευσης:

- Η ηλεκτρολυτική επίπλευση (Electrolytic Flotation), η οποία στηρίζεται στην παραγωγή πολύ μικρών φυσαλίδων υδρογόνου και οξυγόνου που προκύπτουν από την ηλεκτρολυτική διάσπαση του νερού. Εξαιτίας του πολύ μικρού αριθμού μεγέθους φυσαλίδων η επιφανειακή φόρτιση πρέπει να είναι μικρότερη από 4 m/h. Χρησιμοποιείται κυρίως για την πύκνωση της λάσπης αποβλήτων.

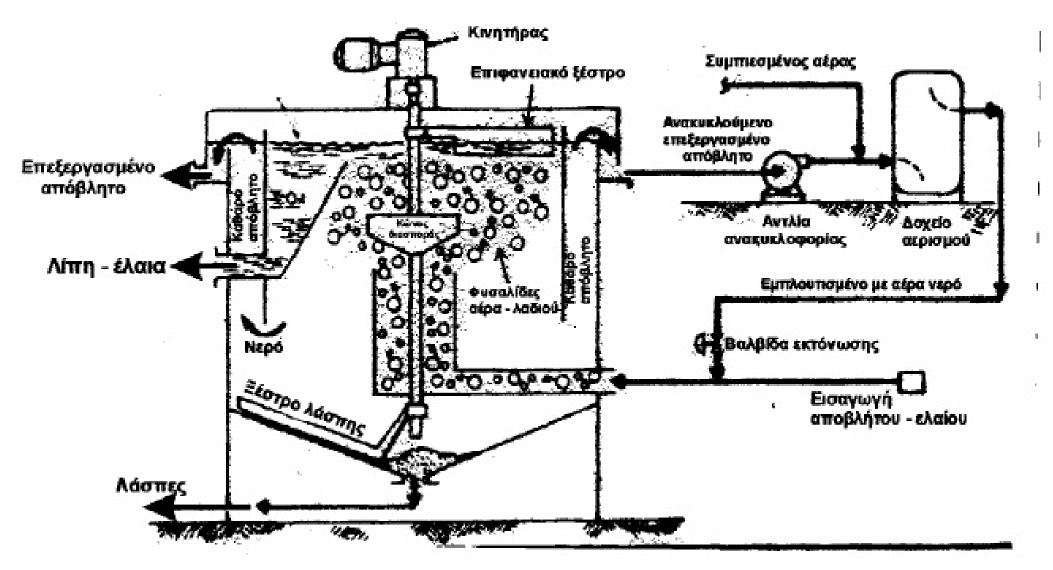


Σχήμα 2.9. *Κυκλική Δεξαμενή Καθίζησης (Βλησίδης, 2006)*

- Η επίπλευση με διασκορπισμένο αέρα (Dispersed Air Flotation), όπου εισάγονται φυσαλίδες μικρής διαμέτρου στη μάζα του υγρού, οι οποίες παράγονται από πορώδη υλικά κατάλληλα για σχηματισμό φυσαλίδων μικρού μεγέθους. Προκαλούνται έτσι συνθήκες έντονης ανάδευσης εξαιτίας των στροβιλισμών που προκαλεί το ρεύμα των φυσαλίδων. Υπάρχει περιορισμός για το μέγεθος των φυσαλίδων, αφού θα πρέπει να είναι αρκετά μικρές για να είναι εφικτή η προσκόλλησή τους στους θρόμβους.

- Η τεχνική της Επίπλευσης Διαλυμένου Αέρα (Dissolved Air Flotation), η οποία χρησιμοποιείται στην Ε.Ε.Λ. Αρμένων, όπου φυσαλίδες αέρος προσκολλώνται στη σωματιδιακή ύλη και έτσι δημιουργείται συσσωμάτωμα στερεού-φυσαλίδας με ειδικό βάρος σημαντικά μικρότερο από του νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας ανόδου. Τα καθιζάνοντα ή επιπλέοντα στερεά (λάσπη) συλλέγονται και οδηγούνται στη γραμμή επεξεργασίας λάσπης.

Μια τυπική διάταξη Επίπλευσης Διαλυμένου Αέρα φαίνεται στο σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10. *Διαχωριστήρας DAF (Βλησίδης, 2006)*

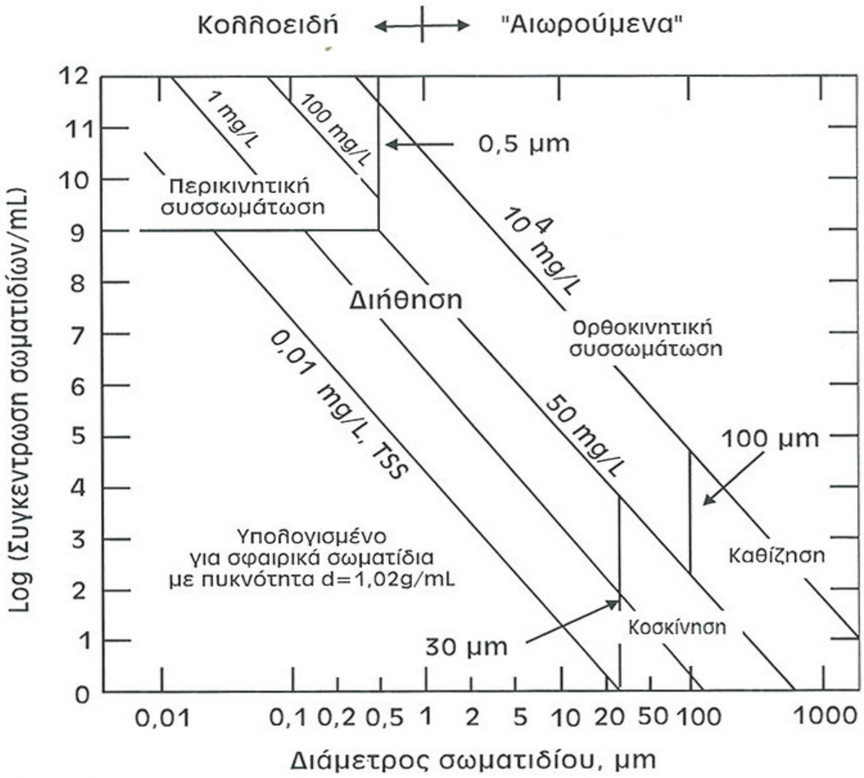
Συνήθως η καθίζηση και η επίπλευση αποτελούν το πρώτο στάδιο απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων από το νερό, ενώ για την πλήρη απομάκρυνση ακολουθεί η διήθησή του. Στο διάγραμμα 2.1. παρουσιάζεται μια μεθοδολογία επιλογής της καταλληλότερης διεργασίας με βάση τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της διασποράς.

1. Χημική Επεξεργασία και Καθίζηση

Κατά τη διαδικασία αυτή απομακρύνονται τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση. Η διαδικασία σκοπεύει στη μείωση των στερεών, στη βελτίωση της πρωτοβάθμιας καθίζησης και στην απομάκρυνση του φωσφόρου και των βαρέων μετάλλων.

Η χημική επεξεργασία γίνεται με την προσθήκη χημικών ουσιών στα απόβλητα, που προκαλούν τη συνένωση των αιωρούμενων και κολλοειδών σε μεγαλύτερα, τα οποία μπορούν αν απομακρυνθούν εύκολα με καθίζηση στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης ή σε ξεχωριστή δεξαμενή ειδική για το σκοπό αυτό. Η χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι: Θειικό αργίλιο, άσβεστος, υδροθειικός σίδηρος και άσβεστος, τριχλωριούχος σίδηρος, τριχλωριούχος σίδηρος και άσβεστος, τριθειικός σίδηρος και άσβεστος.

Σε αρκετές περιπτώσεις η πρωτοβάθμια επεξεργασία είναι το μοναδικό είδος επεξεργασίας που γίνεται ενώ σε άλλες, ανάλογα με την επεξεργασία που ακολουθεί, μπορεί να παραλειφθεί (πηγές: Στάμου Βογιατζής, 1994 & Λέκκας, 2005).



Διάγραμμα.2.1..*Διάγραμμα επιλογής της μεθόδου διαχωρισμού των σωματιδίων από το νερό (Kavanaugh, 1980)*

2.7.Δεξαμενή Επίπλευσης Διαλυμένου Αέρα (Dissolved Air Flotation)

Η τεχνική της Επίπλευσης Διαλυμένου Αέρα εφαρμόζεται διαλύοντας αέρα σε υψηλή πίεση κατά αντιρροή προς τη δεξαμενή επίπλευσης. Όταν η πίεση ελαττώνεται, καθώς ο αέρας μπαίνει στη δεξαμενή μέσα από μια οπή ελέγχου, ελαττώνεται και η διαλυτότητα του αέρα όπου φυσαλίδες αέρος προσκολλώνται στη σωματιδιακή ύλη και έτσι δημιουργείται συσσωμάτωμα στερεού-φυσαλίδας με ειδικό βάρος σημαντικά μικρότερο από του νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας ανόδου. Τα καθιζάνοντα ή επιπλέοντα στερεά (λάσπη) συλλέγονται και οδηγούνται στη γραμμή επεξεργασίας λάσπης.

Οι μεταβλητές της διεργασίας αυτής είναι:

- ο λόγος ανακυκλοφορίας/τροφοδοσίας,
- η συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην τροφοδοσία,
- ο λόγος στερεών/αέρα,
- το φορτίο της δεξαμενής σε στερεά,
- το υδραυλικό φορτίο της δεξαμενής.

Στην περιοχή πίεσης που χρησιμοποιούνται οι διεργασίες επίπλευσης στην επεξεργασία νερού, το οξυγόνο και το άζωτο του αέρα ακολουθούν το νόμο του Henry (στην υψηλότερη πίεση διαλύεται περισσότερος αέρας):

$$p = (H * C) / P_T, \text{ όπου:}$$

p, το μοριακό κλάσμα του αέρα ή η μερική πίεση του αερίου

H, ο συντελεστής αναλογίας ή η σταθερά στο νόμου του Henry

C, η μοριακή συγκέντρωση του αερίου στο νερό

P_T, η συνολική πίεση του αέρα.

Για την ατμοσφαιρική πίεση η εξίσωση παίρνει τη μορφή: $P_T = H * C$

Πίνακας 2.3. *Τυπικές τιμές σχεδιασμού DAF**

Τύπος Αποβλήτων	**Περιεχόμενα στερεά στην επίπλευση gr/l**	**Αναλογία αέρος/στερεών mg/mg**	**Αναλογία φορτίου/στερεών**	**Χημική ή απλή επίπλευση**
Χαρτοπολτός ή χαρτί	6,1	0,01	5,0	Απλή
Επεξεργασία κρέατος	8,0	0,01	5,0	Απλή
Επεξεργασία κρέατος	5,0	0,01	5,0	Θειικός σίδηρος με ανιονικό πολυηλεκτρολύτη

Τύπος Αποβλήτων	Περιεχόμενα στερεά στην επίπλευση gr/l	Αναλογία αέρος/στερεών mg/mg	Αναλογία φορτίου/στερεών	Χημική ή απλή επίπλευση
Επεξεργασία κρέατος	3,0	0,02	3,0	Θειικός σίδηρος
Διυλιστήρια	10,0	0,01	7,5	Θειικό αργίλιο με ανιονικό πολυηλεκτρολύτη
Απόβλητα χόρτων	3,0	0,01	7,5	Θειικό αργίλιο
Απόβλητα χόρτων	5,0	0,02	4,0	Θειικό αργίλιο με ανιονικό πολυηλεκτρολύτη
Βαφές αυτοκινήτων	8,0	0,01	5,0	Θειικό αργίλιο
Φαρμακευτικά	4,0	0,02	5,0	Θειικός σίδηρος με ανιονικό πολυηλεκτρολύτη
Παραγωγή ζελατίνης	8,0	0,01	5,0	Απλή
Επεξεργασία γάλακτος	5,0	0,02	5,0	Απλή
Ιλείς επεξεργασίας νερού	5,0	0,05	3,0	Με πολυηλεκτρολύτη
Ενεργοί Ιλείς	4,0	0,02	5,0	Απλή
Ενεργοί Ιλείς	6,0	0,02	10,0	Με πολυηλεκτρολύτη
Επεξεργασία μπέικον	8,0	0,01	5,0	Απλή

*Mahon & McPhillips, Water Treatment, Ltd Larchfield, Kilkenny, Ireland, 1983.

Ένας σημαντικός συντελεστής για τη λειτουργία του DAF είναι ο λόγος V_a/S (αέρας/αιωρούμενα σωματίδια). Όταν έχουμε ανακυκλοφορία και συγκέντρωση στερεών S_i στο ρεύμα εισόδου ο λόγος γίνεται :

$$V_a/S= [R*(C_2 – C_1)] / \ Q* S_i$$, όπου:

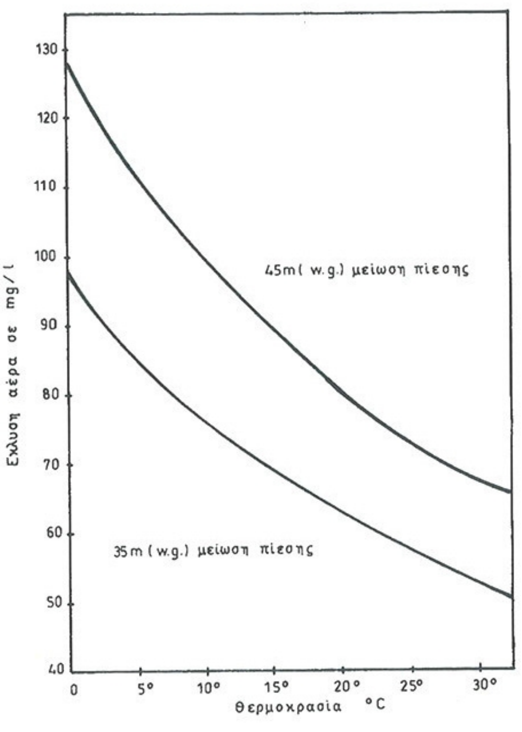
S(mg/h), η παροχή των στερεών

R(l/h), η ανακυκλοφορία

S_i(mg/l), η συγκέντρωση στερεών

Ο συντελεστής στο νόμο του Henry εκφράζει την εξάρτηση της διαλυτότητας ενός αερίου από τη θερμοκρασία. Η διαλυτότητα του αέρα στο νερό, υπό σταθερή θερμοκρασία, είναι ανάλογη προς την πίεση P του αέρα που βρίσκεται σε ισορροπία με το νερό. Η ποσότητα του αέρα που διαλύεται ως συνάρτηση της πίεσης και της θερμοκρασίας φαίνεται στο διάγραμμα 2.2.

Διάγραμμα 2.2. *Ποσότητα αέρα που διαλύεται ως συνάρτηση της πίεσης και της θερμοκρασίας (Λέκκας, 2005)*



Ο κορεσμός γίνεται στο δοχείο κορεσμού με τη βοήθεια της αντλίας ανακυκλοφορίας – ανάμιξης του δοχείου. Εάν η πίεση κορεσμού υπερβεί τα 60m στήλης ύδατος υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας μεγάλων φυσαλίδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στις μεγαλύτερες πιέσεις, κατά την εκτόνωση, δημιουργείται μεγαλύτερος αριθμός φυσαλίδων και επομένως είναι ευκολότερη η επαφή μεταξύ φυσαλίδων και η τελική συνένωση προς μεγαλύτερες. Το ρεύμα εξόδου από το δοχείο κορεσμού εκτονώνεται μέσα στον όγκο του νερού δεξαμενής επίπλευσης. Κατά τη μείωση της πίεσης επανέρχεται μείωση της διαλυτότητας του αέρα στο νερό και η περίσσεια του αέρα απελευθερώνεται σε μορφή μικροφυσαλίδων.

Πιο συγκεκριμένα, στα συστήματα χαμηλής πίεσης, ολόκληρη η παροχή μπορεί να συμπιέζεται με μία αντλία σε πίεση 275 έως 350kPa (40 – 50lb/in^2) με πεπεισμένο αέρα που προστίθεται στην αναρρόφηση της αντλίας. Ολόκληρη η παροχή διατηρείται σε μια δεξαμενή παραμονής έτσι ώστε να διαλυθεί ο αέρας. Στη συνέχεια, εισάγεται από μία βαλβίδα εκτόνωσης στη δεξαμενή επίπλευσης όπου ο αέρας εισέρχεται στο διάλυμα ως λεπτόκοκκες φυσαλίδες.

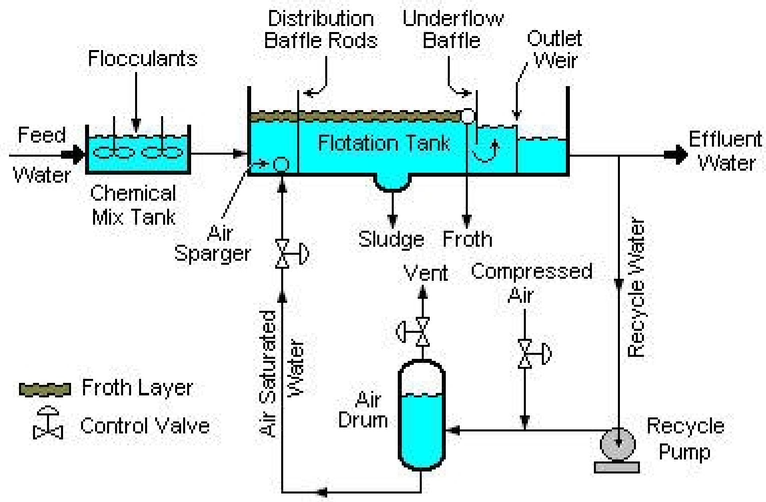
Σε μεγαλύτερες μονάδες, ένα μέρος της εξόδου από τη μονάδα DAF (15-20%) ανακυκλώνεται, συμπιέζεται και λαμβάνει χώρα μερικός κορεσμός με αέρα. Η ανακυκλωμένη ροή αναμιγνύεται με το μη συμπιεσμένο κύριο ρεύμα ακριβώς πριν την είσοδο στη δεξαμενή επίπλευσης, με αποτέλεσμα ο αέρας να απελευθερώνεται από το διάλυμα και να εισέρχεται σε επαφή με τα σωματίδια στην είσοδο της μονάδας. Οι μονάδες συμπίεσης χρησιμοποιούνται κυρίως για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων και για την πύκνωση στερεών.

Το μέγεθος των φυσαλίδων καθορίζει τη ροή του ανερχόμενου ρεύματος φυσαλίδων στο νερό. Ενώ μικροφυσαλίδες διαμέτρου 20μm ανέρχονται μέσα στο νερό με μια ταχύτητα της τάξης μερικών mm/sec, φυσαλίδες διαμέτρου μερικών mm ανέρχονται με ταχύτητες από 10 έως 30 φορές μεγαλύτερες. Καθώς ελαττώνεται η διάμετρος των φυσαλίδων του αέρα και επομένως και η ταχύτητα ανόδου τους μέσα στη μάζα του νερού, αυξάνεται τόσο ο χρόνος παραμονής των φυσαλίδων, όσο και ο χώρος κατανομής τους μέσα στο νερό, αυξάνοντας σημαντικά τη πιθανότητα προσκόλλησής τους στους θρόμβους. Τέλος, πολύ αυξημένη ροή φυσαλίδων προκαλεί διάσπαση των θρόμβων, οπότε δυσχεραίνεται ο διαχωρισμός.

Μία μονάδα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα (σχήμα 2.11.) περιλαμβάνει:

i. **Το τμήμα θρόμβωσης των σωματιδίων**. Η διαδικασία κροκίδωσης και συσσωμάτωσης είναι το ίδιο σημαντική και απαραίτητη στη διεργασία επίπλευσης, όσο και στη διεργασία της καθίζησης και είναι σχεδόν αδιάφορο το ποια μέθοδος διαχωρισμού έπεται.

ii. **Τη δεξαμενή επίπλευσης**. Μπορεί να είναι ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία πόσιμου νερού είναι ορθογωνικής διατομής και συνήθως αποτελούν ενιαίες κατασκευές με το τμήμα θρόμβωσης για ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου χώρου και κόστους. Το τμήμα εισόδου της παροχής ανακυκλοφορίας είναι ένας θάλαμος με λειτουργικό σκοπό, αφενός μεν να φέρει σε επαφή το προς επεξεργασία νερό με την παροχή που περιέχει τον αέρα, αφετέρου δε να οδηγήσει σε ομαλή ανάμιξη και μεταφορά της κινητικής ενέργειας. Είναι σημαντικό το ύψος της εισαγωγής από το τμήμα θρόμβωσης στο τμήμα τροφοδοσίας της δεξαμενής επίπλευσης για να εξασφαλίζεται η σταθερότητα στην επεξεργασία του πόσιμου νερού. Η κλίση και το ύψος του κεκλιμένου επιπέδου καθορίζουν τη μορφή της ροής μέσα στη ΔΕ και επομένως το απαιτούμενο μήκος της. Συνήθως η εισαγωγή της τροφοδοσίας γίνεται στο επάνω μισό της δεξαμενής επίπλευσης, ενώ η έξοδος του επεξεργασμένου νερού τοποθετείται στο κάτω τρίτο της δεξαμενής. Εάν στον πυθμένα της μονάδας συλλέγεται λάσπη από σωματίδια μεγάλου ειδικού βάρους που καθιζάνουν, τότε το βάθος της μονάδας θα πρέπει να είναι μεγάλο, οπότε και η απόσταση εξόδου του προκαθορισμένου νερού από τον πυθμένα πρέπει να είναι αντίστοιχα μεγάλη. Το μήκος της δεξαμενής, δηλαδή, πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο για να επιτευχθεί η επίπλευση, αλλά όχι τόσο μεγάλο ώστε να γίνει καθίζηση των συσσωματωμάτων. Ο λόγος μήκους / πλάτους κυμαίνεται μεταξύ 1.5 και 3. Το βάθος της μονάδας μπορεί να είναι μικρότερο όταν οι μικροφυσαλίδες κατανέμονται ομοιόμορφα. Γενικά, κυμαίνεται από 1,2 έως 2m, ενώ δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 3m. Πριν από την τελική διάθεση υπάρχει δεξαμενή συλλογής του επεξεργασμένου νερού, η οποία χρησιμεύει ως δεξαμενή εξισορρόπησης της παροχής ανακυκλοφορίας.



Σχήμα 2.11. *Μια τυπική μονάδα επίπλευσης διαλυμένου αέρα -DAF (Metcalf &Eddy,2006)*

iii. **Τμήμα παραγωγής μικροφυσαλίδων**. Η παραγωγή τους γίνεται με εκτόνωση μέσα στη ΔΕ μιας παροχής νερού, η οποία έχει κορεσθεί με αέρα στο δοχείο συμπίεσης. Γενικά είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τρεις εναλλακτικές λύσεις: (1) η ολική συμπίεση της τροφοδοσίας, (2) η συμπίεση ενός τμήματος της τροφοδοσίας και (3) η ανακύκλωση και συμπίεση τμήματος της εκροής επεξεργασμένου νερού, η οποία εφαρμόζεται συνηθέστερα, και το ρεύμα ανακύκλωσης αντιστοιχεί σε ποσοστό 10-30% της επεξεργαζόμενης περιοχής.

Η κατανάλωση του αέρα κυμαίνεται από 8 έως 10g αέρα/m^3 επεξεργαζόμενου νερού (Rees et al.1979) και η πίεση στο δοχείο κορεσμού κυμαίνεται συνήθως στα 3 με 6 bar. Τα δεδομένα αυτά είναι 10 φορές μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα για πύκνωση λάσπης, αλλά αφορούν νερό με χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών (20mg/L).

Η χρήση του δοχείου κορεσμού είναι ο πιο αποτελεσματικός και πιο ακριβός τρόπος κορεσμού νερού με αέρα. Μπορεί όμως να γίνει και με απευθείας εισαγωγή αέρα από το συμπιεστή στην παροχή νερού. Στην ιδανική περίπτωση, που στο δοχείο συμπίεσης επιτυγχάνεται πλήρης κορεσμός νερού σε αέρα, η ποσότητα αέρα που διαλύεται θα είναι ανάλογη της πίεσης μέσα στο δοχείο. Τα δοχεία κορεσμού σχεδιάζονται με διάφορους τρόπους με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσής τους.

Ο στατικός σχεδιασμός δίνει αποδόσεις (διαλυμένος αέρας % της κατάστασης κορεσμού) 50-80%. Για την αύξηση της ποσότητας μεταφερόμενου αέρα αυξάνεται είτε η παροχή του νερού, είτε ο όγκος του δοχείου και αντίστοιχα ο χρόνος επαφής, ο οποίος συνήθως είναι από 1 έως 3min. Η αύξηση της παροχής του νερού γίνεται με αύξηση του λόγου ανακύκλωσης. Επίσης, σα δοχεία συμπίεσης με βαθμό απόδοσης που πλησιάζει τη στάθμη κορεσμού, χρησιμοποιούνται στήλες επαφής με πληρωτικό υλικό (packed towers). Τυπικά χαρακτηριστικά μιας τέτοιας στήλης με πληρωτικό υλικό είναι:

- πληρωτικό υλικό δακτύλιοι Rashing 1in,
- ύψος κλίνης ολοκληρωτικού υλικού 0,5 -1m,
- υδραυλική φόρτιση της στήλης 10-$^{70\ m3}$/m^2h,
- χρόνος επαφής τάξης μεγέθους 30sec.

Η εκτόνωση τέλος θα πρέπει να γίνεται με ειδική βαλβίδα κατά τρόπο ώστε να ευνοείται ο σχηματισμός φυσαλίδων μικρού μεγέθους.

iv. **Απομάκρυνση λάσπης**. Για την απομάκρυνση της λάσπης από την επιφάνεια της ΔΕ χρησιμοποιείται ένα σύστημα επιφανειακού ξέστρου. Η επίπλευση έχει διπλή λειτουργία, δηλαδή αποσκοπεί στο διαχωρισμό της στερεάς φάσης από το νερό, αλλά και την πάχυνση της προσπίπτουσας λάσπης. Αν ο ρυθμός απομάκρυνσης είναι μικρός τότε η λάσπη προοδευτικά πυκνώνει. Για την αύξηση της συγκέντρωσης σε στερεά της λάσπης τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολυηλεκτρολύτες.

Στις κυκλικές μονάδες το ξέστρο οδηγεί τη λάσπη σε κανάλια μήκους ίσου με τη μισή ακτίνα της δεξαμενής. Ο αριθμός των λεπίδων του ξέστρου εξαρτάται από το είδος της λάσπης που απομακρύνεται. Στις ορθογωνικές μονάδες το ξέστρο οδηγείται με αλυσίδα και η λάσπη απομακρύνεται δια μέσου καναλιού που βρίσκεται στο άκρο της δεξαμενής επίπλευσης.

Κάποια στερεά εξαιτίας του μεγάλου ειδικού τους βάρους δεν είναι δυνατόν να επιπλεύσουν και καθιζάνουν στον πυθμένα,οπότε σχηματίζεται στρώμα λάσπης που θα πρέπει να απομακρύνεται. Στην περίπτωση αυτή οι ΔΕ είτε φερούν στη βάση τους ένα πρόσθετο κωνικό τμήμα συγκέντρωσης των στερεών που καθιζάνουν, είτε χρησιμοποιούν ξέστρα πυθμένος (πηγές: Μήτρακας, 2001, Λέκκας, 2005 και Metcalf & Eddy, 4η έκδοση 2006) .

Πίνακας 2.4. *Χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων της διεργασίας επίπλευσης με διαλυμένο αέρα (Μήτρακας, 2001)*

	Παράμετρος	***Τιμές***
	Απαίτηση αέρα	8- 10 g/m^3 αέρα
Δεξαμενή	Επιφανειακή φόρτιση	6- 12 m^3/m^2h
Επίπλευσης	Χρόνος παραμονής	5 - 15min
	Βάθος	1,2 - 2m
Δοχείο	Χρόνος παραμονής	στατικό 1- 3min
Κορεσμού		με πληρωτικό υλικό 30sec
	Επιφανειακή φόρτιση	5 - 70m^3/m^2h

Κεφάλαιο 3ο:

Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Αρμένων

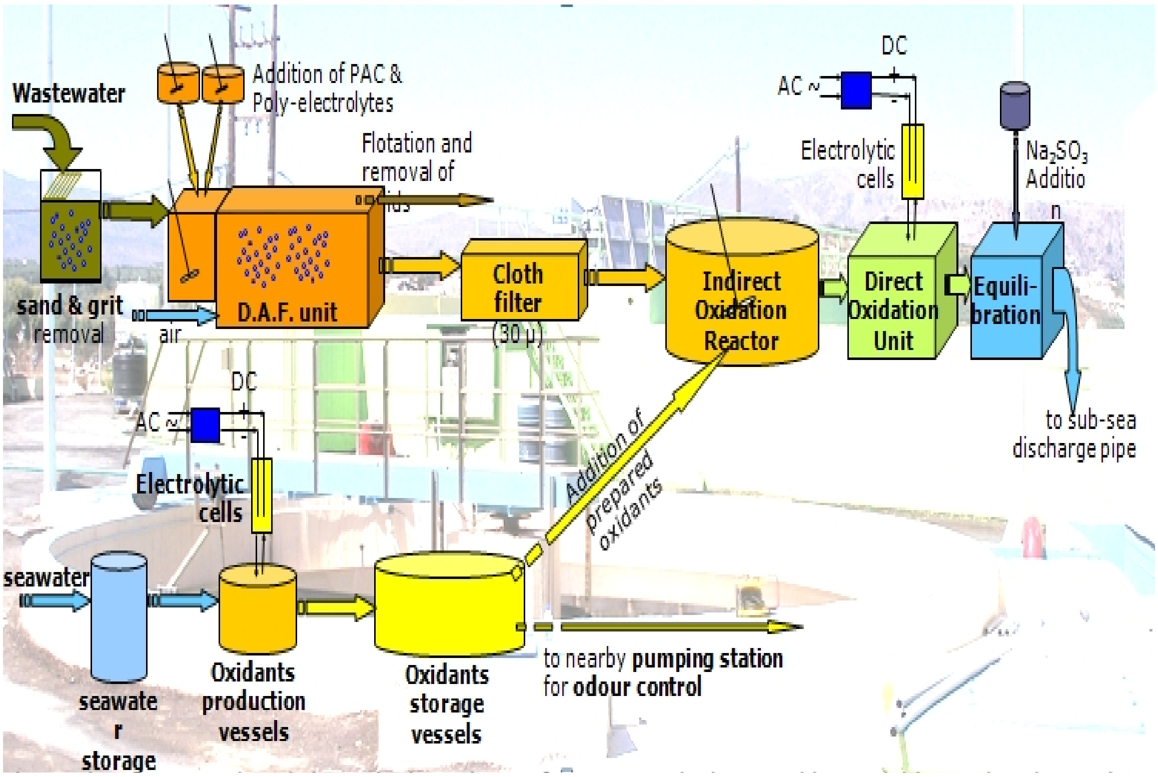
3.1.Εγκατεστημένος Εξοπλισμός

Η ΕΕΛ Αρμένων αποτελεί μια από τις πρώτες εφαρμογές της ηλεκτροχημικής οξείδωσης στην επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων. Η συγκεκριμένη επιλογή χρησιμοποιήθηκε λόγω της υψηλής πληθυσμιακής εποχικότητας, καθώς εξυπηρετούσε την κοινότητα Καλυβών και τις γύρω περιοχές με 1.400 κατοίκους περίπου τον χειμώνα και 3.500 το καλοκαίρι, αλλά και λόγω της κοντινής θέσης στην θάλασσα.

Ο εξοπλισμός που έχει εγκατασταθεί στην ΕΕΛ είναι ο εξής (Σχήμα 3.1.):

σύστημα άντλησης θάλασσας

Αποτελείται από δύο όμοιες γραμμές αντλήσεως που η κάθε μια αποτελείται από: αντλία WILLO HD/11 πλαστικά εμβαπτιζόμενη, με ανοξείδωτο άξονα 316L ροής $12m^3/h$, αντλία επιφάνειας LP40/10 με όλα τα διαβρεχόμενα μέρη από P/E, κατάλληλη για άντληση θαλάσσιου νερού ροής $12m^3/h$. Οι ανωτέρω αντλίες καταθλίβουν μέσω σωλήνα PVC διαμέτρου 40mm πίεσης 6atm σε δεξαμενή από την οποία τέσσερις (4) αντλίες WILLO LP40/10, τροφοδοτούν μέσω σωλήνα PVC διαμέτρου 40mm 6atm ανεξάρτητα η μία από τις άλλες, τις τέσσερις δεξαμενές ηλεκτρόλυσης.



***Σχήμα 3.1.*.** *Σχηματικό Διάγραμμα της ΕΕΛ Αρμένων*

σύστημα ηλεκτρόλυσης

Αποτελείται από τέσσερις (4) συστοιχίες ηλεκτρόλυσης και η κάθε μία αποτελείται από τα εξής:

- δύο (2) ηλεκτρόδια οίκου WATERSAFE, τύπου “ΗΡΑΚΛΗΣ 1200”
- τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος, οίκου “MERSAN”, ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο τάσεως 20V και εντάσεως 1000Amp
- μαγνητική αντλία ανακυκλοφορίας κατάλληλη για οξειδωτικά, οίκου SOW FU τύπου PD 532 F ροής 50m^3. Η ανακυκλοφορία της θάλασσας δια μέσω του ηλεκτροδίου γίνεται με σωλήνες PVC διαμέτρου 50mm πίεσης 6atm.
- αντλία μεταφοράς οξειδωτικών WILLO LP40/10. Η μεταφορά στις δεξαμενές αποθήκευσης γίνεται με σωλήνα PVC διαμέτρου 50mm πίεσης 6atm
- πίνακα ελέγχου του προγράμματος ηλεκτρόλυσης

- δεξαμενή παρασκευής οξειδωτικών υλικού κατασκευής PE 6m^3
- κοινή διάταξη καθαρισμού ηλεκτροδίων που αποτελείται από δεξαμενή PE 750lt και αντλία WILLO LP40/10. Ο καθαρισμός γίνεται μέσω σωλήνα PVC διαμέτρου 50mm πίεσης 6atm.

δεξαμενές αποθήκευσης οξειδωτικών

Δύο δεξαμενές αποθήκευσης από PE 20m^3 έκαστη ενωμένες μεταξύ τους με σωλήνα PVC PVC διαμέτρου 50mm πίεσης 6atm.

Εικόνα 3.1. *Δεξαμενές αποθήκευσης*

σύστημα διάχυσης οξειδωτικών

Μαγνητική αντλία μεταφοράς οξειδωτικών οίκου ZIEBEK/300 ροής 300lt/h, συνδεδεμένη με τις αντλίες μεταφορά λυμάτων από τη μονάδα απολίπανσης στο φίλτρο και μια αντλία WILLO LP40/10 συνδεδεμένη με μετρητή REDOX εντός της δεξαμενής οξείδωσης, που μεταφέρει οξειδωτικά στην δεξαμενή οξείδωσης βάσει της εντολής από PLC.

σύστημα εισόδου και απολίπανσης λυμάτων

Τα λύματα διέρχονται από εσχάρα 3cm που συντηρήθηκε και ετέθη σε λειτουργία, διέρχονται από την δεξαμενή εξάμμωσης που στεγανοποιήθηκε και αφού υποστούν πρωτοβάθμια απολίπανση με διάταξη που τοποθετήθηκε, προωθούνται με φυσική ροή σε σύστημα DAF του οίκου ECOTECH. Επίσης έγινε συντήρηση και ετέθη σε λειτουργία το υπάρχον σύστημα αεραντλίας. Για την τοποθέτηση του DAF κατασκευάσθηκαν εντός της πρώην δεξαμενής αερισμού των λυμάτων οι κατάλληλες δεξαμενές από σκυρόδεμα. Από την είσοδο του DAF τα λύματα μέσω υποβρύχιας αντλίας από ανοξείδωτο ροής 50m/h προωθούνται στη φίλτρανση.

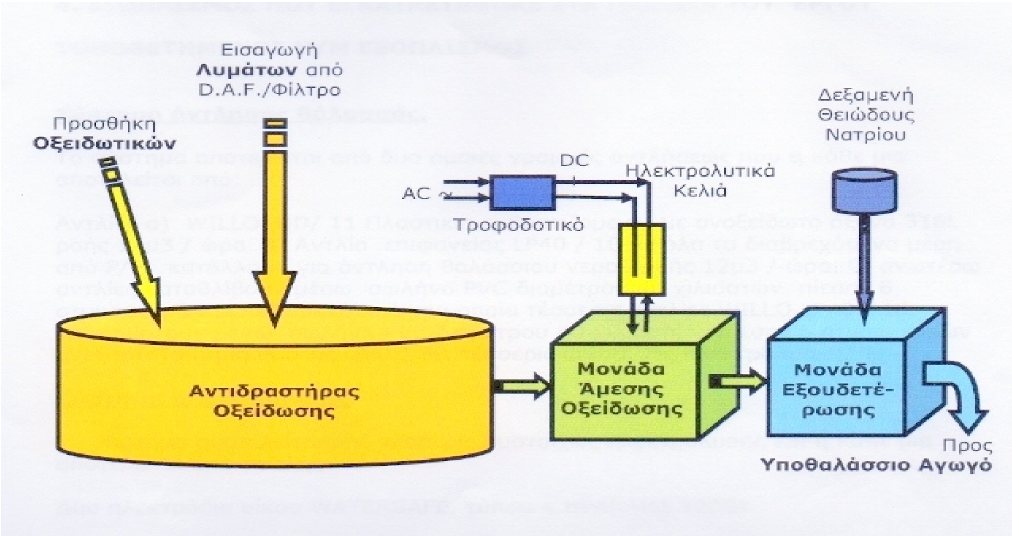
σύστημα φίλτρανσης

Αποτελείται από αυτοκαθαριζόμενο περιστρεφόμενο τύμπανο του οίκου IN-EKO, ανοξείδωτο με υλικό φίλτρανσης από ύφασμα πολυαμιδίου και έχουμε φίλτρανση 15,25,30 μικρών. Το σύστημα φίλτρανσης είναι τοποθετημένο εντός της δεξαμενής από σκυρόδεμα, η οποία κατασκευάσθηκε.

Εικόνα3.2. *Δεξαμενές DAF και κυκλική δεξαμενή καθίζησης*

οξείδωση λυμάτων

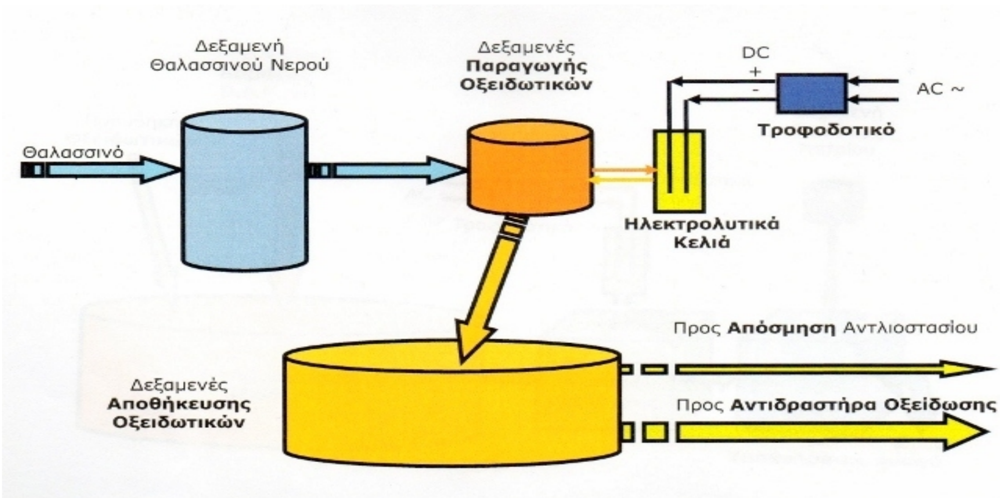
Τα λύματα κατόπιν της φίλτρανσης αυτών καταλήγουν στην δεξαμενή οξείδωσης, πρώην τελικής καθίζησης, η οποία στεγανοποιήθηκε και διαμορφώθηκε κατάλληλα, (απομάκρυνση ξέστρου), για την οξείδωση των λυμάτων. Εντός της δεξαμενής ευρίσκονται δύο (2) αντλίες WILLO HD/11 που εξασφαλίζουν την κυκλική ροή των λυμάτων. Επίσης, εντός της δεξαμενής ευρίσκεται αισθητήρας REDOX του οίκου HANNA. Έχουν εγκατασταθεί σωλήνες για πιθανή άμεση χρήση των οξειδωτικών παραγωγής στην λεκάνη οξείδωσης.



Σχήμα 3.2. *Σύστημα Οξείδωσης Λυμάτων*

σύστημα άμεσης ηλεκτρόλυσης

Αποτελείται από τρεις (3) αντλίες LOWARA ανοξείδωτες 304 ροής 30m^3/h έκαστη, τρία ηλεκτρόδια οίκου WATERSAFE, τύπου "ΝΑΥΣΙΚΑ 2000" και τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος οίκου "MERSAN" ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο (τάσης 40V και έντασης 150A0).



Σχήμα 3.3. *Ηλεκτρολυτικό Σύστημα Παραγωγής Οξειδωτικών*

3.2 Ηλεκτροχημική Οξείδωση

Αντί της συνήθης δευτερεύουσας βιολογικής επεξεργασίας, στην ΕΕΛ Αρμένων χρησιμοποιείται ηλεκτροχημική οξείδωση του οργανικού φορτίου, καθώς υγρά απόβλητα με πολύ υψηλό βιολογικό φορτίο είναι ασύμφορο να επεξεργαστούν βιολογικά, καθώς απαιτούν ιδιαίτερα υψηλό χρόνο παραμονής και δαπανηρές εγκαταστάσεις.. Αντί για την χρήση μικροοργανισμών για να γίνει «βιολογική καύση» του άνθρακα, γίνεται «Χημική καύση» με ισχυρά οξειδωτικά τα οποία παράγονται με ηλεκτρόλυση.

Οι εφαρμογές των τεχνολογιών προηγμένης οξείδωσης δεν αφορούν συνήθως την συνολική χημική καύση των ρύπων αλλά την μείωση της τοξικότητας και την μείωση της βιοαποικοδομησιμότητας των αποβλήτων ώστε ο συνδυασμός του με τις κλασικές μεθόδους βιολογικής οξείδωσης να έχει το βέλτιστο οικονομικό αποτέλεσμα.

Σύμφωνα με τον Ι. Πούλιο (2006) η πλήρης καταστροφή (οξείδωση) των πιο επικίνδυνων οργανικών ενώσεων, οι οποίες αποτελούν ιδιαίτερο κίνδυνο για την ισορροπία των οικοσυστημάτων, μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση χημικών μεθόδων οξείδωσης που μετατρέπουν τις ενώσεις αυτές σε πλέον ακίνδυνες μορφές (CO_2, H_2O, ανόργανες ουσίες) ή σε οργανικά μόρια μικρότερου μοριακού βάρους, τα οποία μπορούν κατόπιν να βιοαποικοδομηθούν ευκολότερα.

Ηλεκτροχημική Οξείδωση:

$$H_2O \rightarrow OH^- + H^+ + e^- \qquad \text{(άνοδος)}$$

$$O^2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H^2O^2 \qquad \text{(κάθοδος)}$$

Ως ηλεκτροχημική διεργασία ορίζεται το χημικό εκείνο φαινόμενο που λαμβάνει χώρα όταν ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από διάλυμα ή τήγμα ηλεκτρολύτη. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται μέσα σε μια ηλεκτροχημική κυψέλη ή ηλεκτρολυτικό κελί. Μια απλή ηλεκτροχημική κυψέλη αποτελείται από:

- Δύο ηλεκτρόδια (άνοδος και κάθοδος), κατασκευασμένα από ηλεκτρονικούς αγωγούς (μέταλλα, άνθρακα ή αγώγιμα πολυμερή) ή ημιαγωγούς,

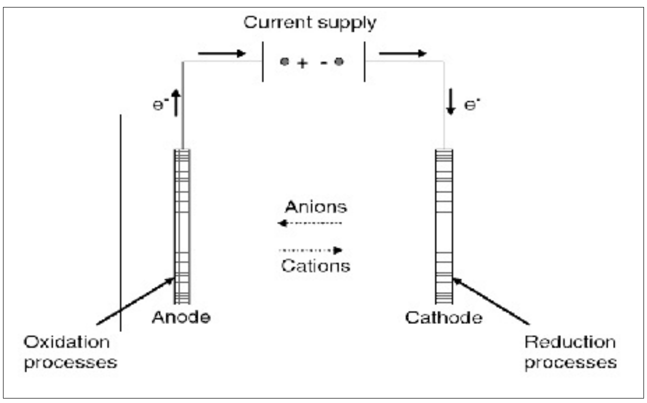
- Δύο οξειδοαναγωγικά ζεύγη ουσιών (Ox_1/Red_1 και Ox_2/Red_2) όπου μια ουσία για κάθε ηλεκτρόδιο μεταπίπτει από την οξειδωμένη (Ox) στην ανηγμένη (Red) μορφή της με ανταλλαγή ηλεκτρονίων ή θετικά φορτισμένων οπών. Το κάθε ηλεκτρόδιο μαζί με το οξειδοαναγωγικό του ζεύγος αποτελεί το ένα από τα δύο ημιστοιχεία της κυψέλης,

- Ένα ηλεκτρολυτικό μέσο (ή δύο αλλά πάντα σε ηλεκτρολυτική-ιονική επαφή μεταξύ τους) όπου η μεταφορά φορτίου γίνεται με ιονική μεταφορά των ευκίνητων ιόντων του ηλεκτρολύτη υπό την επίδραση του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων. Το ηλεκτρολυτικό μέσο μπορεί να είναι είτε υγρό (π.χ. διάλυμα οξέος, βάσης ή άλατος ή τήγμα άλατος) είτε ιονικά αγώγιμο στερεό πολυμερές. Ο ηλεκτρολύτης δεν συμμετέχει στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις άμεσα και απλά άγει το ρεύμα μέσω ιονικής αγωγής ("φέροντας ηλεκτρολύτης"),

- Κάποιο πορώδες διαχωριστικό ή ιονικά αγώγιμη μεμβράνη (πορώδες γυαλί ή πλαστικό, διάφραγμα ασβέστου, μεμβράνη πολυμερούς Nafion® ή Gortex, κλπ.) που χρησιμοποιείται στις περισσότερες ηλεκτροχημικές εφαρμογές και παρεμποδίζει την ανάμιξη των ηλεκτρολυτικών διαυγών αποβλήτων και των προϊόντων/αντιδρώντων γύρω από τα δύο ηλεκτρόδια,

- Εξωτερικό κύκλωμα, απαρτιζόμενο από μεταλλικούς συλλέκτες ρεύματος, όπως επίσης και πηγή συνεχούς ρεύματος ή ηλεκτρική συσκευή/συσσωρευτή. Στα ηλεκτρολυτικά κελιά οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται επί των ηλεκτροδίων αυτών δεν είναι αυθαίρετες, απαιτούν δηλαδή την εφαρμογή εξωτερικής τάσης για να επιτευχθεί η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος οπότε και η πραγματοποίηση των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων (πηγές: Πούλιος, 2006, Τοσσίδη 1996).

Σχηματικά, ένα ηλεκτρολυτικό κελί αναπαριστάται στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4.**. Σχηματική Αναπαράσταση Ηλεκτρολυτικού Κελιού **(ANGLADA, ET AL., 2009)

3.3.1.Ορισμός Κροκίδωσης - Συσσωμάτωσης

Η κροκίδωση είναι από τις πιο σημαντικές διεργασίες επεξεργασίας των αποβλήτων και απαιτούν το συνδυασμό φυσικών και χημικών φαινομένων για την παραγωγή νερού κατάλληλου για χρήση από τον άνθρωπο. Ουσιαστικά είναι τεχνικές επεξεργασίας των αποβλήτων για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών μικρού μεγέθους (μικρότερα από 10μm). Η κροκίδωση πραγματοποιείται με την προσθήκη χημικών ουσιών στα λύματα, ώστε να επιτευχθεί μεταβολή της φυσικής κατάστασης των διαλυμένων και αιωρούμενων σωματιδίων και να διευκολυνθεί η απομάκρυνσή τους από τα λύματα με καθίζηση. Συνεισφέρουν δε ουσιαστικά στον αποτελεσματικό καθαρισμό του νερού και των αποβλήτων με χαμηλό κόστος επεξεργασίας.

Η διαδικασία της κροκίδωσης συνίσταται στα εξής τρία στάδια:

- Προσθήκη των χημικών μέσων και διασπορά τους στο υγρό διάλυμα κάτω από συνθήκες ταχείας ανάμιξης, με αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση του αρχικού διαλύματος κυρίως με την εξουδετέρωση των φορτίων των κολλοειδών σωματιδίων (coagulation)

- Με ενδομοριακές συγκρούσεις, τα αποσταθεροποιημένα πλέον κολλοειδή σωματίδια, προσεγγίζουν το ένα το άλλο και συσσωματώνονται (flocculation)

- Τα μεγάλα συσσωματώματα απομακρύνονται με καθίζηση (sedimentation). Τα κολλοειδή σωματίδια που βρίσκονται στα απόβλητα έχουν συνήθως αρνητικό καθαρό επιφανειακό φορτίο. Το μέγεθος των κολλοειδών (περίπου 0.01 έως 1 μm) είναι τέτοιο ώστε οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων είναι σημαντικά μικρότερες από τις απωστικές δυνάμεις του ηλεκτρικού φορτίου.

Κάτω από αυτές τις σταθερές συνθήκες, η κίνηση Brown κρατάει τα σωματίδια σε αιώρηση. Σύμφωνα με τον Τοσσίδη (Θεσσαλονίκη, 1990) η κίνηση Brown (τυχαία κίνηση) επηρεάζεται από τον σταθερό θερμικό βομβαρδισμό των κολλοειδών σωματιδίων από τα σχετικά μικρά μόρια του νερού που τα περιβάλλουν. Αυτό συμβαίνει λόγω των ανομοιόμορφων κρούσεων που υφίστανται τα σωματίδια από τα μόρια του μέσου διασποράς, τα οποία βρίσκονται σε συνεχή θερμική κίνηση.

Το μέσο τετράγωνο $\overline{x^2}$ της μετατοπίσεως των κολλοειδών σωματιδίων για ορισμένο χρόνο παρατηρήσεως t δίνεται από την εξίσωση Einstein - Brown:

$$x^2 = \frac{R*T}{3\pi*N*r*\eta}*t$$

όπου, R: παγκόσμια σταθερά αερίων, T: απόλυτη θερμοκρασία, N: αριθμός Avogadro, r: ακτίνα κολλοειδούς σωματιδίου και η: συντελεστής ιξώδους.

Κροκίδωση είναι η διεργασία αποσταθεροποίησης των κολλοειδών σωματιδίων έτσι ώστε ο όγκος των σωματιδίων να αυξάνεται ως αποτέλεσμα των συγκρούσεων τους. Η θεωρία των αντιδράσεων της χημικής κροκίδωσης είναι πολύ περίπλοκη. Οι αντιδράσεις κροκίδωσης είναι συχνά ατελείς και πάρα πολλές παράπλευρες αντιδράσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με άλλα συστατικά του αποβλήτου, εξαρτώμενες από τα χαρακτηριστικά του αποβλήτου.

Ο όρος χημική κροκίδωση όπως χρησιμοποιείται εδώ περιλαμβάνει όλες τις αντιδράσεις και μηχανισμούς που εμπλέκονται στην χημική αποσταθεροποίηση των σωματιδίων και στον σχηματισμό μεγαλύτερων σωματιδίων μέσω της περικινητικής συσσωμάτωσης (συσσώρευση σωματιδίων μεγέθους 0.01 έως 1 μm). Γενικά, *το κροκιδωτικό είναι μια χημική ένωση που προστίθεται για να αποσταθεροποιήσει τα σωματίδια στο απόβλητο έτσι ώστε να σχηματιστούν συσσωματώματα*. Το συσσωματικό (flocculent), είναι μια χημική ένωση, συνήθως οργανική, που προστίθεται για να βελτιώσει την διαδικασία της συσσωμάτωσης (Metcalf & Eddy, 4η έκδοση 2006).

3.3.2.Κυριότερα Κροκιδωτικά Μέσα -

Συνήθως τα κροκιδωτικά και τα συσσωματικά περιλαμβάνουν φυσικά και συνθετικά οργανικά πολυμερή, μεταλλικά άλατα όπως θειικό αργίλιο ή σίδηρος και προϋδρολυμένα μεταλλικά άλατα όπως το PACl (polyaluminum chloride) και PICl (polyiron chloride). Τα συσσωματικά, ειδικά τα οργανικά πολυμερή, χρησιμοποιούνται επίσης για να βελτιώσουν την απόδοση φίλτρων σωματιδιακών μέσων και στην αφύγρανση χωνευμένων βιοστερεών. Σε αυτές τις εφαρμογές, τα χημικά συσσωμάτωσης συχνά ονομάζονται ως βοηθητικά της διήθησης (filter aids).

Μέχρι σήμερα, τα κυριότερα ανόργανα κροκιδωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι (Jiang & Graham, 1998) :

- άλας αργιλίου, $Al_2(SO_4)_3$
- τριχλωριούχο αργίλιο, $AlCl_3$
- άλας σιδήρου, $Fe_2(SO_4)_3$
- τριχλωριούχος σίδηρος, $FeCl_3$

Η αποτελεσματικότητα των παραπάνω κροκιδωτικών δεν οφείλεται μόνο στο μεγάλο σθένος των ιόντων Al^{3+} και Fe^{3+}, αλλά και στη σημαντική αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων που επιτυγχάνεται από τα προϊόντα υδρόλυσης των ιόντων αυτών.

Τα άλατα του αργιλίου και του σιδήρου θεωρείται ότι συμβάλλουν με δύο τρόπους στη συσσωμάτωση και κροκίδωση των κολλοειδών σωματιδίων, όταν προστεθούν στο νερό.

- Πιο συγκεκριμένα, τα θετικά φορτισμένα μέταλλο – υδροξυ σύμπλοκα που δημιουργούνται μετά την ολοκλήρωση των αντιδράσεων υδρόλυσης των ιόντων Al^{3+} και Fe^{3+}, παραμένουν διαλυμένα και προσροφούνται στην επιφάνεια των αρνητικά φορτισμένων κολλοειδών σωματιδίων, με αποτέλεσμα να εξουδετερώνουν το φορτίο τους.
- Ο πολυμερισμός των συμπλόκων μπορεί να συνεχιστεί ή ακόμα τα σύμπλοκα να αρχίσουν να συνενώνονται. Στην περίπτωση αυτή προκύπτουν θετικά φορτισμένα μεταλλικά υδροξείδια, τα οποία είναι ελάχιστα διαλυτά στο νερό.

Τα πιο διαδεδομένα προυδρολυμένα κροκιδωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι του $AlCl_3$ και του $FeCl_3$ και τα οποία παρασκευάζονται με ελεγχόμενη υδρόλυση διαλυμάτων $AlCl_3$ και $FeCl_3$. Το είδος των συμπλόκων που σχηματίζονται, εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Συγκέντρωση των ιόντων Al^{3+} και Fe^{3+}
- Βαθμός προ-υδρόλυσης, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της συγκέντρωσης των υδροξυλιόντων προς τη συγκέντρωση των ιόντων Al^{3+} ή Fe^{3+} ($B=[OH^-]/[Al^{3+}]$ ή $B=[OH^-]/[Fe^{3+}]$)
- Διάρκεια υδρόλυσης

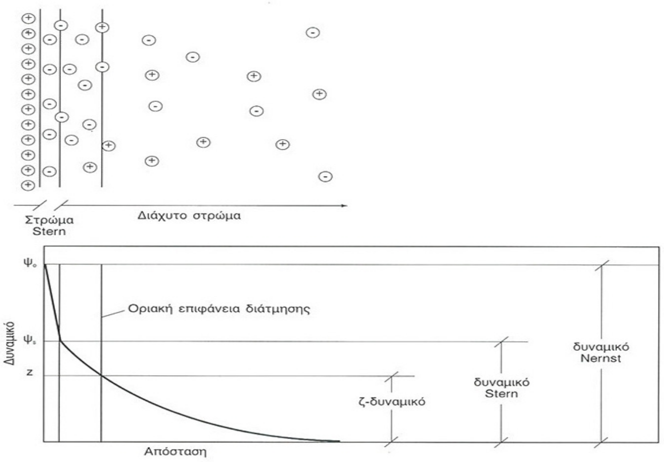
- Συγκέντρωση των ανιόντων στο διάλυμα
- Συνθήκες ανάμιξης της βάσης με το διάλυμα του κροκιδωτικού
- Το είδος και η κανονικότητα της βάσης που χρησιμοποιείται για την υδρόλυση.

Άλλα προϋδρολυμένα κροκιδωτικά που χρησιμοποιούνται είναι αυτά του θειικού σιδήρου, το polyaluminum silicate και το sulphate polyalumino-ferric sulphate.

3.3.3.Ηλεκτρική Διπλή Στοιβάδα (Μοντέλο Stern)

Όταν η επιφάνεια του σωματιδίου ή του κολλοειδούς φορτίζεται, κάποια ιόντα του αντίθετου φορτίο προσκολλούνται στην επιφάνεια. Κρατιούνται εκεί λόγω ηλεκτροστατικών δυνάμεων και δυνάμεων έλξης van der Waals τόσο ισχυρά που υπερνικάται η θερμική κίνηση τους. Γύρω από αυτή την σταθερή (fixed) στοιβάδα ιόντων υπάρχει μια διάχυτη στοιβάδα ιόντων η οποία εμποδίζεται από το να σχηματίσει μια συμπαγή στοιβάδα λόγω της θερμικής κίνησης όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5. Η ηλεκτρική διπλή στοιβάδα αποτελείται από μια συμπαγή στοιβάδα (Stern) στην οποία το δυναμικό πέφτει από ψ_o σε ψ_s και μια διάχυτη στοιβάδα στην οποία το δυναμικό πέφτει από ψ_s στο 0 στην κυρίως μάζα του διαλύματος.

Αν ένα σωματίδιο εισαχθεί σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη, και ηλεκτρικό ρεύμα διαπεράσει το διάλυμα, το σωματίδιο ανάλογα με το επιφανειακό του φορτίο, θα υποστεί έλξη από το ένα από τα δύο ηλεκτρόδια, παρασύροντας μαζί του ένα νέφος ιόντων. Το δυναμικό στην επιφάνεια του νέφους (που καλείται διαχωριστική επιφάνεια) υπολογίζεται κάποιες φορές στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων. Η μετρούμενη τιμή συχνά αποκαλείται δυναμικό Ζήτα. Θεωρητικά, παρόλα αυτά το δυναμικό Ζήτα θα έπρεπε να ανταποκρίνεται στο δυναμικό που μετράται στην επιφάνεια που περικλείει την σταθερή στοιβάδα ιόντων που είναι προσκολλημένη στο σωματίδιο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5. Η χρήση της μετρούμενης τιμής δυναμικού Ζήτα είναι περιορισμένη λόγω του ότι διαφέρει ανάλογα με τα συστατικά του διαλύματος.



Σχήμα 3.5. *Το μοντέλο του Stern για την ηλεκτρική διπλή στοιβάδα*

3.3.4.Αποσταθεροποίηση των σωματιδίων με ηλεκτρολύτες και ιόντα

Η προσθήκη ιόντων για να προωθηθεί η κροκίδωση μπορεί να παρουσιαστεί ως η προσθήκη ισχυρών οξέων ή βάσεων με σκοπό την μείωση του φορτίου των οξειδίων ή υδροξειδίων των μετάλλων σχεδόν στο μηδέν έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η κροκίδωση.

Το μέγεθος της επίδρασης θα εξαρτάται από την συγκέντρωση των ιόντων που θα προστεθούν στο διάλυμα. Οι επόμενες αναλογίες, γνωστές ως ο κανόνας *Shultz- Hardy* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα των ιόντων:

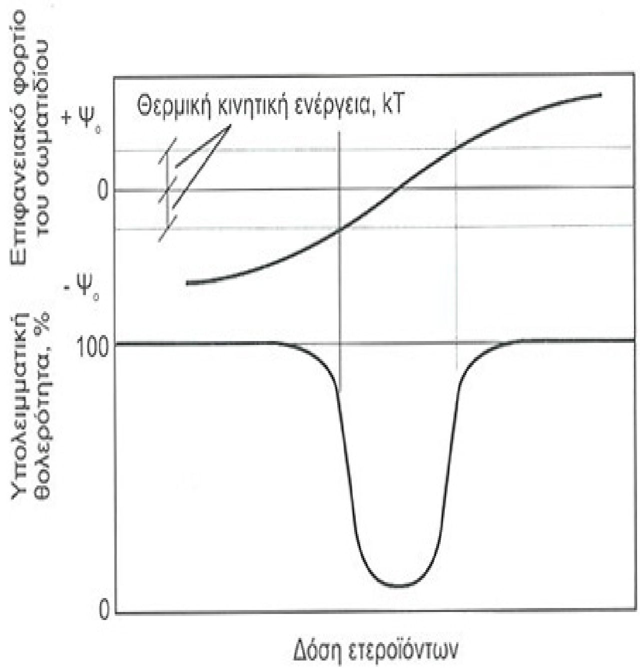
100: 1,6 : 0,13

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι ανάλογα με την συγκέντρωση και την φύση των ιόντων που προστίθενται είναι πιθανόν να αντιστραφεί το φορτίο της διπλής στοιβάδας και να αναπτυχθεί ένα νέο σταθερό σωματίδιο.

Η επίδραση της προσθήκης ιόντων σε ένα διάλυμα που περιέχει φορτισμένα σωματίδια φαίνεται στο διάγραμμα 3.1. Η ανώτερη καμπύλη παριστάνει το επιφανειακό φορτίο του σωματιδίου ως συνάρτηση της συγκέντρωσης των ιόντων αντιθέτου φορτίου (*counterions*) που προστίθενται. Οι γραμμές kT παριστάνουν την θερμική κινητική ενέργεια του σωματιδίου. Το κατώτερο διάγραμμα είναι μια παράσταση της θολότητας που θα επιτυγχάνονταν αν τα σωματίδια που αποσταθεροποιήθηκαν και υπέστησαν μικροσυσσωμάτωση, θα απομακρύνονταν με καθίζηση. Όπως φαίνεται, όταν το επιφανειακό φορτίο (είτε θετικό είτε αρνητικό) είναι μεγαλύτερο από την θερμική κινητική ενέργεια των σωματιδίων, τα σωματίδια δεν συσσωματώνονται και παρατηρείται η αρχική θολότητα.

Η χρήση αυτών των ιόντων, δεν είναι εφικτή στην επεξεργασία νερού και αποβλήτων λόγω της πολύ μεγάλης συγκέντρωσης ιόντων που πρέπει να προστεθούν ώστε να επιτευχθεί ικανή συμπίεση της ηλεκτρικής διπλής στοιβάδας και να πραγματοποιηθεί περικινητική συσσωμάτωση.

Διάγραμμα 3.1.*.Αντιστροφή του επιφανειακού φορτίου των σωματιδίων λόγω προσθήκης ετεροιόντων.(Metcalf & Eddy, 4η έκδοση 2006).*



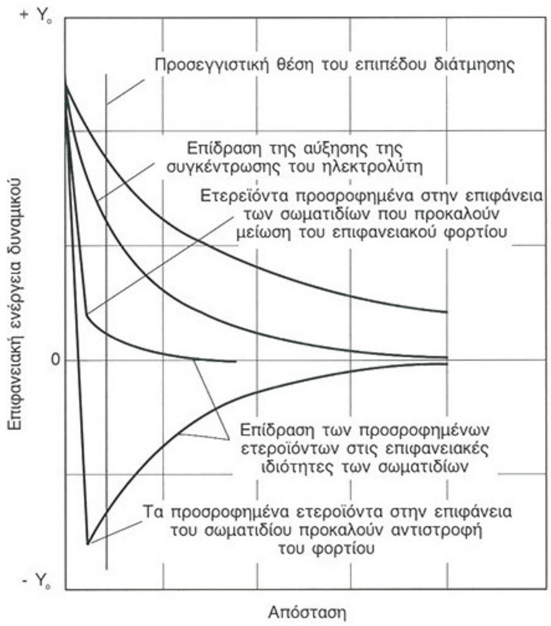
Μπορούν επίσης να προστεθούν ηλεκτρολύτες για να κροκιδωθούν αιωρήματα κολλοειδών. Αυξημένη συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου πολυηλεκτρολύτη προκαλεί μείωση του δυναμικού Ζήτα και ανάλογη μείωση των απωστικών δυνάμεων όπως φαίνεται από το σχήμα 3.6.

Η συγκέντρωση ενός ηλεκτρολύτη που απαιτείται για να αποσταθεροποιηθεί ένα κολλοειδές αιώρημα είναι γνωστή ως κρίσιμη συγκέντρωση κροκίδωσης (critical coagulation concentration). Αυξάνοντας την συγκέντρωση ενός ουδέτερου ηλεκτρολύτη δεν θα προκύψει επανασταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων. Όπως και με την προσθήκη ιόντων, η χρήση ηλεκτρολυτών δεν είναι εφικτή στην επεξεργασία αποβλήτων. Η αλλαγή στο φορτίο μπορεί να προκληθεί όταν προστίθενται χημικά για να ρυθμιστεί το pH του αποβλήτου έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοση των υδολυμένων ιόντων μετάλλων που χρησιμοποιούνται ως κροκιδωτικά.

Οι πολυηλεκτρολύτες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: φυσικής προέλευσης και συνθετικοί. Σημαντική φυσικοί πολυηλεκτρολύτες είναι τα πολυμερή βιολογικής προέλευσης και αυτά που προέρχονται από προϊόντα με άμυλο όπως παράγωγα κυτταρίνης και φύκη. Οι συνθετικοί πολυηλεκτρολύτες αποτελούνται από απλά μονομερή που πολυμερίζονται σε υψηλού μοριακού βάρους ενώσεις. Ανάλογα με το φορτίο τους όταν διαλύονται στο νερό, το οποίο μπορεί να είναι θετικό, αρνητικό ή ουδέτερο, οι πολυηλεκτρολύτες χωρίζονται σε κατιονικούς ανιονικούς ή μη ιονικούς αντίστοιχα (Μήτρακας 2η έκδοση 2001, Metcalf & Eddy, 4η έκδοση 2006 και Στάμου, Βογιατζής, 1994).

Η δράση των πολυηλεκτρολυτών μπορεί να χωριστεί στις επόμενες τρεις (3) κατηγορίες:

- εξουδετέρωση φορτίου,
- σχηματισμός πολυμερικής γεφύρωσης,
- εξουδετέρωση φορτίου και σχηματισμός πολυμερικών γεφυρών.



Διάγραμμα 3.2.*επίδραση της προσθήκης ετεροιόντων και ηλεκτρολυτών σε διαλύματα που περιέχουν φορτισμένα κολλοειδή σωματίδια.(Metcalf & Eddy, 4η έκδοση 2006)*

Κεφάλαιο 4ο:

Τεχνικές Μετρήσεων - Μεθοδολογία

4.1.Δειγματοληψία

Η λήψη δειγμάτων για τη διενέργεια μετρήσεων και αναλύσεων πρέπει να γίνεται με βάση πρότυπες μεθόδους, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα και εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Σκοπός της δειγματοληψίας είναι η συλλογή τμήματος από το προς εξέταση απόβλητο ή υδάτινο αποδέκτη, σε ποσότητα που να μη δυσχεραίνει τη μεταφορά του και επιπλέον να επαρκεί 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.

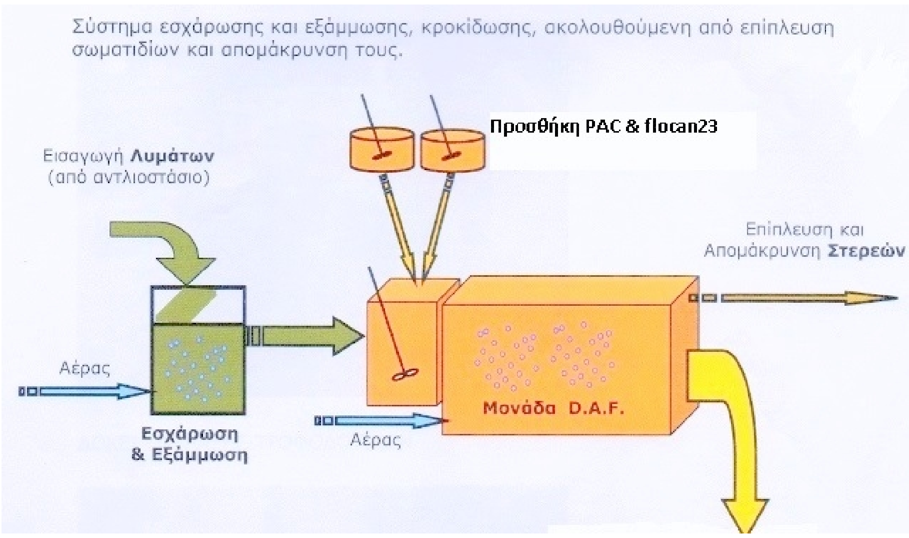
Το κυρίως τμήμα της όλης διαδικασίας περιελάμβανε δύο μέρη, την λήψη δείγματος λυμάτων ανά τακτά χρονικά διαστήματα στην εγκατάσταση η στο χωριό Καλύβες, και την επεξεργασία στο εργαστήριο δηλαδή την κροκίδωση ή την ανάλυση των φυσικών, χημικών, βιολογικών χαρακτηριστικών των λυμάτων. Τα γενικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων διέφεραν ανάλογα με τις δειγματοληψίες και επομένως είχαν άμεση σχέση με τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας αστικών λυμάτων από όπου συλλέγονταν αλλά και από άλλους εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. καιρικές συνθήκες, πληθυσμιακές αυξομειώσεις). Η συλλογή δειγμάτων ξεκίνησε στα τέλη Απριλίου του 2010 και ολοκληρώθηκε το Σεπτέμβρη του ίδιου χρόνου.

Η πειραματική διεργασία πραγματοποιήθηκε από τους φοιτητές Παυλή Ευάγγελο και

Χουχούμη Γεώργιο. Οι παράμετροι που παρακολουθούσαμε ήταν το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) των λυμάτων, τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), η ειδική αγωγιμότητα, η ενεργός οξύτητα (pH), το ελεύθερο και ολικό χλώριο, το ολικό άζωτο (N), ο ολικός φώσφορος (PO_4^{-3} -P) και το αμμωνιακό άζωτο (NH_3 -N).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξετάσουμε κυρίως την απομάκρυνση των COD και TSS μετά τη μονάδα επίπλευσης, και θα σχολιάσουμε τα ευρήματα των παραμέτρων ποιότητας νερού (ειδική αγωγιμότητα και pH).

Η δειγματοληψία γινόταν μία με δύο φορές την εβδομάδα, η πρώτη μετά εσχάρωση και πριν από τη μονάδα εξάμμωσης της μονάδας και η δεύτερη στην έξοδο του DAF σε δειγματοληπτικά δοχεία δια χειρός, και κάθε δειγματοληψία οδηγούσε σε μία σειρά πειραμάτων διάρκειας δύο με τριών ημερών.



Σχήμα 4.1. *Σχηματικό διάγραμμα ροής DAF ΕΕΛ Αρμένων*

Ταυτόχρονα με τη λήψη του δείγματος, γίνονταν και μέτρηση του pH αλλά και της ειδικής αγωγιμότητας. Πραγματοποιούταν είτε το πρωί είτε το μεσημέρι στο ίδιο πάντα προκαθορισμένο σημείο, ενώ μετά τη συλλογή τους τα δείγματα φυλάσσονταν σε χαμηλή θερμοκρασία για να μην αλλοιωθεί η σύσταση τους. Για κάποιες παραμέτρους ήταν απαραίτητος ο άμεσος προσδιορισμός τους, ενώ για άλλες έπρεπε να γίνει κατάλληλη αποθήκευση - συντήρηση του δείγματος και προσδιορισμός τους σε σύντομο χρονικό διάστημα (εντός 48ώρου).

Ο όγκος του δείγματος που συλλέχθηκε έπρεπε να είναι επαρκής για τη διενέργεια των χημικών αναλύσεων, λαμβάνοντας υπόψη και την ποσότητα που θα απαιτηθεί για τις επαναλήψεις κάθε μέτρησης (εξασφάλιση επαναληψιμότητας των μετρήσεων). Τα δείγματα φυλάσσονταν σε ειδικά δοχεία συλλογής λυμάτων από πολύ-τετρεαφθοροαιθυλένιο (PTFE). , τα οποία σφραγίζονταν ερμητικά μετά τις μετρήσεις με πώμα από PTFE. Τέλος σε ότι αφορά στο σχήμα των δοχείων συλλογής, είχαν ευρύ στόμιο, δεδομένου ότι διευκολύνεται τόσο το γέμισμα όσο και το άδειασμα του δείγματος αποβλήτου (Λουιζίδου, 2006 & EPA, 1982).

4.2.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, βυθίζαμε 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 ξεπλένονταν με αποσταγμένο νερό, σκουπίζονταν μαλακά με απορροφητικό πανί και μετά βυθίζονταν σε ποτήρι ζέσεως που περιείχε ρυθμιστικό διάλυμα με pH 7.

Το ηλεκτρόδιο υάλου δεν επηρεάζεται από το χρώμα, τη θολερότητα, 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. Εφόσον απαιτείται γίνεται πρόσθετη κατεργασία με έκλυση του ηλεκτροδίου με διάλυμα HCI (1+9) (Οικονομόπουλος, 2005).

Εικόνα 4.1. *φορητό pH-μετρο με αυτόματη αντιστάθμιση θερμοκρασίας*

4.3.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.

- Προθερμαίνουμε τον αντιδραστήρα στους 150^{o}C. Τοποθετούμε το προστατευτικό πλαστικό μπροστά από τον αντιδραστήρα,
- Αφαιρούμε το πώμα από το δοκιμαστικό σωλήνα με το αντιδραστήριο COD για την οξείδωση της οργανικής ύλης σε κατάλληλες ποσότητες και αναλογία,
- Κρατάμε το φιαλίδιο σε γωνία 45^o μοιρών,

- Βάζουμε με την πιπέτα δειγματοληψίας 2ml δείγματος λυμάτων,

- Αν χρειαστεί αραίωση, αραιώνουμε το δείγμα σε ποσοστό 90%, δηλαδή 0,2ml δείγματος και 1,8ml αποσταγμένου νερού,

- Επανατοποθετούμε το καπάκι του φιαλιδίου και εφαρμόζουμε σφιχτά. Ξεπλένουμε το εξωτερικό του φιαλιδίου με αποσταγμένο νερό και το σκουπίζουμε μαλακά με απορροφητικό χαρτί,

- Ανακινούμε ζωηρά μερικές φορές για να αναμιχτεί το περιεχόμενο κρατώντας από το πώμα (ο σωλήνας θερμαίνεται) και το τοποθετούμε στον προθερμασμένο αντιδραστήρα,

- Προετοιμάζουμε συνολικά ένα τυφλό δείγμα επαναλαμβάνοντας τα προηγούμενα βήματα, ένα αντιδραστήριο με δείγμα από την είσοδο και ένα από την έξοδο του DAF,

- Θερμαίνουμε τα δείγματα για 2 ώρες,

- Μετά το πέρας των 2 ωρών κλείνουμε τον αντιδραστήρα και περιμένουμε περίπου 20 λεπτά για να κρυώσουν τα δείγματα σε θερμοκρασία 120^{o}C ή λιγότερο,

- Ανακινούμε τα δείγματα αρκετές φορές και περιμένουμε να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου,

- Θέτουμε σε λειτουργία το φασματοφωτόμετρο και εισάγουμε το αποθηκευμένο πρόγραμμα για COD,

- Περιστρέφουμε σε μήκος κύματος 620nm, και τοποθετούμε τον αντάπτορα αντιδραστηρίων στο κελί,

- Σκουπίζουμε το τυφλό δείγμα, το τοποθετούμε στον αντάπτορα με το λογότυπο να "κοιτάει" την μπροστινή πλευρά του οργάνου και τοποθετούμε 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.

4.4.Μέτρηση TSS

Πριν από τη δειγματοληψία προετοιμάζουμε φίλτρα από ίνες υάλου τύπου GF/B (1.0μm) της εταιρίας Whatman τις οποίες ξηραίνουμε στους 103oC, ζυγίζω και καταγράφω το βάρος τους. Για τη διαδικασία χρησιμοποιήσαμε δείγμα σε αραίωση 90%, δηλαδή 10ml λύματος και 90ml αποσταγμένου νερού, στην αντλία.

Εικόνα 4.2. *Ίνες υάλου*

Μετά την κατακράτηση, τοποθετούσαμε τα φίλτρα στις ειδικές αλουμινένιες υποδοχές και τα ξηραίναμε για μια (1) ώρα στους ειδικούς φούρνους σταθερής θερμοκρασίας 105oC της εταιρίας Memmert. Στη συνέχεια τα αφήναμε να κρυώσουν και τα επαναζυγίζαμε.

Υπολογίζουμε τα TSS, χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

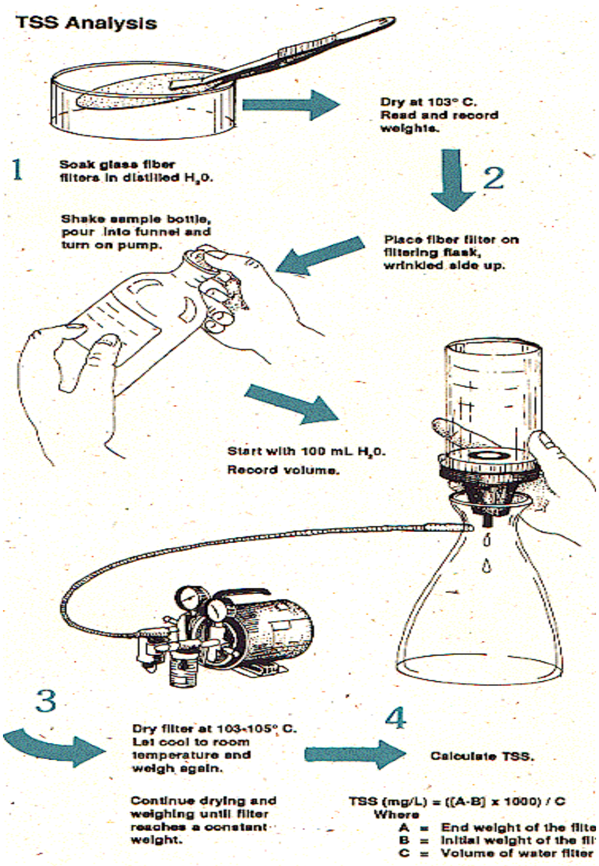
TSS (mg / L) = { ([A-B] * 1000) } / C ,

όπου:

A = βάρος στο τέλος του φίλτρου

B = αρχικό βάρος του φίλτρου

C = ο όγκος του νερού που φιλτράρεται



Σχήμα 4.2. *Διαδικασία μέτρησης TSS*

4.5.Χρήση Κροκιδωτικών

Βέλτιστη δόση κροκιδωτικού θεωρείται η ελάχιστη ποσότητα αυτού που θα προκαλέσει την μεγαλύτερη απομάκρυνση οργανικού φορτίου από την υδατική φάση.

Στις σειρές των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός ανόργανων κροκιδωτικών ενώσεων (*PAC - PolyAcrylic Chloride, υδατικό διάλυμα* $AlCl_3$ *συγκέντρωσης 14% w/v* Al^{3+}) και οργανικών ενώσεων (οργανικός, ανιονικός πολυηλεκτρολύτης – FLOCAN 23)

Το PAC είναι πυκνό διάλυμα περιεκτικότητας 14% w/v σε ιόντα Al^{3+}. Η χρήση του μπορεί να γίνει απευθείας ή με την παρασκευή αραιότερων διαλυμάτων. Προτιμήθηκε η απευθείας χρήση, γιατί ναι μεν 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.

Οι πολυηλεκτρολύτες εμπορεύονται σε στερεά μορφή και δεν είναι δυνατή η απευθείας χρήση τους στο απόβλητο. Για αυτόν τον λόγο παρασκευάζονταν υδατικά διαλύματα του παραπάνω ηλεκτρολύτη με απιονισμένο νερό και έντονη ανάδευση.

Αφού η σταθεροποίηση της διασποράς των σωματιδίων είναι κυρίως στόχος της προσθήκης κροκιδοτικών, η διάλυση τους πρέπει να γίνει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Έχουμε καλύτερο αποτέλεσμα όταν τα σωματίδια αποσταθεροποιούνται πριν αρχίσει να σχηματίζει ίζημα το κροκιδωτικό., και είναι αναγκαία η ύπαρξη ηλεκτρομειωτήρα μεταβλητών στροφών, ώστε να μπορεί να ρυθμίζεται ο ρυθμός ανάδευσης ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα συσσωμάτωσης (Οικονομόπουλος, 2005 & Λουιζίδου 2006).

4.6.Jar Test

Τα πειράματα κροκίδωσης πραγματοποιήθηκαν σε συσκευή jar test F6/5. Η συσκευή έχει τη δυνατότητα ανάδευσης έξι διαφορετικών δοχείων καθώς και τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής των μεταλλικών αναδευτήρων. Τα δοχεία που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των δειγμάτων είναι γυάλινα και έχουν χωρητικότητα 500ml. Η ταχύτητα του κάθε αναδευτήρα επιλέγεται από το χρήστη και είναι 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 και 200 rpm. Ο άξονας του στροβίλου μετακινείται σε κάθετη διεύθυνση ώστε να δημιουργείται περιδίνηση σε όποιο ύψος του δοχείου είναι επιθυμητό.

Εικόνα 4.3. *Jar Test*

Ο εργαστηριακός έλεγχος αποτελείται από 3 φάσεις:

- Ταχεία Ανάμιξη (Rapid Mix)

Προστίθεται το δείγμα (500ml λύματος ανά δοχείο) και το κροκιδωτικό, και αναδεύονται για σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ. 5 min) σε υψηλές στροφές (π.χ. 200 rpm). Στη φάση αυτή διασπείρεται το κροκιδωτικό και επέρχεται εξουδετέρωση των κολλοειδών. Η φάση αυτή αντιστοιχεί στην κροκίδωση,

- Αργή Ανάδευση (Slow Mix)

Η φάση αυτή αντιστοιχεί στη συσσωμάτωση. Οι συνθήκες ανάδευσης είναι περίπου 15 min σε 60 rpm ή αντίστοιχα,

- Καθίζηση (Settling)

Συνήθως 30 min. Από το υπερκείμενο υγρό λαμβάνεται δείγμα και γίνεται μέτρηση (π.χ. θολότητα).

Οι πολυηλεκτρολύτες εμπορεύονται σε στερεά μορφή και δεν είναι δυνατή η απευθείας χρήση τους στο απόβλητο. Για αυτόν τον λόγο παρασκευάζονταν υδατικά διαλύματα του παραπάνω ηλεκτρολύτη (με απιονισμένο νερό και έντονη ανάδευση) με περιεκτικότητα 1 gr πολυηλεκτρολύτη / 1 ml απιονισμένου νερού σε μαγνητικό αναδευτήρα.

4.7.Κώνος imhoff

Η μέτρηση των καθιζάνοντων στερεών γίνεται με τον κώνο imhoff (σχήμα 4.4) που είναι ένα γυάλινο δοχείο κωνικού σχήματος που φέρει διαβαθμίσεις όγκου στα τοιχώματά του. Στον κώνο imhoff παραμένει όγκος αποβλήτων ενός λίτρου για μισή ώρα κάτω από συνθήκες ηρεμίας. Το προς μέτρηση δείγμα πρέπει να έχει περίπου τη θερμοκρασία του δωματίου και να βρίσκεται μακριά από την άμεση επίδραση του ηλιακού φωτός. Η μέτρηση εκφράζεται σε ml λάσπης ανά l αποβλήτου τα οποία κατόπιν μπορούν να αναχθούν σε mg/l μετρώντας τα αιωρούμενα στερεά του υπερκείμενου διαυγασμένου υγρού και αφαιρώντας τα από τα ολικά αιωρούμενα στερεά του αποβλήτου (Οικονομόπουλος, 2005 & Λουιζίδου, 2006).

Σχήμα 4.4. *Κώνοι imhoff χρησιμοποιούμενοι για τη μέτρηση των καθιζήσιμων στερεών*

Κεφάλαιο 5ο:

Πειραματικά Αποτελέσματα

5.1.Σχόλια

Στόχος ήταν η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της δεξαμενής επίπλευσης διαλυμένου αέρα (DAF), αλλά και η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού κροκιδωτικών ουσιών,.

Τα γενικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων διέφεραν ανάλογα με τις δειγματοληψίες και επομένως είχαν άμεση σχέση με τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας αστικών λυμάτων από όπου συλλέγονταν αλλά και από άλλους εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. καιρικές συνθήκες, πληθυσμιακές αυξομειώσεις, πειραματικά σφάλματα).

Τα όποια κενά στους συγκεντρωτικούς πίνακες τιμών των αποτελεσμάτων και στα διαγράμματα οφείλονται σε πειραματικά σφάλματα, στην κακή λειτουργία της εγκατάστασης είτε σε έλλειψη εργαστηριακών πρώτων υλών ή μηχανημάτων (ειδικά το μήνα Αύγουστο).

Οι τιμές των παραμέτρων που μετρήθηκαν απεικονίζονται στα σχήματα που ακολουθούν, ενώ παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα οι πίνακες με τις μετρήσεις του συνάδελφου Χουχούμη Γεώργιου (ολικό και ελεύθερο χλώριο, αμμωνιακό άζωτο, ολικός φώσφορος, ολικό άζωτο).

Στα γραφήματα που ακολουθούν φαίνονται τα αποτελέσματα όσο αφορά τη μείωση των COD και SS καθώς και η παρακολούθηση του pH και της ειδικής αγωγιμότητας στην εγκατάσταση.

5.2.Συγκεντρωτικοί Πίνακες Τιμών

πίνακας 5.1. *Αποτελέσματα πριν την εξάμμωση*

Μετρηση	ΜΕΡΑ	ΩΡΑ	PH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	TSS (mg/l)	COD (mg/L)
1	26/Απρ	10:30	7,5	6,96	160,0	1000
2	28/Μαϊ	15:20	7,6	1,78	1340,0	484
3	11/Μαϊ	16:00	6,9	7,00	110,0	537
4	14/Μαϊ	15:00	7,4	2,67	210,0	680
5	18/Μαϊ	15:30	7,9	2,40	200,0	680
6	04/Ιουν	15:00	6,9	2,54	220,0	736
7	08/Ιουν	15:30	7,5	1,80	250,0	710
8	10/Ιουν	15:00	7,3	2,10	230,0	703
9	01/Ιουλ	16:00	7,4	5,90	110,0	742
10	14/Ιουλ	11:00	8,4	5,45		1148
11	21/Ιουλ	11:00	8,0	5,21	800,0	965
12	29/Ιουλ	14:30	7,3	5,86	900,0	648
13	02/Αυγ	11:30	8,3	1,74	340,0	1470
14	03/Αυγ	10:00	8,8	2,45	900,0	544
15	09/Αυγ	12:00	7,7	6,20		
16	17/Αυγ	09:30	7,9	1,92	1010,0	
17	13/Σεπ	11:00	6,7	6,50	410,0	836
18	15/Σεπ	11:00	7,5	5,55		950
19	22/Σεπ	15:00	6,8	5,80		980

*Στις 09 και 17 Αυγούστου δεν έγινε μέτρηση του COD λόγω έλλειψης αντιδραστηρίων, στις 14 Ιουλίου και 9 Αυγούστου δεν μπόρεσε να πραγματοποιηθεί μέτρηση TSS ακόμα και με αραίωση 95%, καθώς το αποτέλεσμα ήταν εξωπραγματικά υψηλό.

πίνακας 5.2. *Αποτελέσματα στην έξοδο του DAF*

Μετρηση	PH	Αγωγιμότητα (mS/cm)	TSS (mg/l)	TSS reduction (%)	COD (mg/L)	COD reduction (%)
1	6,5	7,30	2	98,75%	272	72,80%
2	7,3	1,79	200	85,07%	90	81,40%
3	6,6	6,67	24	78,18%	307	42,83%
4	6,6	2,38	28	86,67%	207	69,56%
5	7,2	2,36	30	85,00%	312	54,12%
6	6,5	3,00	28	87,27%	341	53,67%
7	7,1	1,77	33	86,80%	321	54,79%
8	7,0	2,00	38	83,48%	333	52,63%
9	7,0	6,31	5	95,45%	316	57,41%
10	7,6	6,94	*	repeat	676	41,11%
11	7,8	6,10	43	94,63%	482	50,05%
12	8,0	5,74	15	98,33%	328	49,38%
13	7,9	2,35	200	41,18%	302	79,46%
14	8,3	3,97	15	98,33%	286	47,43%
15	6,8	5,65	*	repeat	*	
16	6,2	6,85	850	15,84%		
17	7,5	6,39	200	51,22%	262	68,66%
18	7,2	6,00			310	67,37%
19	6,6	6,10			315	67,86%

5.3.Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

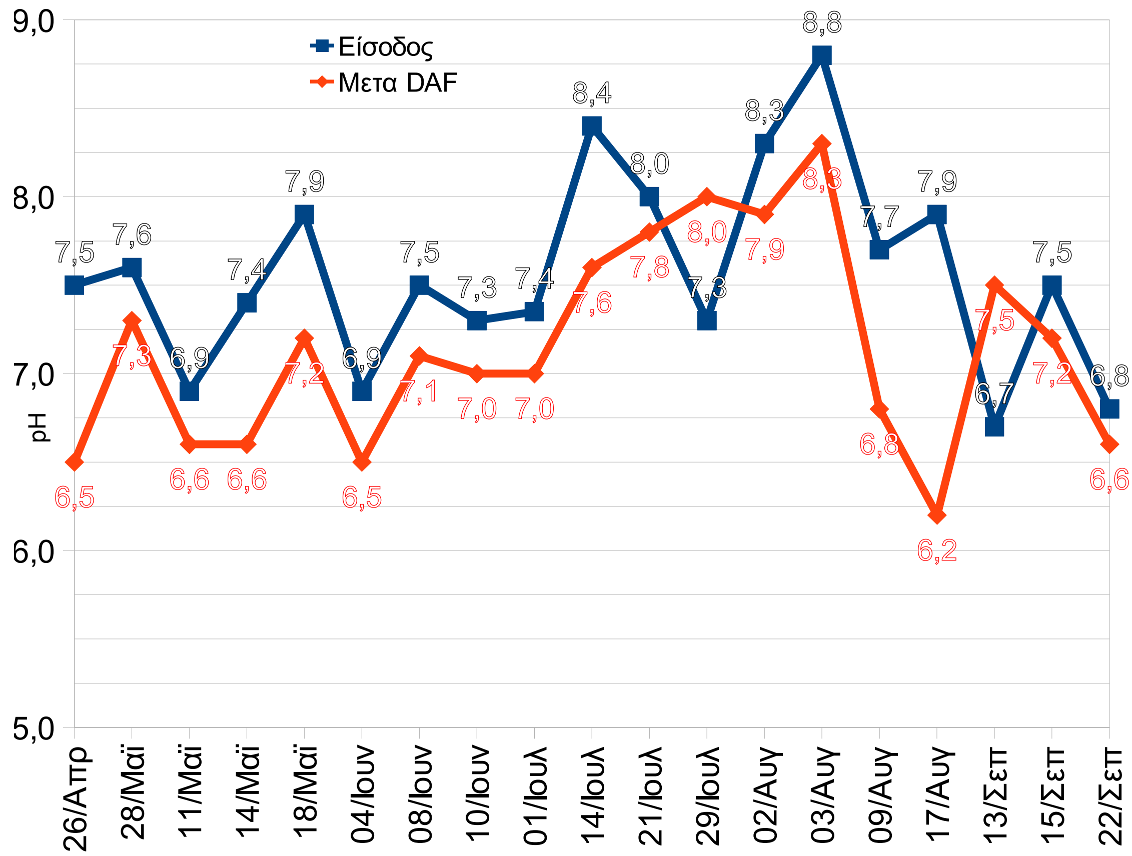
1. Το pH επηρεάζει σημαντικά την υδρόβια ζωή, την επεξεργασιμότητα του πόσιμου νερού, τη διάβρωση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, αποχετευτικών συστημάτων και δικτύων νερού. Επιδρά επίσης, σε φυσικά φαινόμενα, όπως η διαλυτότητα φυσικών συστατικών στο νερό και άρα στη γενικότερη ποιότητα του νερού. Για τους λόγους αυτούς το pH μετριέται συχνά στα απόβλητα πριν από τη διάθεσή τους στο αποχετευτικό σύστημα για προστασία των αγωγών από διάβρωση και της εγκατάστασης καθαρισμού από μεταβολές του pH που είναι ενδεχόμενο να επηρεάσουν τη λειτουργία της.

Η κλίμακα μέτρησης του pH αναφέρεται στους 25°C και είναι από 0 έως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε pH= 7.0. Δείγματα με τιμές μικρότερες του 7 καλούνται όξυνα και με τιμές μεγαλύτερες αλκαλικά.

Η περιοχή 6.5 – 8.5 είναι συνήθως αποδεκτή για όλους τους αποδέκτες. Για το πόσιμο νερό η Π.Ο.Υ. συνιστά pH < 8 προκειμένου να έχουμε αποδοτική απολύμανση με χλώριο και αποφυγή γεύσης “σαπουνιού”. Συνιστά επίσης όχι πολύ χαμηλό για αποφυγή διαβρώσεων.

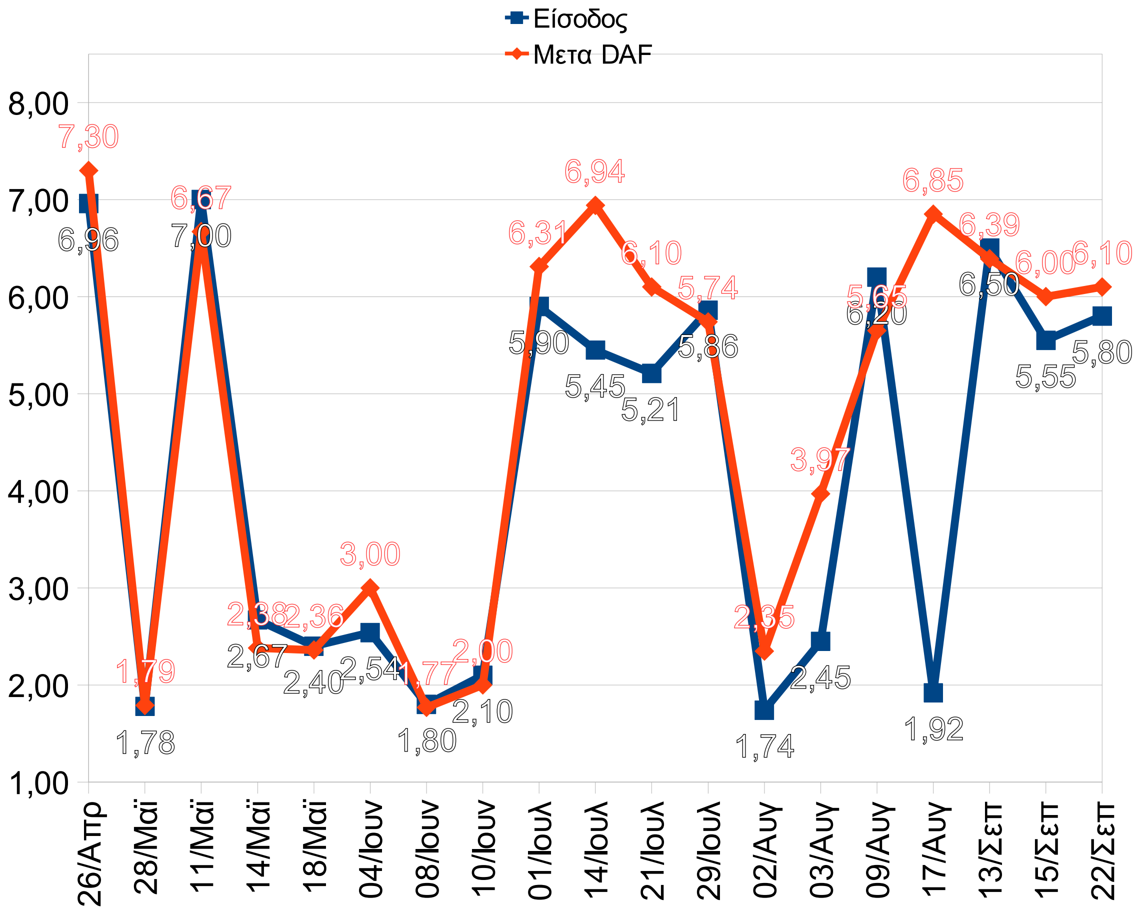
Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων το pH μετά το DAF βρίσκεται σε ανεκτά επίπεδα με τιμές που κυμαίνονται από 6,2 έως 8,3.

Διάγραμμα 5.1.Διάγραμμα τιμών pH



2. Η ειδική αγωγιμότητα είναι χρήσιμη παράμετρος για τον έλεγχο της ποιότητας των νερών δίνοντας πληροφορίες για τις διαλυμένες ιοντικές ουσίες, κυρίως άλατα, οξέα και βάσεις. Τα περισσότερα ανόργανα οξέα, βάσεις και άλατα που διίστανται στο νερό έχουν μεγάλη αγωγιμότητα ενώ τα οργανικά μόρια έχουν πολύ μικρή.

Διάγραμμα 5.2._Διάγραμμα τιμών ειδικής αγωγιμότητας (mS/cm)_



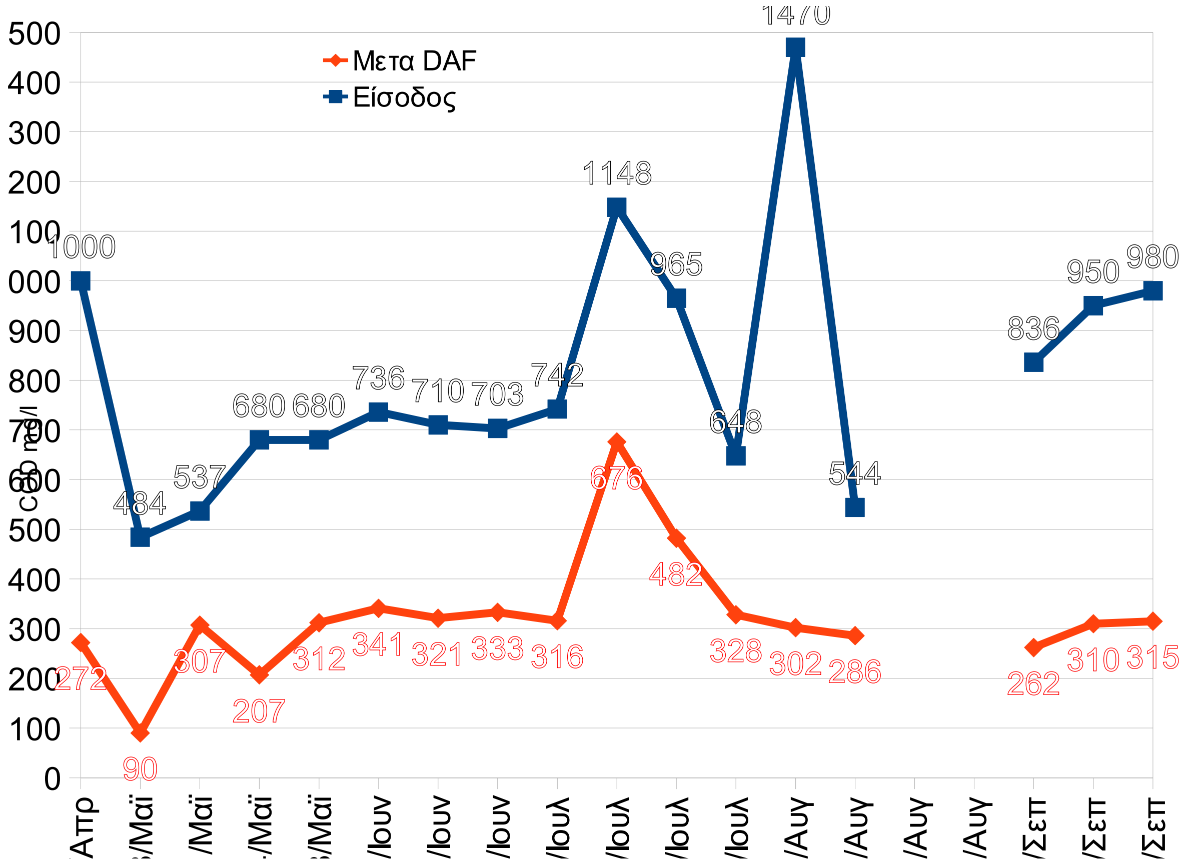
Πράγματι, με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε γενικές γραμμές είχαμε αύξηση της αγωγιμότητας στην έξοδο του DAF, ενώ κυμαίνονταν σε φυσιολογικέ τιμές. Αύξηση της αγωγιμότητας μεταφράζεται έως μεγαλύτερη καθαρότητα και διαύγεια του νερού.

Οι αυξομειώσεις οφείλονται είτε σε μικρά πειραματικά σφάλματα, είτε σε ειδικές συνθήκες (καιρικές συνθήκες, πληθυσμιακές αυξομειώσεις).

3. Η μέτρηση του COD χρησιμοποιείται συχνά για την μέτρηση των ρύπων σε απόβλητα και φυσικά νερά. Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD) ορίζεται ως το ποσό ενός συγκεκριμένου οξειδωτικού που αντιδρά με το δείγμα υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Η ποσότητα του οξειδωτικού που καταναλώθηκε εκφράζεται σε όρους ισοδύναμου οξυγόνου. Λόγω των μοναδικών χημικών ιδιοτήτων του, το διχρωμικό ιόν ($Cr_2O_7^{2-}$) είναι το οξειδωτικό που χρησιμοποιείται και ανάγεται σε χρωμικό ιόν (Cr^{3+}) σε αυτούς τους ελέγχους. Τα

οργανικά αλλά και τα ανόργανα συστατικά του δείγματος υποβάλλονται σε οξείδωση, αλλά στις περισσότερες των περιπτώσεων το οργανικό περιεχόμενο υπερέχει και είναι αυτό για το οποίο υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Ο βαθμός οξείδωσης του δείγματος μπορεί να επηρεαστεί από την διάρκεια χώνευσης, την δραστικότητα του αντιδραστηρίου και την συγκέντρωση COD του δείγματος.

Διάγραμμα 5.3.Διάγραμμα τιμών Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD)



Η μείωση του έφτανε τα επίπεδα του 40-80%, έχοντας στην έξοδο πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

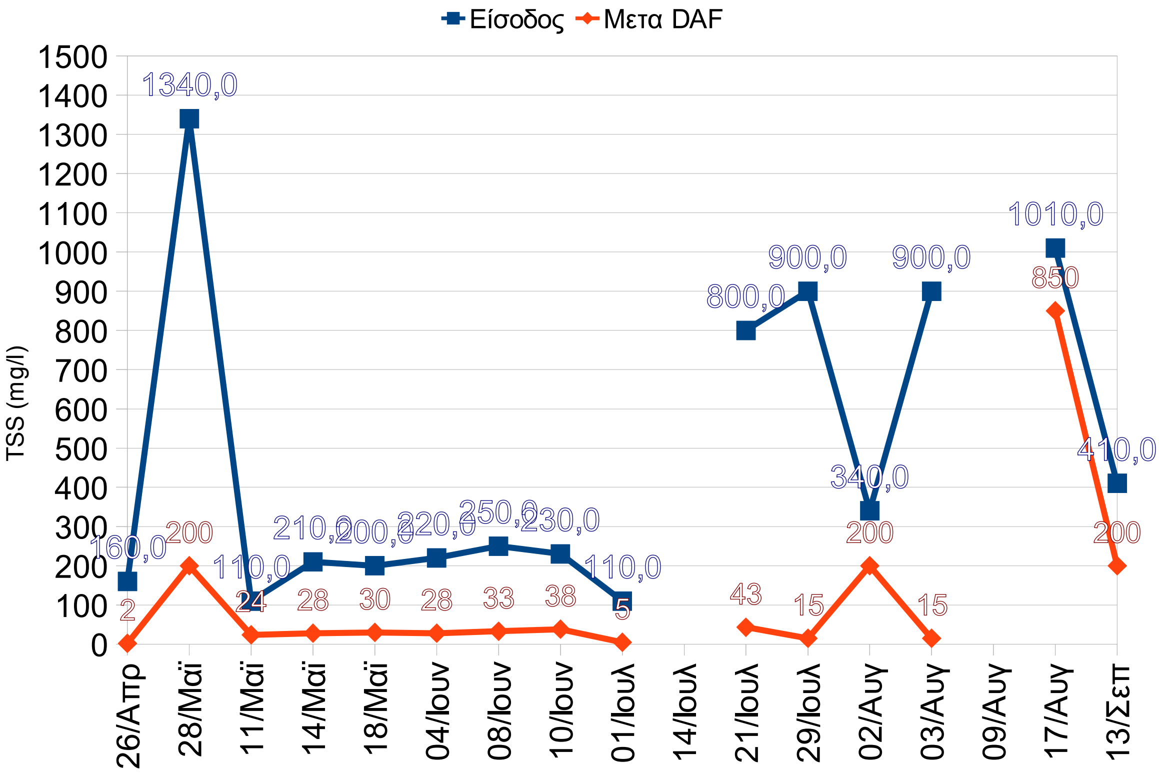
Ορίζεται υψηλή τιμή συγκέντρωσης 1000mg/l, μεσαία 500mg/l και χαμηλή 250mg/l.

Οπότε, βλέπουμε εκτός μικρών χρονικών διαστημάτων συγκεντρώσεις που κυμαίνονται σε μεσαία με χαμηλά επίπεδα, ακόμα και τους μήνες με κορύφωση της πληθυσμιακής αύξησης λόγω τουρισμού.

4. Για τα αιωρούμενα στερεά (TSS) ορίζεται υψηλή τιμή συγκέντρωσης 350mg/l, μεσαία 220mg/l και χαμηλή 100mg/l.

Τα στερεά που απομακρύνονται κατά τη διεργασία είναι ίσως η σημαντικότερη παράμετρος για τα πειράματα, γιατί η διαύγαση του αποβλήτου αποτελεί και το βασικό στόχο της διεργασίας.

Διάγραμμα 5.4. *Διάγραμμα τιμών Ολικών Αιωρούμενων Στερεών (TSS)*



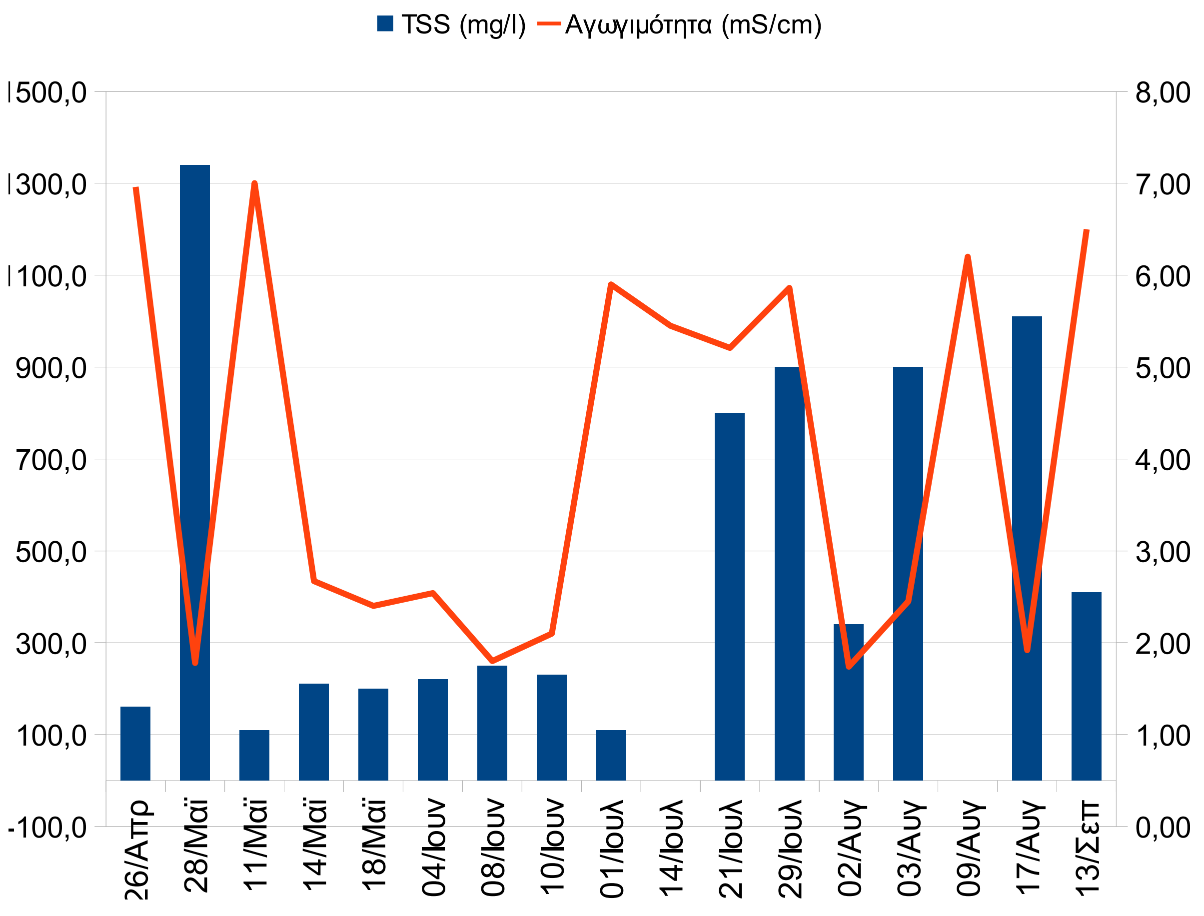
Η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών σε ποσοστά έχει μεγάλο εύρος. Σε γενικές γραμμές είναι από 40 έως σχεδόν 99%., ενώ μετά την έξοδο φτάνουν σε χαμηλά συγκεντρωτικά όρια. Σε συνθήκες, λοιπόν κανονικής λειτουργίας και με μικρή συγκέντρωση λυμάτων, η δεξαμενή διαλυμένου αέρα απομακρύνει ικανοποιητικά τα SS.

Εξαίρεση, προφανώς, αποτελεί η μικρή περίοδος των ημερών του εορτασμού της 15ης Αυγούστου όπου είχαμε τη μέγιστη εισροή λυμάτων υψηλής περιεκτικότητας και με την ελάχιστη απομάκρυνση της τάξης του 15%, η οποία όμως δεν εμπεριέχει καμία ανησυχία για την λειτουργία του.

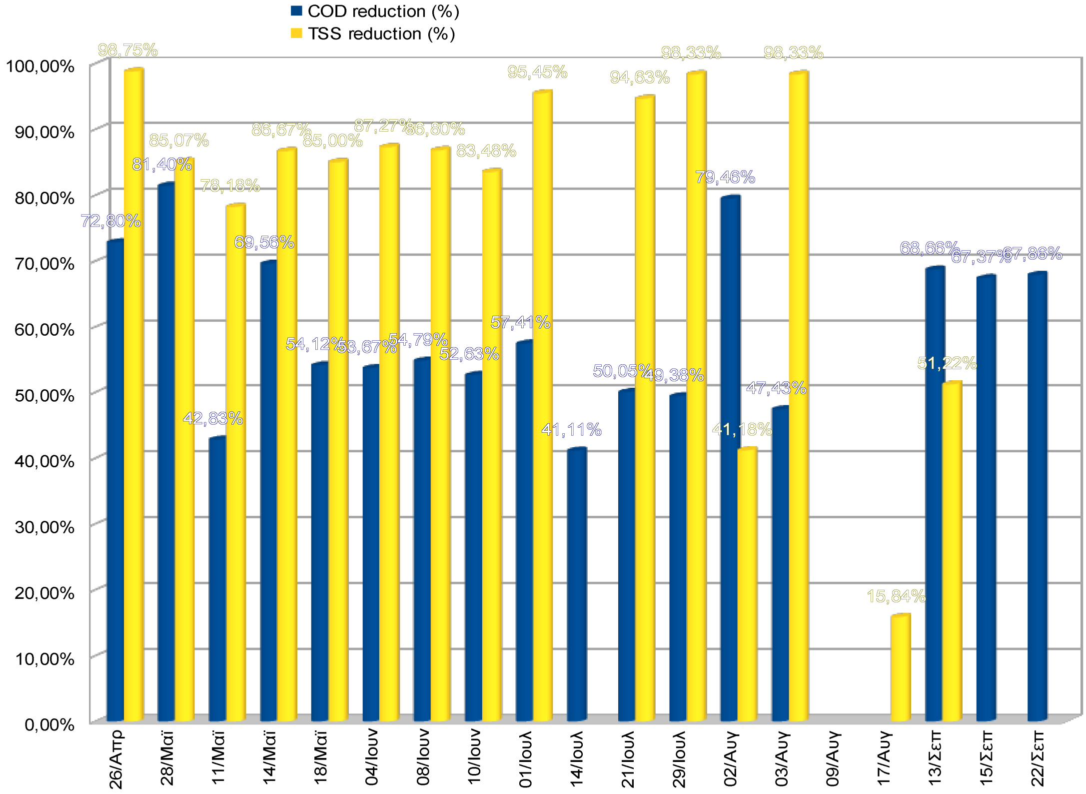
Το μεγάλο εύρος τιμών μπορεί να δικαιολογηθεί από διάφορους παράγοντες εσωγενής και εξωγενής (π.χ. βροχόπτωση με εισροή λυμάτων, συντήρηση/προβλήματα λειτουργίας της εγκατάστασης, μη λειτουργία αντλιών, τουριστική περίοδος κλπ.).

Αυτό φαίνεται και από το γράφημα ειδικής αγωγιμότητας – TSS, το οποίο μας δείχνει την υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά όταν έχουμε χαμηλή ειδική αγωγιμότητα, δηλαδή καθαρότητα των λυμάτων, στην είσοδο της μονάδας εξάμμωσης:

Διάγραμμα 5.5. *Διάγραμμα ειδικής αγωγιμότητας – TSS πριν την εξάμμωση*



Πίνακας 5.3. *επί της εκατό (%) μείωση του COD και του TSS στην έξοδο της δεξαμενής επίπλευσης διαλυμένου αέρα (DAF)*



5. Βέλτιστη Χρήση flocan23 – PAC

Στην εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων η παροχή των αποβλήτων ανέρχεται στα 25 m^3/h ενώ η κατανάλωση κροκιδωτικών είναι:

- 100 ml PAC ανά 2,5min
- 630 ml FLOCAN 23 ανά 30 sec

Κατ’ αντιστοιχία, σε εργαστηριακή κλίμακα, προσπαθήσαμε να βρούμε μια ιδανική αναλογία κροκιδωτικών σε 500ml λύματος:

Στη συνέχεια εξετάζεται η επίδραση των κροκιδωτικών στα χαρακτηριστικά των δειγμάτων αστικών αποβλήτων που ελήφθησαν. Στόχος των πειραμάτων είναι η εύρεση του βέλτιστου κροκιδωτικού και της βέλτιστης δόσης του καθώς η κατανάλωση των κροκιδωτικών ουσιών χαρακτηρίζεται εξαιρετική υψηλή. Ο όρος «βέλτιστο» κροκιδωτικό αναφέρεται στο κροκιδωτικό εκείνο, το οποίο με την προσθήκη του στο δείγμα των λυμάτων προκαλεί τις μεγαλύτερες απομακρύνσεις στις τιμές των περισσότερων παραμέτρων.

Έτσι, κάναμε μια σειρά πειραμάτων χρησιμοποιώντας, ένα συνδυασμένο εύρος τιμών για το μεν PAC 0,22 – 0,29ml, ενώ για το flocan23 1,2 – 2,0ml, με γνώμονα την μέγιστη μείωση των COD & TSS με τη μικρότερη δυνατή χρήση κροκιδωτικών.

Καταλήξαμε ότι για χρονικές περιόδους με μεγάλη ποσότητα λυμάτων στην είσοδο η βέλτιστη συνδυασμένη ποσότητα είναι:

0,29ml PAC/500ml & 1,5ml flocan23/500ml

Ακόμη, για ακόμη μεγαλύτερη οικονομία σε σχέση με την απόδοση σε εποχιακές περιόδους με μικρότερες ανάγκες η αναλογία θα μπορούσε να γίνει κάλλιστα:

0,240ml PAC/500ml & 1,5ml flocan23/500ml

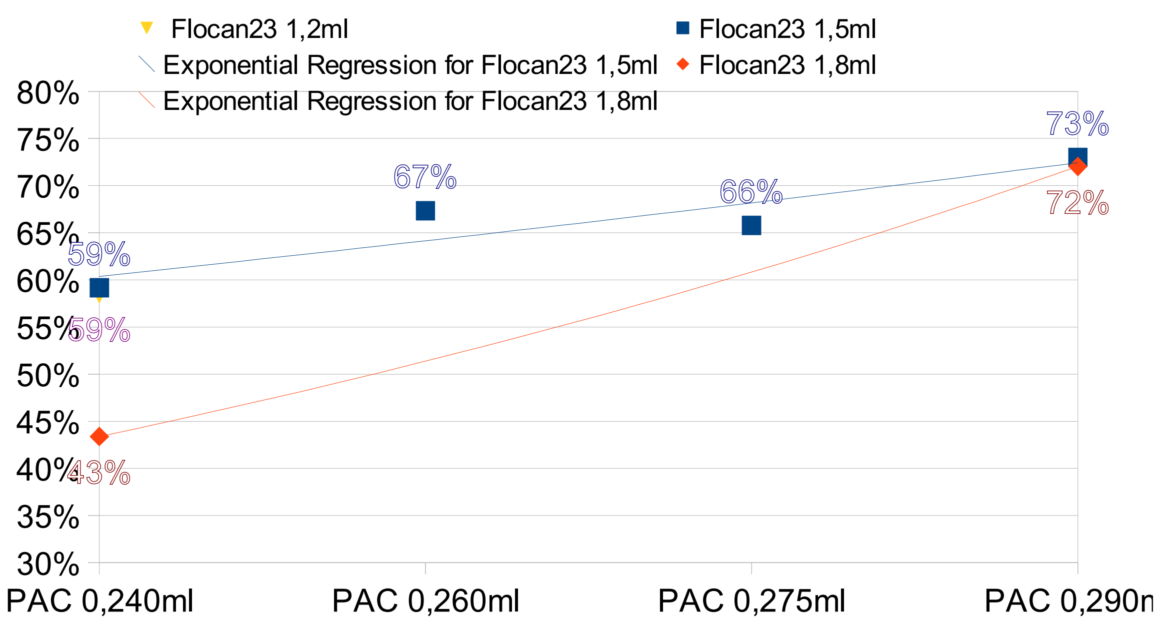
Πιο αναλυτικά, μετά το πέρας της διαδικασίας της κροκίδωσης στο εργαστήριο και παίρνοντας δειγματοληψία από τους κώνους imhoff, συγκρίνοντας τα ευρήματα με αυτά της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Αρμένων, για μια ημέρα με υψηλό φορτίο (14 Ιουλίου), βρίσκουμε τα εξής:

πίνακας 5.4. *Μείωση COD με πειραματικές κροκιδώσεις στο εργαστήριο για 14/07*

PAC (ml)	*flocan23 (ml)*	*COD αρχικό (mg/l)*	*COD τελικό (mg/l)**	*Μείωση COD (%)*
0,240	1,2	1148	476	58,54%
0,240	1,5		469	59,15%
0,260	1,5		375	67,33%
0,275	1,5		393	65,77%
0,290	1,5		310	73,00%
0,240	1,8		650	43,38%
0,290	1,8		321	72,04%

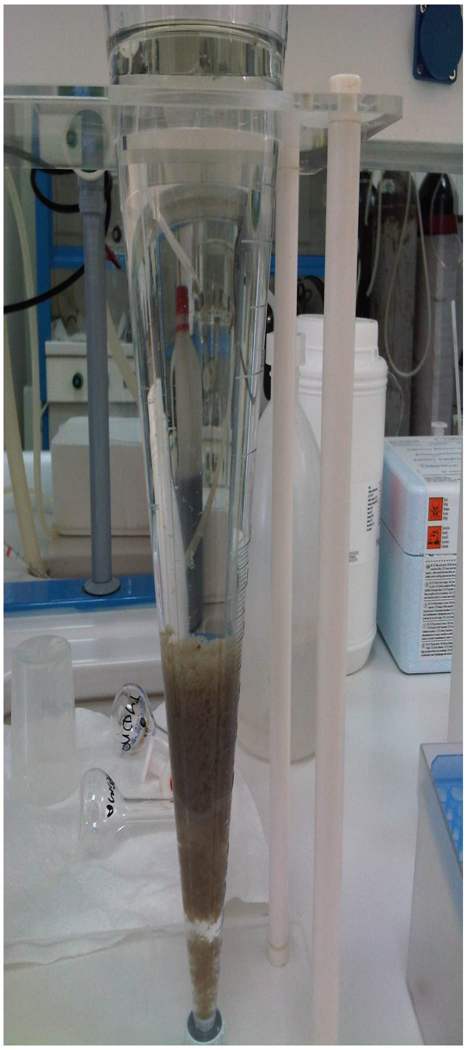
*Σημειώνουμε ότι στις 14/7, από τη δειγματοληψία είχαμε βρει στην έξοδο του DAF, COD= 676mg/l, δηλαδή απομάκρυνση της τάξης του 41,11%

Διάγραμμα 5.6. *Αλληλεπίδραση PAC/ flocan23 στη μείωση COD για τις 14/07*



Από το διάγραμμα 5.6. διαπιστώνουμε, τη μεγαλύτερη ποσοστιαία απομάκρυνση COD με χρήση 0,29ml PAC/500ml, το οποίο είναι και καθοριστικότερος παράγοντας. Η βέλτιστη απομάκρυνση επιτυγχάνεται με το συνδυασμό 1,5ml flocan23/500ml.

Εικόνα 5.1. 0,290ml PAC/500ml & 1,5ml flocan23/500ml



Εικόνα 5.2. 0,290ml PAC/500ml & 1,8ml flocan23/500ml

Από τις εικόνες 5.1. και 5.2. διαπιστώνουμε, ότι με χρήση 0,29ml PAC και 1,5ml flocan23 έχουμε καλύτερη συσσωμάτωση των αιωρούμενων στερεών αλλά και μεγαλύτερη διαύγεια στον κώνο imhoff.

Εργαζόμενοι με τον ίδιο τρόπο για μια πειραματική μέρα με μικρό οργανικό φορτίο (03/08) έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα στην μέτρηση COD και TSS:

πίνακας 5.5. *Μείωση COD με πειραματικές κροκιδώσεις στο εργαστήριο για 03/08*

PAC (ml)	*flocan23 (ml)*	*COD αρχικό (mg/l)*	*COD τελικό (mg/l)**	*Μείωση COD (%)*
0,290	1,2	544	244	55,15%
0,240	1,5		230	57,72%
0,290	1,5		250	54,04%
0,240	1,8		240	55,88%
0,290	1,8		244	55,15%
0,290	2		280	48,53%

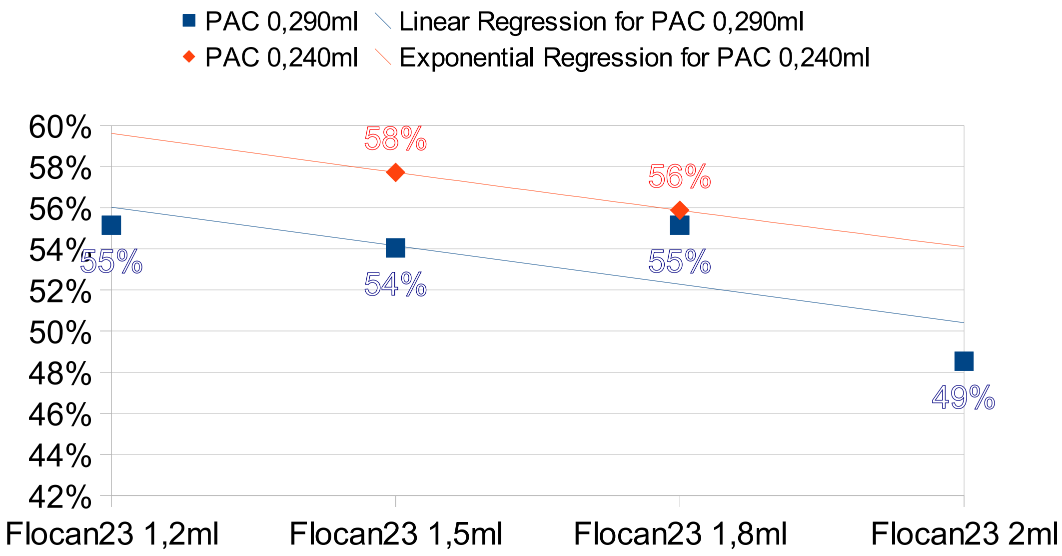
*Σημειώνουμε ότι στις 03/08, από τη δειγματοληψία είχαμε βρει στην έξοδο του DAF, COD= 286mg/l, δηλαδή απομάκρυνση της τάξης του 47,43%

πίνακας 5.6. *Μείωση TSS με πειραματικές κροκιδώσεις στο εργαστήριο για 03/08*

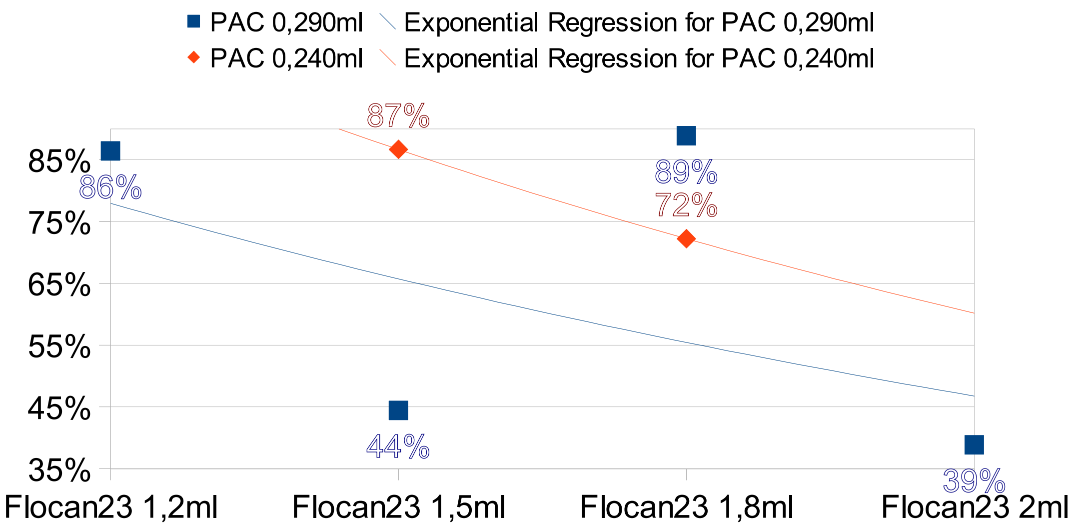
PAC (ml)	*flocan23 (ml)*	*TSS αρχικό (mg/l)*	*TSS τελικό (mg/l)**	*Μείωση TSS (%)*
0,290	1,2	900	140	86,44%
0,240	1,5		120	86,67%
0,290	1,5		500	44,44%
0,240	1,8		250	72,22%
0,290	1,8		100	88,89%
0,290	2		550	38,89%

*Από τη δειγματοληψία στην έξοδο του DAF: TSS= 15mg/l, δηλαδή απομάκρυνση της τάξης του 98,33%

Διάγραμμα 5.7. *Αλληλεπίδραση PAC/ flocan23 στη μείωση COD για τις 03/08*

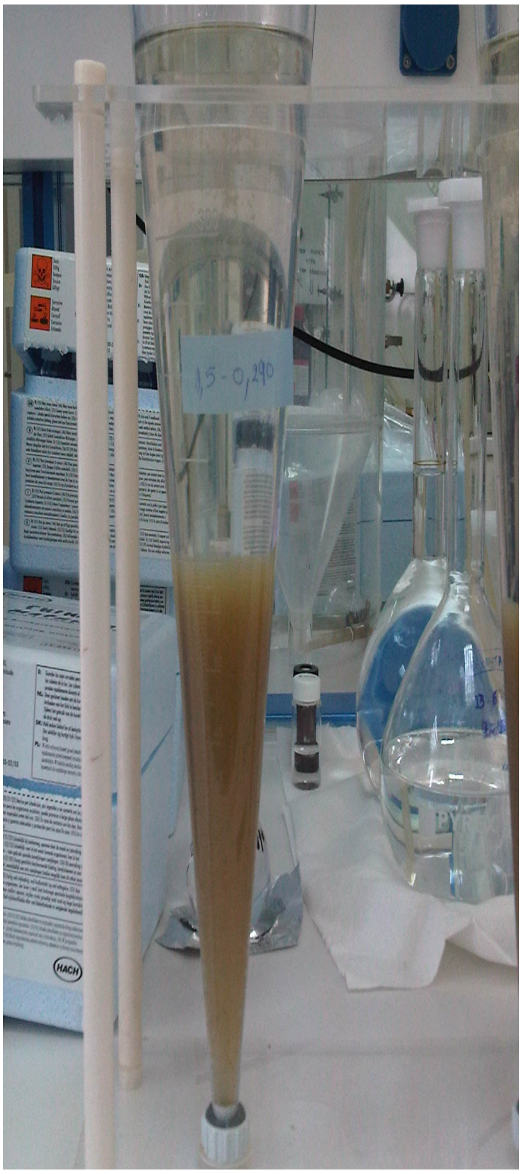


Διάγραμμα 5.8. *Αλληλεπίδραση PAC/ flocan23 στη μείωση TSS για τις 03/08*



Από το διάγραμμα COD παρότι έχουμε παρόμοιες απομακρύνσεις, η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται με λιγότερη ποσότητα PAC, κάτι το οποίο ήταν και ζητούμενο (βέλτιστη χρήση).

Εικόνα 5.3. *0,240ml PAC/500ml & 1,5ml flocan23/500ml*



Εικόνα 5.4. *0,290ml PAC/500ml & 1,5ml flocan23/500ml*

Συγκρίνοντας τις εικόνες από την πειραματική διαδικασία στους κώνους imhoff, παρατηρούμε πως παρότι δεν γίνεται συσσωμάτωση σε μεγάλο βαθμό, στην εικόνα 5.3.έχουμε μεγαλύτερη διαύγεια στον κώνο δηλαδή απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών.

Ακόμα, ειδικά για μικρή ποσότητα οργανικού φορτίου η μεγαλύτερη χρήση από το αναγκαίο είτε PAC είτε flocan23 οδηγεί σε αντίθετα αποτελέσματα, δηλαδή μικρή απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, όπως φαίνεται και στις εικόνες αλλά και στο διάγραμμα5.8.

Εικόνα 5.5. *0,290ml PAC/500ml & 2,0ml flocan23/500ml*

Εικόνα 5.6. *0,240ml PAC/500ml & 1,8ml flocan23/500ml*

Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, δεν είναι εύκολο να εξάγουμε ένα ασφαλές συμπέρασμα για τη λειτουργία της ΕΕΛ Αρμένων.

Σε γενικές γραμμές η λειτουργία της πρωτογενούς διεργασίας, δηλαδή η λειτουργία της μονάδας επίπλευσης διαλυμένου αέρα παρουσιάζει μεγάλου βαθμού απομάκρυνση του οργανικού φορτίου,΄όπως παρουσιάσαμε από τα αποτελέσματα των κύριων παραμέτρων COD, TSS.

Παρόλα αυτά, το ίδιο δεν ισχύει όταν έχουμε μεγιστοποίηση του φορτίου, κυρίως το μήνα Αύγουστο, το οποίο είναι και πρόβλημα της περιοχής. Πέρα από την προτεινόμενη χρήση κροκιδωτικών, παράγοντες όπως η τρόπος λειτουργίας αλλά και ο χώρος εγκατάστασης να είναι καθοριστικοί.

Η ΕΕΛ όντας προσαρμοσμένη σε παλαιότερη εγκατάσταση, ίσως δεν πληρεί πλέον της απαραίτητες συνθήκες, και μια αύξηση του μήκους του DAF να ήταν απαραίτητη.

Εδώ να τονίσουμε,ότι στην εγκατάσταση γίνονταν απόσμηση πριν από τη διαδικασία του DAF, το οποίο φαίνεται από την υψηλή συγκέντρωση νιτρικού αζώτου και τη δυσκολία απομάκρυνσης του.

Παράρτημα

Αναλυτικοί πίνακες αποτελεσμάτων για τις μετρήσεις που δεν επεξεργάστηκαν και παρουσιάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία:

Αποτελέσματα πριν τον εξαμμωτή

Α/Α	ΜΕΡΑ	ΩΡΑ	free chlorine (mg/L)	total chlorine (mg/L)	Ολικό Αζωτο -Ν- (mg/L)	Αμμωνιακό Άζωτο NH_3 -N (mg/L)	Φώσφορος PO_4^{-3} -P (mg/L)
1	26/Απρ	10:30	1,80	6,30	78	37,6	9,700
2	28/Μαϊ	15:20	0,40	0,40	48	35,2	9,530
3	11/Μαϊ	16:00	0,30	7,60	47	32,0	3,420
4	14/Μαϊ	15:00	2,00	0,50	58	31,6	4,280
5	18/Μαϊ	15:30	1,00	0,10	67	43,7	4,020
6	04/Ιουν	15:00	0,60	0,15	72	45,3	3,840
7	08/Ιουν	15:30	0,60	0,30	71	50,5	4,260
8	10/Ιουν	15:00	0,50	0,60	80	52,0	4,330
9	01/Ιουλ	16:00	0,40	2,00	49	41,4	11,640
10	14/Ιουλ	11:00	0,34	12,36	81	43,8	9,080
11	21/Ιουλ	11:00	0,40	1,10	75	47,4	8,300
12	29/Ιουλ	14:30	1,70	5,80	71	***42.1***	6,000
13	02/Αυγ	11:30	0,70	0,30	116	***50.7***	*no lab*
14	03/Αυγ	10:00	0,40	1,60	105	***49,8***	*no lab*
15	09/Αυγ	12:00	13,20	15,00	119	***30,8***	*no lab*
16	17/Αυγ	09:30	4,80	1,20	152	*over-range*	*no lab*
17	13/Σεπ	11:00	0,50	4,66	92	51,5	4,960
18	15/Σεπ	11:00					4,020
19	22/Σεπ	15:00					4,340

Αποτελέσματα στην έξοδο του DAF

A/A	**free chlorine (mg/L) έξοδος**	**total chlorine (mg/L) έξοδος**	**Ολικό Αζωτο -N- (mg/L)**	**Αμμωνιακό Άζωτο NH_3 -N (mg/L)**	**Φώσφορος PO_4^{-3} -P (mg/L)**	P reduction (%)
1	1,07	3,85	57	24,5	0,260	97,32%
2	0,04	0,26	70	41,0	1,650	82,69%
3	0,22	4,66	51	39,4	0,240	92,98%
4	0,39	0,08	56	40,9	0,444	89,63%
5	0,13	0,03	63	40,4	0,415	89,68%
6	0,05	0,10	67	41,7	1,200	68,75%
7	0,05	0,18	78	45,0	1,780	58,22%
8	0,10	0,24	85	45,0	1,502	65,31%
9	0,31	6,80	78	42,6	0,660	94,33%
10	0,04	11,80	76	45,6	0,878	90,33%
11	0,06	0,40	88	45,8	0,945	88,61%
12	0,41	2,54	103	***28,8***	0,848	85,87%
13	0,05	0,18	80	***46,1***	*no lab*	
14	0,07	0,50	70	***45,3***	*no lab*	
15	2,60	1,35	152	***42,2***	*no lab*	
16	1,10	0,10	114	***37,4***	*no lab*	
17	0,35	0,45	88	55,0	1,020	79,44%
18					0,822	79,55%
19					0,980	77,42%

Βιβλιογραφία

"Ρύπανση και έλεγχος Ρύπανσης Νερών" Αλέξανδρος Οικονομόπουλος, πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος 2005

"Χημικές Διεργασίες στην Επεξεργασία Νερού και Αποβλήτων" Ε. Διαμαντόπουλος, πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

"Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων" Γ. Μαρκαντωνάτος, Δεύτερη Έκδοση 1990

"Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος" εκδόσεις ΕΤΕ

"Υγρά Απόβλητα" Μαρία Λοιζίδου, Αθήνα 2006

"Βιομηχανική Ρύπανση" Γ. Βαλκανάς, Αθήνα 1980

"Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων" Απόστολος Βλυσίδης, Αθήνα 2006

Επίσημη Ιστοσελίδα πρώην Δ. Αρμένων "http://www.dimosarmenon.gr/visitor/dd-kalybvn/dd-kalybvn.html "

"Μηχανική Υγρών Αποβλήτων επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση, τόμος Α" Metcalf & Eddy, εκδόσεις Τζιόλα

"Βιομηχανική Ρύπανση" Γ. Βαλκανάς

"Βασικές Αρχές και σχεδιασμός Επεξεργασίας Αποβλήτων" Ζ.Σ. Βογιατζής & Αν. Ι. Στάμος, έκδοση ΤΕΕ 1986

"Περιβαλλοντική Μηχανική Ι Διαχείριση Υδατικών Πόρων" Θεμιστοκλής Λέκκας

"Ποιοτικά Χαρακτηριστικά και Επεξεργασία Νερού" Μανασσής Μήτρακας, εκδόσεις Τζιόλα

"Προχωρημένες Οξειδωτικές Μέθοδοι Αντιρρύπανσης" Ι. Πούλιος, ΑΠΘ 2006

"Γενική και Ανόργανη Χημεία Τόμος πρώτος" Ιωάννη Τοσσίδη, Εκδόσεις Ζήτη

APHA-AWWA-WEF," Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th Edition, 1998.

EPA, Environmental Protection Agency "Methods for chemical analysis of water and wastes", 1982 (A)

EPA, Environmental Protection Agency, "Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater", 1982 (B)

Jorgensen, E. S., and Johnsen, I. (1989) *Principles of Environmental Science and Technology.* Elsevier, Amsterdam

Metcalf & Eddy (1991) 3d edn, McGraw Hill , Inc., New York.

Noyes, R. (1991) *Handbook of Pollution Control Processes*, Noyes Publications, New Jersey

WPCF Manual of Practice No 8 (1977) *Wastewater Treatment Plant Design*, 2d edn., Lancaster Press, Inc, Lancaster

Handbook of Advanced Photochemical Oxidation Processes, EPA Publications.