



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΡΩΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ
ΒΙΟΦΙΛΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΣΟΝΤΖΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΚΙΚΑΣ ΠΕΤΡΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΕΠΙΚ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΒΕΝΙΕΡΗ ΔΑΝΑΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΙΔΑΡΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΧΑΝΙΑ 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων με χρήση φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας σταθερού πληρωτικού υλικού και συγκεκριμένα η σύγκριση της απόδοσης δύο διαφορετικών υλικών υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Για την σύγκριση των πληρωτικών υλικών κατασκευάσθηκαν δύο δεξαμενές φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας (ύψους 2m και διαμέτρου 20cm) και εκπονήθηκαν μετρήσεις για την ικανότητα απορρύπανσης υγρών αποβλήτων που λαμβάνονταν από τη Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Δήμου Χανίων αφού είχαν υποστεί πρωτοβάθμια καθίζηση. Τα υλικά που τοποθετήθηκαν ήταν της εταιρίας GEA 2H Water Technologies και πρόκειται για ένα φίλτρο διασταυρούμενης ροής μεγάλης ειδικής επιφάνειας και ένα φίλτρο τυχαίας ροής μικρότερης ειδικής επιφάνειας. Καθημερινά κάθε φίλτρο τροφοδοτούταν με 30L υγρών αποβλήτων και τα εκρέοντα επεξεργασμένα απόβλητα συλλέγονταν σε διαφορετικό δοχείο για κάθε δεξαμενή. Για τον έλεγχο της απόδοσης επεξεργασίας πραγματοποιούνταν μετρήσεις DO, pH, TOC, BOD, COD, TSS, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ και $\text{NO}_2\text{-N}$ τόσο στα ανεπεξέργαστα απόβλητα όσο και στα επεξεργασμένα. Δοκιμάσθηκαν 3 διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, αρχικά λειτουργία με παροχή 1L/h (η οποία ήταν και η ελάχιστη δυνατή) και ρυθμό υδραυλικής φόρτισης $q = 0,00796\text{m/h}$, στη συνέχεια λόγω χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου προστέθηκε σύστημα αερισμού και δοκιμάσθηκε η ίδια παροχή 1L/h με αερισμό. Τέλος, διατηρώντας το σύστημα αερισμού δοκιμάσθηκε η διπλάσια παροχή 2L/h με ρυθμό υδραυλικής φόρτισης $q = 0,01592\text{m/h}$.

Τα βέλτιστα αποτελέσματα και για τα δύο υλικά παρουσιάσθηκαν με παροχή 1L/h και εν λειτουργία συστήματος τεχνητού αερισμού. Χαρακτηριστικά μεγέθη απομακρύνσεων είναι 73% απομάκρυνση BOD και για τα δύο υλικά, 78% απομάκρυνση COD επίσης και για τα δύο, καθώς και 94% απομάκρυνση TSS. Όσον αφορά τα TSS και τα $\text{NH}_3\text{-N}$ τα δύο φίλτρα εμφάνισαν διαφορές της τάξης του 11-13% με βέλτιστες αποδόσεις εκείνες του φίλτρου τυχαίας ροής (65% και 83% αντίστοιχα). Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά για την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα της μεθόδου επεξεργασίας.

ABSTRACT

The subject of this work was the treatment of municipal wastewater using attached growth trickling filters and particularly to compare the performance of two different filling materials under the same operating conditions. In order to compare of fillers, two tanks were constructed (2m height and diameter 20cm) and measurements were carried out for the ability of decontaminating wastewater taken by the Wastewater Treatment Plant of Chania after they had undergone primary sedimentation. The support materials were produced by the company GEA 2H Water Technologies, the one was a cross-flow filter with a high surface area and the other was a random-flow filter of smaller surface area. Everyday each filter was provided with 30L of wastewater and effluent treated waste where collected in a different container for each tank. To control the processing performance measurements made DO, pH, TOC, BOD, COD, TSS, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$ as for the raw waste and the treated. Three different operating conditions were tested, initially operating at a flow rate of 1L/h (which was the minimal possible) and at a hydraulic flow rate of $q = 0,00796\text{m}^3/\text{h}$, then due to low dissolved oxygen concentrations a ventilation system was added and tested the same flow rate 1L/h with ventilation. Finally, maintaining the ventilation system, the flow rate was doubled at 2L/h and hydraulic flow rate of $q = 0,01592\text{m}^3/\text{h}$ and tested.

The best results for both materials were presented using a flow rate of 1L/h and the artificial ventilation system. Indicative removal sizes are 73% BOD removal and both fillers, 78% removal of COD is also for both and 94% removal of TSS. Regarding the TSS and the $\text{NH}_3\text{-N}$ both filters exhibited differences about 11-13% with optimum yields for the random-flow filter (65% and 83% respectively). In conclusion, the results were encouraging for the credibility and effectiveness of the treatment process.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	1
-------------------------------	----------

1 <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	1
--------------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	4
-------------------------------	----------

2 <u>ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ</u>	4
--	----------

2.1 ΓΕΝΙΚΑ	4
------------	---

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	4
--------------------------------	---

2.3 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	5
-------------------------------	---

2.3.1 Γενικά Συστατικά	6
------------------------	---

2.3.2 Σημαντικότερα συστατικά υγρών αποβλήτων	9
---	---

2.3.3 Επεξήγηση και ανάλυση σημαντικότερων δεικτών	11
--	----

2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	19
---------------------------------	----

2.4.1 Βασικές γνώσεις για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων	19
---	----

2.4.2 Συλλογή υγρών αποβλήτων	22
-------------------------------	----

2.4.3 Βασικά στάδια εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων	23
---	----

2.5 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	31
--------------------------	----

2.5.1 Κατανάλωση ενέργειας σε τυπικά συστήματα υγρών αποβλήτων ενεργού ιλύος	31
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	35
-------------------------------	-----------

3 <u>ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ</u>	35
--	-----------

3.1 ΓΕΝΙΚΑ	35
------------	----

3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	36
---------------------------------------	----

3.2.1 Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι	36
---	----

3.2.2	Συνδυασμένες διεργασίες προσκολλημένης και αιωρούμενης βιομάζας.....	39
3.2.3	Βιολογικά φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας (επισκόπηση).....	40
3.3	ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ..	41
3.3.1	Μορφή εγκατάστασης φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας.....	42
3.3.2	Αναπτυσσόμενοι μικροοργανισμοί στα βιόφιλτρα.....	44
3.3.3	Πληρωτικά υλικά φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας.....	45
3.3.4	Ταξινόμηση βάσει ρυθμού φόρτισης.....	47
3.3.5	Τυπικά διαγράμματα ροής φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο..... 50

4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ..... 50

4.1	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	50
4.2	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	51
4.2.1	Πληρωτικά υλικά.....	51
4.2.2	Δεξαμενές τοποθέτησης.....	54
4.2.3	Σύστημα άντλησης αποβλήτων.....	55
4.2.4	Σύστημα ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια των φίλτρων.....	55
4.2.5	Σύστημα αποστράγγισης εκρεόντων.....	57
4.2.6	Σύστημα αερισμού.....	57
4.2.7	Επισκόπηση εγκατάστασης.....	58
4.2.8	Αρχική προσκόλληση βιομάζας στα πληρωτικά υλικά.....	60
4.3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	61
4.3.1	Δειγματοληψία.....	61
4.3.2	Επεξεργασία αποβλήτων.....	61
4.3.3	Απόρριψη επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων αποβλήτων.....	62

4.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	62
4.4.1 BOD.....	62
4.4.2 TOC.....	63
4.4.3 COD.....	64
4.4.4 TSS.....	64
4.4.5 DO, pH.....	65
4.4.6 Αμμωνιακά, νιτρικά ιόντα, νιτρώδη.....	65
4.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟC ΚΑΙ	
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	65
4.5.1 Μέτρηση αβεβαιότητας ΤΟC.....	65
4.5.2 Έλεγχος αξιοπιστίας δειγματοληψίας.....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο..... **69**

5 <u>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</u>	69
5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΟΧΗΣ $Q = 1\text{L/h}$, ΡΥΘΜΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ	
ΦΟΡΤΙΣΗΣ $q = 0,00796\text{m/h}$.....	70
5.1.1 pH και DO.....	70
5.1.2 Αποτελέσματα BOD.....	71
5.1.3 Αποτελέσματα TOC.....	72
5.1.4 Αποτελέσματα COD.....	73
5.1.5 Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$	74
5.1.6 Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$ και $\text{NO}_2\text{-N}$	75
5.1.7 Αποτελέσματα TSS.....	76

5.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΟΧΗΣ $Q = 1\text{L/h}$, ΡΥΘΜΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ $q = 0,00796\text{m/h}$ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	77
5.2.1	pH και DO.....	77
5.2.2	Αποτελέσματα BOD.....	78
5.2.3	Αποτελέσματα TOC.....	79
5.2.4	Αποτελέσματα COD.....	80
5.2.5	Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$	81
5.2.6	Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$ και $\text{NO}_2\text{-N}$	82
5.2.7	Αποτελέσματα TSS.....	82
5.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΟΧΗΣ $Q = 2\text{L/h}$, ΡΥΘΜΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ $q = 0,01592\text{m/h}$ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	84
5.3.1	pH και DO.....	84
5.3.2	Αποτελέσματα BOD.....	84
5.3.3	Αποτελέσματα TOC.....	86
5.3.4	Αποτελέσματα COD.....	87
5.3.5	Αποτελέσματα $\text{NH}_3\text{-N}$	88
5.3.6	Αποτελέσματα $\text{NO}_3\text{-N}$ και $\text{NO}_2\text{-N}$	89
5.3.7	Αποτελέσματα TSS.....	89
5.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	91
5.4.1	Σύγκριση pH και DO.....	91
5.4.2	Σύγκριση BOD.....	93
5.4.3	Σύγκριση TOC.....	94
5.4.4	Σύγκριση COD.....	95
5.4.5	Σύγκριση $\text{NH}_3\text{-N}$	96
5.4.6	Σύγκριση TSS.....	97

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο</u>	99
--	-----------

6 <u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</u>	99
--	-----------

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
-----------------------	----

6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	102
--------------------	-----

<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	103
----------------------------------	------------

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103
---------------------------	-----

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	104
----------------------------	-----

<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	106
-------------------------------	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υγρά απόβλητα παράγονται από μια σειρά δραστηριοτήτων του ανθρώπου, όπως είναι οι οικιακές, εμπορικές και βιομηχανικές. Τα υγρά απόβλητα διακρίνονται συνήθως από υψηλό οργανικό φορτίο και δυνητική επικινδυνότητα, επομένως χρήζουν επεξεργασίας για την προστασία τόσο της ανθρώπινης υγιεινής, όσο και του τελικού αποδέκτη δηλαδή του περιβάλλοντος.

Συμπληρωματικά, η ραγδαία συγκέντρωση ανθρώπων στις πόλεις, η ανάπτυξη της βιομηχανίας, και η γενικότερη αίσθηση ευημερίας, οδήγησε τα τελευταία χρόνια σε υπερκατανάλωση νερού, και άρα στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων υγρών αποβλήτων. Είναι λοιπόν εμφανής η επιτακτική ανάγκη για γνώση των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων, της αναμενόμενης αλλαγής που θα επιφέρει η διάθεσή τους στο περιβάλλον και φυσικά των μεθόδων αποτροπής των αλλαγών αυτών. Δηλαδή, γνώση, μελέτη και υλοποίηση μεθόδων επεξεργασίας και απορρύπανσης των υγρών αποβλήτων με σκοπό την ασφαλή απόθεσή τους στο φυσικό περιβάλλον.

Η σπουδαιότητα των όσων αναφέρθησαν, οδήγησαν τον άνθρωπο στην μελέτη και κατασκευή δικτύων αποχέτευσης και εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Οι εγκαταστάσεις αυτές, έχουν σκοπό την συγκέντρωση υγρών αποβλήτων και την επεξεργασία τους. Με τον όρο επεξεργασία εννοούμε την απορρύπανση τους σε σημείο τέτοιο που να είναι δυνατή η διάθεσή τους σε κάποιο σημείο του περιβάλλοντος, χωρίς φυσικά να διαταράσσεται αυτό, τόσο μεσοπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα.

Κατά τη λειτουργία μίας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μπορούν να διακριθούν ορισμένα χαρακτηριστικά στάδια της επεξεργασίας, συνήθως κοινά στις περισσότερες από αυτές.

Τα στάδια αυτά είναι:

- Προεπεξεργασία
- Πρωτοβάθμια επεξεργασία
- Δευτεροβάθμια επεξεργασία
- Τριτοβάθμια επεξεργασία (προαιρετικό)

Κάθε ένα από τα στάδια αυτά μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορες μεθόδους. Μία από τις διαφορές των μεθόδων αυτών είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις, δηλαδή οι απαιτήσεις τους σε ηλεκτρική ενέργεια για την επεξεργασία του ίδιου όγκου λύματος με τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά, για την παραγωγή εκροής της ίδια ποιότητας. Σε μία συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρική ενέργειας χρησιμοποιείται για τη βιολογική επεξεργασία με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος και συγκεκριμένα για τους αεριστήρες της διεργασίας [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 7, 2003].

Ως εναλλακτική μέθοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης μελετήθηκε η μέθοδος των βιοφίλτρων προσκολλημένης βιομάζας. Πρόκειται για συστήματα σταθερού πληρωτικού υλικού, με μεγάλο πορώδες, κατά την λειτουργία των οποίων, το λύμα κυλά πάνω στο πληρωτικό υλικό, στο οποίο αναπτύσσονται μικροοργανισμοί. Η αναπτυσσόμενη βιομάζα χρησιμοποιεί το οργανικό φορτίο του λύματος ως θρεπτικό συστατικό για την βιολογική της λειτουργία. Το αποτέλεσμα είναι η απομάκρυνση των βιοαποδομήσιμων οργανικών ουσιών, των αιωρούμενων στερεών καθώς και θρεπτικών ουσιών αζώτου και η ανάπτυξη της βιομάζας πάνω στην επιφάνεια των φίλτρων με τη μορφή βιολογικής μεμβράνης (ή αλλιώς βιοφίλμ). Το λύμα κατανέμεται ομοιόμορφα στην κορυφή των φίλτρων, ενώ για τις διάφορες βιοχημικές αντιδράσεις χρησιμοποιείται το οξυγόνο του αέρα, ο οποίος παροχετεύεται είτε με φυσική ροή είτε με φυσητήρες. Το πληρωτικό υλικό είναι τοποθετημένο σε κυλινδρικές συνήθως δεξαμενές, υπαίθριες και ανοιχτές από πάνω [Henrich & Marggraff, 2013].

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η παρούσα μελέτη ήταν ενθαρρυντικά όσον αφορά την ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων, τον περιορισμένο χρόνο για την επεξεργασία τους και την περιορισμένη απαίτηση σε ενέργεια. Χαρακτηριστικά επιτεύχθηκαν μειώσεις των φορτίων της τάξης του 73% για το BOD, 78% για το COD και 94% για τα TSS. Τα όσα αναφέρθηκαν εξετάζονται εξονυχιστικά στα παρακάτω κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

2.1 Γενικά

Τα υγρά απόβλητα είναι νερό το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο σε διάφορες εφαρμογές. Πηγές προέλευσης υγρών αποβλήτων είναι κυρίως κατοικίες, ιδρύματα, εμπορικές εγκαταστάσεις, βιομηχανίες και άλλες. Πιθανή εναπόθεση των υγρών αυτών στο οικοσύστημα μπορεί να προκαλέσει επιβλαβείς συνέπειες στον άνθρωπο και κυρίως στο περιβάλλον [Νταρακάς, 2014].

Προκειμένου να εξασφαλισθεί η προστασία του περιβάλλοντος και η υγεία των ανθρώπων, είναι σημαντική η μελέτη και γνώση των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων, της πιθανής επίδρασης τους στο περιβάλλον καθώς και των μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απορρύπανση τους και την ασφαλή διάθεση τους στο περιβάλλον χωρίς αυτό να εγκυμονεί τους κινδύνους που προαναφέρθηκαν.

2.2 Κατηγορίες Υγρών Αποβλήτων

Η κατηγοριοποίηση των υγρών αποβλήτων είναι πολύ σημαντική καθώς, βάσει αυτής, είναι δυνατή η εκτενέστερη μελέτη, γνώση των χαρακτηριστικών τους και αποτελεσματικότερη επεξεργασία τους.

Η **Οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991** η οποία αφορά τη συλλογή την επεξεργασία και την απόρριψη αστικών λυμάτων αλλά και λυμάτων από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς, κατηγοριοποιεί τα υγρά απόβλητα με βάση την προέλευση τους.

Οι κατηγορίες που ορίζονται είναι οι παρακάτω:

1. «Αστικά λύματα»
2. «Οικιακά λύματα»
3. «Βιομηχανικά λύματα»

Ως «Αστικά λύματα» ορίζονται τα οικιακά λύματα ή το μίγμα οικιακών με βιομηχανικά λύματα ή/και όμβρια ύδατα.

Ως «Οικιακά λύματα» ορίζονται τα λύματα από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τον ανθρώπινο μεταβολισμό και τις εμπορικές δραστηριότητες.

Ως «Βιομηχανικά λύματα» ορίζονται οποιαδήποτε λύματα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα, και τα οποία δεν είναι οικιακά λύματα ή όμβρια ύδατα [Οδηγία 91/271/ΕΟΚ 21.05.1991].

Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε δειγματοληψία και επεξεργασία αστικών λυμάτων, δηλαδή κυρίως οικιακά λύματα με πιθανές προσμίξεις βιομηχανικών και όμβριων υδάτων.

2.3 Συστατικά υγρών αποβλήτων

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται τα φυσικά, χημικά και βιολογικά συστατικά των υγρών αποβλήτων ενώ εξετάζονται εις βάθος τα σημαντικότερα από αυτά τα οποία επηρεάζουν σημαντικά την μελέτη σχεδιασμού και την λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

2.3.1 Γενικά συστατικά

Η σύσταση των προς επεξεργασία αποβλήτων αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα για τον σχεδιασμό της μονάδας επεξεργασίας τους. Στον **Πίνακα 2.1** φαίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων κατηγοριοποιημένα ενώ παράλληλα γίνεται σύντομη αναφορά στους αντίστοιχους ορισμούς καθώς και τη χρησιμότητα ή την σημασία των επιμέρους αποτελεσμάτων. Φυσικά η αναφορά αυτή περιλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο μέρος των αναλύσεων και δεν είναι πάντοτε απαραίτητο να εκτελούνται όλες [**Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 2, 2003**].

Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα χαρακτηριστικά αυτά πολλές φορές είναι αλληλοεπηρεαζόμενα, αυτό σημαίνει ότι η τιμή ορισμένων εξ αυτών καθορίζει πολλές φορές τις τιμές ορισμένων άλλων. Όπως για παράδειγμα η τιμή της θερμοκρασίας των υγρών αποβλήτων καθορίζει τη διαλυτότητα τους σε αέρια και κατ' επέκταση την ολική ποσότητα των διαλυμένων αερίων. Πέραν αυτού η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει άμεσα και τη βιολογική δραστηριότητα των αποβλήτων. Με βάση το παράδειγμα αυτό ένα φυσικό χαρακτηριστικό καθορίζει τα χημικά συστατικά καθώς και τα βιολογικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 2.1: Κυριότερα συστατικά προς ανάλυση για την εκτίμηση της ποιότητας των υγρών αποβλήτων.

Ανάλυση	Συντομογραφία/Ορισμός	Χρησιμότητα ή σημασία των αποτελεσμάτων
Φυσικά Χαρακτηριστικά		
Ολικά στερεά	TS	Σημαντικά για την εκτίμηση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης καθώς και για τον προσδιορισμό των κατάλληλων μεθόδων επεξεργασίας.
Ολικά πτητικά στερεά	TVS	
Ολικά σταθερά στερεά	TFS	
Ολικά αιωρούμενα στερεά	TSS	
Πτητικά αιωρούμενα στερεά	VSS	
Σταθερά αιωρούμενα στερεά	FSS	
Ολικά διαλυμένα στερεά	TDS (=TS-TSS)	
Πτητικά διαλυμένα στερεά	VDS	
Ολικά σταθερά διαλυμένα στερεά	FDS	
Καθιζάνοντα στερεά		Υπολογισμός στερεών που θα καθιζάνουν σε ορισμένη χρονική διάρκεια.
Κατανομή μεγέθους σωματιδίων	PSD	Εκτίμηση απόδοσης διεργασιών επεξεργασίας.
Θολότητα	NTU	Εκτίμηση ποιότητας των ήδη επεξεργασμένων αποβλήτων.
Χρώμα		Γενική εικόνα αποβλήτων.
Οσμή	TON	Εκτίμηση οχλήσεων στον περιβάλλοντα χώρο.
Θερμοκρασία	°C	Σημαντική κατά τον σχεδιασμό και την λειτουργία των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας.
Πυκνότητα	ρ	
Αγωγιμότητα	EC	Εκτίμηση της ικανότητας επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών για αρδευτικούς σκοπούς

Ανόργανα χημικά χαρακτηριστικά		
Ελεύθερη αμμωνία	NH_4^+	Χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των θρεπτικών συστατικών και του βαθμού αποικοδόμησης των υγρών αποβλήτων. Οι ενώσεις που δύναται να οξειδωθούν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση του βαθμού οξείδωσης.
Οργανικό άζωτο	OrgN	
Ολικό άζωτο Kjeldahl	TKN (=OrgN + NH_4^+)	
Νιτρώδη	NO_2^-	
Νιτρικά	NO_3^-	
Ολικό άζωτο	TN	
Ανόργανος φώσφορος	Inorg P	
Ολικός φώσφορος	TP	
Οργανικός φώσφορος	Org P	
pH	($=-\log[\text{H}^+]$)	Μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας ενός υγρού.
Αλκαλικότητα	$\Sigma \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$	Μέτρο ρυθμιστικής ικανότητας των αποβλήτων.
Χλωριούχα	Cl^-	Εκτίμηση καταλληλότητας για επαναχρησιμοποίηση με σκοπό την άρδευση.
Θειικά	SO_4^{2-}	Πρόβλεψη πιθανότητας οσμών και σχεδίαση συστήματος επεξεργασίας της λύσης.
Μέταλλα	As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Pb, Mg, Hg, Mo, Ni, Se, Na, Zn	Εκτίμηση καταλληλότητας για επαναχρησιμοποίηση.
Διάφορα αέρια	$\text{O}_2, \text{CO}_2, \text{NH}_3, \text{H}_2\text{S}, \text{CH}_4$	Εκτίμηση παρουσίας αερίων.
Οργανικά χημικά χαρακτηριστικά		
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο του άνθρακα, 5 ημερών	CBOD ₅	Μέτρο απαιτούμενου οξυγόνου για την βιοαποδόμηση ενός αποβλήτου.
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο του άνθρακα, τελικό	UBOD (BOD _u , BOD _L)	Μέτρο απαιτούμενου οξυγόνου για την ολική βιοαποδόμηση του άνθρακα ενός αποβλήτου.
Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο του αζώτου	NOD	Μέτρο απαιτούμενου οξυγόνου για την βιολογική οξείδωση του αζώτου σε νιτρικά.
Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο	COD	Συχνή χρήση του ως υποκατάστατο ανάλυσης BOD.

Ολικός οργανικός άνθρακας	TOC	Συχνή χρήση του ως υποκατάστατο ανάλυσης BOD.
Βιολογικά χαρακτηριστικά		
Κολοβακτηρίδια	MPN (most probable number)	Εκτίμηση ύπαρξης παθογόνων βακτηρίων και αποτελεσματικότητας απολύμανσης.
Ειδικοί μικροοργανισμοί	Πρωτόζωα, Βακτήρια, ιοί κ.α.	Προσδιορισμός παρουσίας μικροοργανισμών συσχετιζόμενων με την λειτουργία της μονάδας και με την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης των εκροών.
Τοξικότητα	Tu _a , TU _c	Μονάδες οξείας και χρόνιας τοξικότητας.

2.3.2 Σημαντικότερα συστατικά των υγρών αποβλήτων

Τα αστικά υγρά απόβλητα περιέχουν κατά κύριο λόγο οργανικές ουσίες όπως υδατάνθρακες, έλαια, πρωτεΐνες, λίπη, φαινόλες και άλλες. Επίσης περιέχουν ανόργανες ουσίες όπως άζωτο, φώσφορο, άλατα και διάφορα στερεά. Τέλος, περιέχουν ουσίες σε κολλοειδή μορφή, μικροοργανισμούς, ιόντα μετάλλων, τοξικές ουσίες, ενώ είναι πιθανόν να περιέχουν και διαλυμένα αέρια όπως αμμωνία, υδρόθειο και άλλα [Νταρακάς, 2014].

Πιο αναλυτικά, τα βασικότερα συστατικά τα οποία περιέχουν συνήθως τα υγρά απόβλητα και είναι αναγκαίο να απομακρυνθούν είναι [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ 2, 2003]:

- Βιοαποδομήσιμα οργανικά: Κυρίως πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, λίπη (δείκτες μέτρησης τους είναι όροι όπως BOD, COD). Πιθανή διάθεση τους στο περιβάλλον χωρίς επεξεργασία μπορεί να προκαλέσει μη

ελεγχόμενη βιοαποδόμηση τους στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την μείωση των φυσικών πηγών οξυγόνου και συνθήκες σήψης.

- Αιωρούμενα στερεά: Πρόκειται για οργανικά ή ανόργανα σωματίδια. Παραδείγματα ανόργανων στερεών είναι η άργιλος, η ιλύς καθώς και άλλα συστατικά του χώματος. Οργανικά στερεά όπως οι ίνες φυτών, βιολογικά στερεά και άλλα βρίσκονται σε μεγάλες συνήθως ποσότητες στα αστικά στερεά απόβλητα

Τα στερεά αυτά αν διατεθούν στο περιβάλλον δύναται να προσφέρουν θέσεις για την προσρόφηση ανεπιθύμητων χημικών και βιολογικών παραγόντων. Επίσης βιολογικώς ενεργά αιωρούμενα στερεά μπορεί να περιέχουν μικροοργανισμούς που προκαλούν ασθένειες ή που παράγουν ανεπιθύμητες ουσίες (πχ φύκη) **[Τσέζος, 2012]**.

- Θρεπτικά συστατικά: Πρόκειται για ουσίες όπως το άζωτο και ο φώσφορος, οι οποίες κατά την συνύπαρξή τους με άνθρακα σε υδάτινο περιβάλλον δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης της χλωρίδας. Σε περίπτωση διάθεσής τους στο περιβάλλον μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα ευτροφισμού, δηλαδή ανεξέλεγκτη ανάπτυξη βλάστησης, η οποία προκαλεί με τη σειρά της έλλειψη οξυγόνου στα επιφανειακά νερά.
- Παθογόνοι οργανισμοί: Είναι μικροοργανισμοί που είναι πιθανό να βρίσκονται στα υγρά απόβλητα, οι οποίοι κατά την είσοδο τους στον ανθρώπινο οργανισμό προκαλούν ασθένειες οι οποίες μπορεί να είναι μεταδοτικές.
- Ρύποι προτεραιότητας: Είναι συστατικά οργανικά ή ανόργανα, για τα οποία έχει αποδειχθεί ή είναι πιθανή (και υπό έρευνα) η ικανότητά τους για καρκινογένεση, τερατογένεση, μεταλλαξιογόνο επίδραση καθώς και οξεία τοξικότητα.
- Βαρέα μέταλλα: Συναντώνται συχνά στα υγρά απόβλητα και προέρχονται κυρίως από τη λειτουργία βιομηχανικών και εμπορικών

κτιρίων. Η απομάκρυνσή τους είναι απαραίτητη στην περίπτωση που τα υγρά απόβλητα προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση.

- Δύσκολα αποδομήσιμα οργανικά: Πρόκειται για οργανικά συστατικά τα οποία δεν αποδομούνται ή αποδομούνται δύσκολα, με βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας και χρήζουν ιδιαίτερη μεταχείριση. Τέτοια συστατικά είναι τα φυτοφάρμακα, οι φαινόλες καθώς και τα απορρυπαντικά.
- Ανόργανα συστατικά: Είναι ανόργανα συστατικά τα οποία συναντώνται διαλυμένα ή βρίσκονται σε διασπορά εντός του υγρού κλάσματος όπως ασβέστιο, νάτριο, άργιλος, κ.α.

Όλες αυτές οι ουσίες τις οποίες που περιέχουν τα αστικά υγρά απόβλητα θεωρούνται ρυπαντές του νερού και κατ' επέκταση του περιβάλλοντος και ζώντων οργανισμών. Επομένως είναι απαραίτητη βάσει της λογικής αλλά και βάσει της νομοθεσίας η απομάκρυνσή τους.

2.3.3 Επεξήγηση και ανάλυση σημαντικότερων δεικτών

Στις προηγούμενες παραγράφους αναφέρθηκαν τα πιθανά συστατικά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα και έγινε αναφορά στα σημαντικότερα εξ αυτών. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να γίνει περαιτέρω εξήγηση και ανάλυση των πιο σημαντικών δεικτών για την ανάλυση των υγρών αποβλήτων.

Με βάση αυτούς του δείκτες επιτυγχάνεται μία πρώτη εκτίμηση της ποιότητας των αποβλήτων και δύναται να γίνει ορθός σχεδιασμός μιας μονάδας επεξεργασίας. Επίσης στην περίπτωση λειτουργίας μιας ήδη υπάρχουσας εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, οι δείκτες αυτοί καθορίζουν την αποδοτικότητα της μονάδας με βάση τη σύγκριση εισροών και εκροών καθώς και την ισχύουσα νομοθεσία. Τέλος σύμφωνα με τους δείκτες αυτούς μπορούν να εκτιμηθούν αναγκαίες αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης μια εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Επιγραμματικά οι δείκτες που θα αναλυθούν είναι:

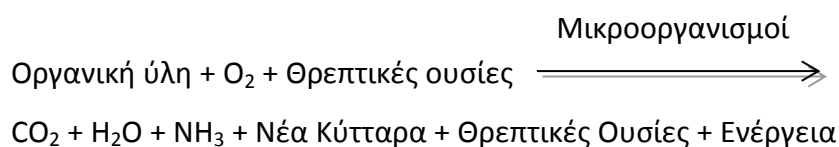
1. BOD και BOD₅
2. COD
3. TOC
4. TSS
5. DO
6. Ολικό άζωτο και αζωτούχες ενώσεις (N, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻)
7. pH

Πιο αναλυτικά:

1. Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand)

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand) είναι το οξυγόνο το οποίο καταναλώνεται κατά τη βιοχημική οξείδωση των συστατικών των υγρών αποβλήτων. Τα προϊόντα της αντίδρασης αυτής είναι CO₂, NH₃, και H₂O.

Παρακάτω εμφανίζεται η συνοπτική αντίδραση βιοχημικής οξείδωσης της οργανικής ύλης:



Η σπουδαιότητα της μέτρησης αυτής εστιάζει στο ότι η τιμή του BOD είναι ανάλογη με την ποσότητα του βιοαποδομήσιμου οργανικού υλικού που είναι διαθέσιμο στο υγρό που εξετάζεται. Ο ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου επηρεάζεται από έναν αριθμό παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, το pH, η παρουσία ορισμένων μικροοργανισμών αλλά και το είδος των οργανικών και ανόργανων συστατικών του υγρού **[Οικονομόπουλος & Οικονομοπούλου, 2005]**.

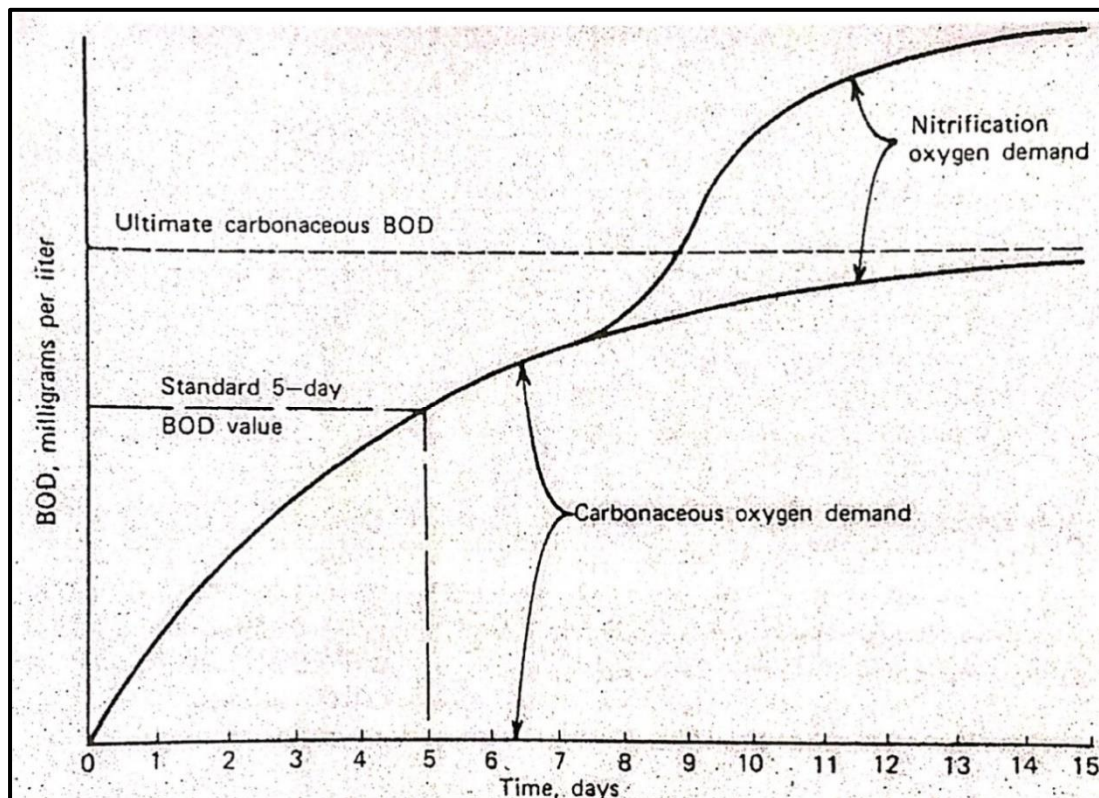
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός του ολικού BOD (BOD_u) από το BOD 5 ημερών (BOD₅). Το ολικό BOD είναι η ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη βιοχημική οξείδωση

των περιεχόμενων οργανικών υλών ενός δείγματος υγρού. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ολοκλήρωση της διεργασίας αυτής χρειάζεται 20 μέρες (στο 95-99% των δειγμάτων). Για τον λόγο αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται το BOD_5 .

Το BOD_5 είναι το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο για την βιοχημική οξείδωση των οργανικών υλών ενός δείγματος υγρού κατά τις 5 πρώτες ημέρες του πειράματος σε σταθερή θερμοκρασία 20°C . Για αστικά υγρά απόβλητα το BOD_5 είναι συνήθως 65-75% του BOD_u [Βασιλάτος, 2010]. Στο **Διάγραμμα 2.2** απεικονίζεται η μεταβολή του BOD_t με βάση τον χρόνο διεξαγωγής της αντίδρασης. Επίσης εμφανίζεται η τυπική διαφορά τιμής του BOD_5 σε σχέση με το BOD_u .

Το BOD_5 μπορεί να μετρηθεί με τρεις μεθόδους. Η βασική μέθοδος μέτρησης είναι η ηλεκτροχημική (με οξυγονόμετρο) ενώ μπορεί επίσης να μετρηθεί μανομετρικά (με μέτρηση απώλειας πίεσης) καθώς και με την ιωδομετρική μέθοδο. Οι μέθοδοι αυτές θα αναλυθούν εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

Διάγραμμα 2.2: Μεταβολή BOD_t συναρτήσει του χρόνου [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 2, 2003].



Τέλος, είναι σημαντικός ο διαχωρισμός του ανθρακογενούς BOD (CBOD) από το νιτρογενές BOD (NBOD). Ουσιαστικά, με τον όρο ανθρακογενές απαιτούμενο οξυγόνο, περιγράφεται η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για να οξειδωθούν βιολογικά οι οργανικές ενώσεις που περιέχονται στο απόβλητο. Από την άλλη, ο όρος νιτρογενές απαιτούμενο οξυγόνο αναφέρεται στο οξυγόνο που απαιτείται για την βιολογική οξείδωση της αμμωνίας, που βρίσκεται στο απόβλητο, νιτρικά ιόντα. Ο διαχωρισμός φαίνεται και στο **Διάγραμμα 2.2**. ενώ μπορεί να παρατηρηθεί πως η μέτρηση του BOD₅ αποτελεί κατά κύριο λόγο μέτρηση μόνο του ανθρακογενούς BOD.

2. Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand)

Η ανάλυση του COD χρησιμοποιείται για την μέτρηση του ισοδύναμου οξυγόνου του οργανικού υλικού των υγρών αποβλήτων που δύναται να οξειδωθεί χημικά, χρησιμοποιώντας διχρωμικό κάλιο σε ένα διάλυμα οξέος.

Η τιμή του COD είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτή του τελικού BOD. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- Στα υγρά απόβλητα υπάρχουν οργανικές ουσίες οι οποίες εμφανίζουν αντίσταση στη βιοχημική οξείδωση παρ' όλ' αυτά οξειδώνονται χημικά.
- Ορισμένες ανόργανες ουσίες οξειδώνονται απ' το διχρωμικό κάλιο και αυξάνουν το εμφανιζόμενο οργανικό φορτίο του δείγματος υγρού.
- Υπάρχει περίπτωση μερικές ουσίες να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς ανάλυσης του BOD.

Εξετάζοντας τη λειτουργικότητα της μέτρησης, εμφανίζεται πιο πρακτική και άμεση συγκριτικά με εκείνη του BOD καθώς ολοκληρώνεται σε περίπου 2,5 ώρες (σύγχρονες μέθοδοι έχουν ελαχιστοποιήσει τον χρόνο αυτό στα 15 λεπτά, για παράδειγμα η μέθοδος PeCOD της MANTECH Canada) σε σύγκριση με τη μέτρηση BOD₅ η οποία απαιτεί αυστηρά 5 ημέρες για την ολοκλήρωση μιας μέτρησης [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 2, 2003].

3. Ολικός οργανικός άνθρακας (Total Organic Carbon)

Εκφράζει την ολική συγκέντρωση των οργανικών ενώσεων άνθρακα σε ένα δείγμα υγρού. Πρόκειται για μία γρήγορη και άμεση μέθοδο προσδιορισμού της οργανικής ύλης και μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

Διαφοροποιείται από τις μετρήσεις BOD₅ και COD στο γεγονός ότι δεν εξαρτάται από το βαθμό οξείδωσης της οργανικής ύλης αφού η οξείδωση της οργανικής ύλης είναι πλήρης. Επίσης στη μέτρηση αυτή δε συνεισφέρουν άλλες μη οργανικές ενώσεις όπως γίνεται στις μετρήσεις BOD και COD. Κατά τη μέτρηση του BOD συνεισφέρει η αμμωνία ενώ στη μέτρηση COD συνεισφέρουν διάφορες ανόργανες οξειδούμενες ενώσεις. Φυσικά αυτό δε σημαίνει πως η μέτρηση του TOC μπορεί να αντικαταστήσει τις προαναφερθείσες μετρήσεις, αφού η κάθε μία έχει αποτελέσματα διαφορετικής σημασίας και ερμηνείας.

Η βασική ιδέα για τον προσδιορισμό του ολικού οργανικού άνθρακα βασίζεται στην πλήρη μετατροπή των μορίων στα οποία περιέχεται σε διοξείδιο του άνθρακα. Κατ' επέκταση ο ποσοτικός προσδιορισμός του παραγόμενου διοξειδίου μπορεί να οδηγήσει σε έμμεσο προσδιορισμό του αρχικού άνθρακα.

Οι σύγχρονες μέθοδοι για τον προσδιορισμό του TOC είναι η μέθοδος καύσης / υπερύθρων (IR) καθώς και η μέθοδος υγρής οξείδωσης. Παρακάτω θα αναλυθούν περεταίρω **[Εργαστήριο διαχείρισης αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ, 2007]**.

4. Ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids)

Αρχικά, για την κατανόηση της έννοιας των αιωρούμενων στερεών θα πρέπει να γίνει αναφορά στο σύνολο των στερεών που μπορεί να περιέχονται σε ένα δείγμα υγρών αποβλήτων.

Εντός ενός δείγματος υγρών αποβλήτων μπορεί να υπάρχουν στερεά σε τρεις μορφές. Η μία είναι να είναι διαλυμένα εντός του υγρού και κατ' επέκταση μη διαχωρίσιμα με διήθηση, επίσης μπορεί να αιωρούνται και να σχηματίζουν μίγμα με το υγρό δείγμα, ενώ τέλος μπορεί να έχουν καθιζάνει

στον πυθμένα του δοχείου ή της δεξαμενής. Με τον όρο ολικά στερεά περιγράφεται το σύνολο των διαλυμένων, των αιωρούμενων αλλά και των καθιζανόντων στερεών **[Οικονομόπουλος & Οικονομοπούλου, 2005]**.

Πιο συγκεκριμένα τα ολικά αιωρούμενα στερεά αποτελούνται από οργανικές και ανόργανες ενώσεις και έχουν μικρό μέγεθος (10^{-3} mm). Ονομάζονται αιωρούμενα καθώς δεν καθιζάνουν με την πάροδο του χρόνου. Χαρακτηριστικό τους είναι πως έχουν τη δυνατότητα να ροφούν στην επιφάνεια τους διαλυτές ενώσεις οργανικές ή ανόργανες.. Υψηλές συγκεντρώσεις προσδίδουν στο υγρό μία χαρακτηριστική θολότητα. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος ποσοτικού προσδιορισμού τους είναι εκείνη της διήθησης και ζύγισης, μπορούν όμως να προσδιοριστούν και έμμεσα μέσω της θολότητας **[Χρυσικού, 2008]**. Οι μέθοδοι θα αναλυθούν εκτενέστερα σε επόμενα κεφάλαια.

5. Διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen)

Πρόκειται για την συγκέντρωση διαλυμένου εντός του υγρού. Είναι σημαντικός παράγοντας κατά τη βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων καθώς είναι απαραίτητο για την αναερόβια ανάπτυξη των μικροοργανισμών και την κατανάλωση της οργανικής ύλης σύμφωνα με την αντίδραση που περιγράφηκε στην αναφορά του BOD.

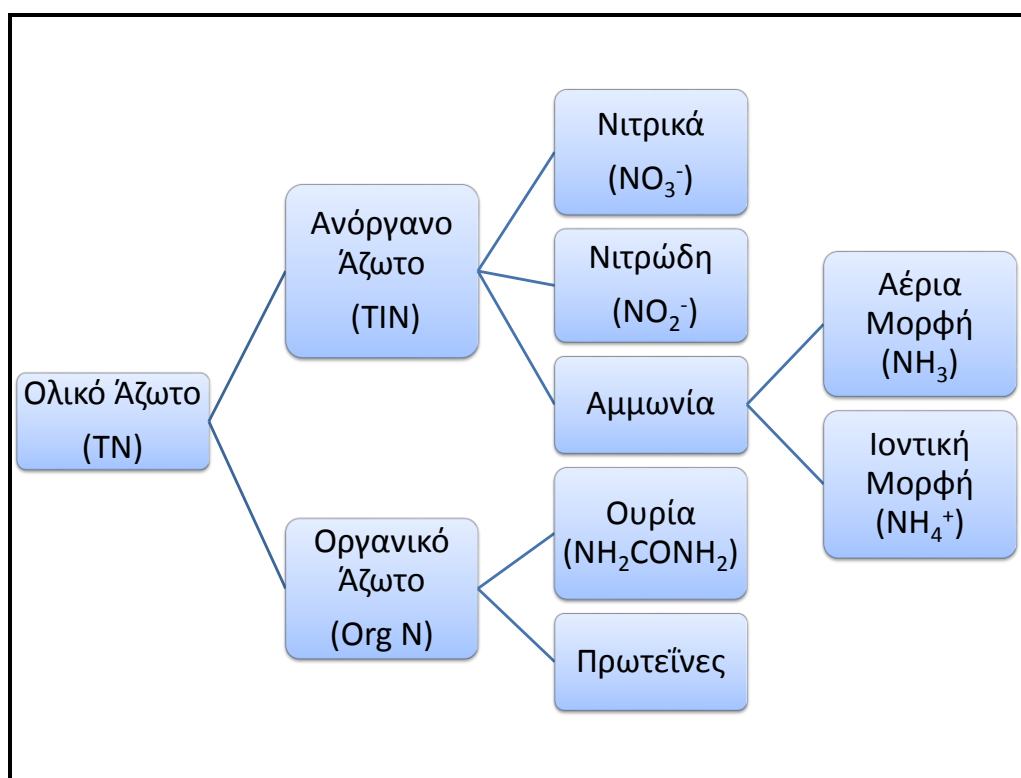
Κάθε υγρό έχει τη δυνατότητα να διατηρεί μία μέγιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Η συγκέντρωση αυτή ονομάζεται συγκέντρωση κορεσμού και εξαρτάται από υγρό αναφοράς, από τη θερμοκρασία και από την παρουσία και την συγκέντρωση άλλων ενώσεων στο διάλυμα ή στον αέρα. Κατά κανόνα, αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσης κορεσμού σε οξυγόνο.

Η μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου συνήθως γίνεται με τη χρήση ηλεκτροχημικών μεθόδων (ηλεκτρόδιο) ενώ σπανίως μπορεί να χρησιμοποιηθεί φασματοφωτόμετρο το οποίο με χρήση αντιδραστηρίων μπορεί να προσδιορίσει το διαλυμένο οξυγόνο ενός δείγματος υγρού **[Βασιλάτος, 2010]**.

6. Ολικό άζωτο και αζωτούχες ενώσεις

Το άζωτο είναι ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά των υγρών αποβλήτων. Για τον πλήρη ποιοτικό προσδιορισμό των αποβλήτων είναι απαραίτητο να υπάρχει γνώση των διαφόρων μορφών στις οποίες μπορεί να συναντηθεί καθώς και ακριβής γνώση των συγκεντρώσεων. Οι μορφές αυτές απεικονίζονται σχηματικά στο **Σχήμα 2.3**. Το ολικό άζωτο (Total Nitrogen) διαχωρίζεται σε ανόργανο (Total Inorganic Nitrogen) το οποίο με τη σειρά του συγκαταλέγει τα νιτρώδη (NO_2^-), τα νιτρικά (NO_3^-) και την αμμωνία. Η αμμωνία μπορεί να εμφανισθεί σε αέρια μορφή (NH_3) ή σε ιοντική μορφή (NH_4^+). Το ολικό άζωτο περιέχει και το οργανικό άζωτο, το οποίο με τη σειρά του περιλαμβάνει την ουρία (NH_2CONH_2) καθώς και άζωτο πρωτεϊνών. Τέλος το σύνολο του αμμωνιακού και του οργανικού αζώτου καθιστούν το άζωτο Kjeldahl (TKN).

Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων μορφών αζώτου



Η μορφή στην οποία εμφανίζεται το άζωτο στα υγρά απόβλητα, δηλαδή οι συγκεντρώσεις της αμμωνίας, και των αμμωνιακών ιόντων εξαρτάται άμεσα από το pH. Χαρακτηριστικά, σε υγρά απόβλητα χαμηλού δείκτη pH υπερσχύει η εμφάνιση αζώτου υπό την μορφή αμμωνιακών ιόντων (NH_4^+) ενώ σε αντίθετη περίπτωση υψηλού pH το άζωτο εμφανίζεται κυρίως υπό την μορφή αμμωνίας (NH_3). Όσον αφορά τα νιτρώδη ιόντα (NO_2^-), έχουν υψηλή τοξικότητα αλλά σπανίως διακρίνονται υψηλές συγκεντρώσεις τους στα αστικά υγρά απόβλητα. Επίσης έχουν την τάση να οξειδώνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα σε νιτρικά ιόντα (NO_3^-).

Τέλος είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί πως η απομάκρυνση του αζώτου κρίνεται απαραίτητη κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων αφού αποτελεί θρεπτικό συστατικό και υπάρχει σοβαρός κίνδυνος ευτροφισμού κατά την πιθανή διάθεση του στο περιβάλλον [Νταρακάς, 2014].

7. Μέτρο οξύτητας - βασικότητας (pH)

Η οξύτητα ή βασικότητα δείγματος υγρών αποβλήτων (οξύ ή βασικό αντίστοιχα) είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τον έλεγχο της ποιότητας τους, της απόδοσης μιας εγκατάστασης επεξεργασίας καθώς και της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των εκροών της. Κατά τη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων βάσει του δείκτη αυτού μπορεί να εκτιμηθεί αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών αποδόμησης της οργανικής ύλης.

Ουσιαστικά, το pH, είναι ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου. Δηλαδή:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Η μέτρηση του pH είναι πολύ συνηθισμένη και σύντομη χρονικά. Βεβαίως υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εκτίμησης του, όμως μία απ' τις πιο ακριβείς και άμεσες είναι η ηλεκτροχημική μέτρηση του με χρήση ηλεκτρονικής συσκευής μέτρησης οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω [Metcalf & Eddy Inc., Κεφ. 2, 2003].

2.4 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι σαφές πως τα αστικά υγρά απόβλητα χρήζουν αποτελεσματικής επεξεργασίας έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η υγιεινή και η ασφάλεια των ανθρώπων και κυρίως, να εξασφαλίζεται η ποιότητα και η αειφορία του περιβάλλοντος συμπεριλαμβανομένων της χλωρίδας και της πανίδας.

Για να επιτευχθεί η επεξεργασία και ασφαλής διάθεση των υγρών αποβλήτων θα πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης τους. Το σύστημα αυτό είναι απαραίτητο να εγγυάται την πλήρη συλλογή τους, την ορθή επεξεργασία τους καθώς και την μη ρυπογόνο διάθεσή τους.

2.4.1 Βασικές γνώσεις για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Στις περισσότερες των περιπτώσεων το κύριο ρυπαντικό φορτίο των υγρών αποβλήτων είναι το οργανικό. Οι κύριες μέθοδοι απομάκρυνσης είναι η χημική ή/και η βιολογική οξείδωσή του. Στις περιπτώσεις που ο λόγος COD/BOD είναι μεγάλος (>2.5) τότε η επεξεργασία με χημική οξείδωση κρίνεται απαραίτητη [Βλυσίδης, 2006]. Λόγω του υψηλού κόστους της χημικής οξείδωσης, χρησιμοποιείται μόνο στις περιπτώσεις που είναι απολύτως απαραίτητη και εφαρμόζεται μόνο όσο απαιτείται ενώ στη συνέχεια ακολουθεί βιολογική οξείδωση. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων πριν από τη διάθεσή τους αμβλύνει τις δυσμενείς επιπτώσεις στους αποδέκτες, διαφυλάσσει την οικολογική ισορροπία και προστατεύει το περιβάλλον [Νταρακάς, 2014].

Σε πρώτο στάδιο, είναι απαραίτητη η μελέτη των αιωρούμενων στερεών και ιδιαιτέρως των αδρομερών και ανόργανων αιωρούμενων στερεών. Εστιάζοντας στα κολλοειδή στερεά είναι γνωστό πως εμφανίζουν στην επιφάνεια τους ηλεκτροστατικά φορτία τα οποία παρεμποδίζουν σημαντικά τους μικροοργανισμούς στο να αναπτυχθούν, ενώ παράλληλα είναι απαραίτητη η διαλυτοποίηση προκειμένου να γίνει αφομοίωσή τους. Το αποτέλεσμα είναι να υποβαθμίζεται και να υπολειπεται η λειτουργία της βιολογικής οξείδωσης. Η

τεχνική απομάκρυνσης των κολλοειδών διασπορών αποτελεί ίσως τη δυσκολότερη φάση επεξεργασίας ενός υγρού αποβλήτου. Συνήθως τα οργανικά αιωρούμενα στερεά βρίσκονται σε κολλοειδείς διασπορές **[Metcalf & Eddy Inc., Κεφ. 8, 2003]**.

Τα διαλυμένα ανόργανα συστατικά των υγρών αποβλήτων εμφανίζονται ως ανόργανες ενώσεις ιοντικής μορφής οι οποίες χαρακτηρίζουν και την ιοντική ισχύ του αποβλήτου ή αλλιώς την ηλεκτροαγωγιμότητα. Κατά τις διεργασίες βιολογικής οξείδωσης η υψηλή ιοντική ισχύς εμποδίζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών **[Metcalf & Eddy Inc., Κεφ. 8, 2003]**. Στα ήδη επεξεργασμένα απόβλητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, σε υψηλές τιμές της, περιορίζει τις δυνατότητες απόρριψης σε επιφάνειες εδαφών, σε γλυκά επιφανειακά νερά καθώς και τη δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης. Σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητη η απομάκρυνση των ιόντων ενός αποβλήτου, οι μέθοδοι για να επιτευχθεί είναι η διήθηση μέσω μεμβρανών καθώς και η ιοντοεναλλαγή **[Metcalf & Eddy Inc., Κεφ. 8, 2003]**.

Το Οργανικό άζωτο και φώσφορος, είναι δύο ουσίες οι οποίες δύναται να δημιουργήσουν φαινόμενα ευτροφισμού σε υδάτινους φορείς, αποδέκτες υγρών αποβλήτων. Για την απομάκρυνση του αζώτου χρησιμοποιείται η μέθοδος της βιολογικής νιτροποίησης και απονιτροποίησης του υγρού αποβλήτου. Για να υπάρχει η δυνατότητα απονιτροποίησης είναι απαραίτητο να υπάρχουν κατάλληλες συγκεντρώσεις βιοαποδομήσιμου οργανικού άνθρακα στο απόβλητο. Όσον αφορά την απομάκρυνση του φωσφόρου, βασίζεται στη βιολογική ενσωμάτωση του στη βιομάζα που αναπτύσσεται κατά τη βιολογική οξείδωση του BOD αλλά και στη χημική κατακρήμνιση του με τη χρήση ασβεστίου ή τρισθενούς σιδήρου. Επίσης ένα μέρος του οργανικού αζώτου ενσωματώνεται στη βιομάζα που παράγεται κατά τη βιολογική οξείδωση. Τέλος, μία εναλλακτική μέθοδος απορρύπανσης αζώτου και φωσφόρου είναι εκείνη της χρήσης υδροπονικών καλλιεργειών **[Noyes, 1991]**.

Στις περιπτώσεις όπου παρατηρείται σημαντική παρουσία τοξικών οργανικών ενώσεων όπως φαινολικών και οργανοχλωριωμένων, είναι ευκατρία η απομάκρυνση τους ή η διάσπαση τους με μεθόδους χημικής ή ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Αντίθετα, σε περιπτώσεις χαμηλής συγκέντρωσης τέτοιων οργανικών τοξικών

ουσιών δύναται να διασπασθούν και με μεθόδους βιολογικής οξείδωσης. Βαρέα μέταλλα όπως χαλκός, ψευδάργυρος, μόλυβδος, χρώμιο, κάδμιο, υδράργυρος, νικέλιο και κασσίτερος είναι πολύ σημαντικό να απομακρυνθούν από τα υγρά απόβλητα καθώς αποτελούν τοξικό παράγοντα για την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο περιβάλλον, ενώ παράλληλα, χαρακτηρίζονται από μεγάλη επικινδυνότητα για τον άνθρωπο. Οι μέθοδοι για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων από τα υγρά απόβλητα είναι εκείνες της χημικής κατακρήμνισης με οξείδωση σε αλκαλικές συνθήκες, εναλλακτικά μπορούν να ενσωματωθούν στη βιομάζα που παράγεται κατά την επεξεργασία των αποβλήτων **[WPCF, 1977]**.

Μία εξίσου σημαντική και απαραίτητη λειτουργία είναι εκείνη της ρύθμισης του pH, μπορεί να επιτευχθεί με τεχνικές εξουδετέρωσης του αποβλήτου. Συνήθως η ρύθμιση αυτή συμβαίνει είτε πριν το στάδιο της διεργασίας βιολογικής οξείδωσης (πιθανότατα παράλληλα με τη διεργασία κροκίδωσης των κολλοειδών) είτε στο τελικό στάδιο πριν τη διάθεση του επεξεργασμένου αποβλήτου.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το επεξεργασμένο απόβλητο, στο τελικό στάδιο πριν τη διάθεση του μπορεί να έχει κάποιο χρώμα ή χαρακτηριστική οσμή. Τα δύο αυτά στοιχεία οφείλονται είτε στη φύση του αποβλήτου και κατ' επέκταση σε υπολειμματικές αρχικές οργανικές ή ανόργανες ενώσεις που περιείχε το απόβλητο, είτε σε δευτερογενώς παραγόμενες ενώσεις κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του αποβλήτου. Σε περιπτώσεις όπου η απομάκρυνσή τους κρίνεται απαραίτητη εφαρμόζονται μέθοδοι όπως οξείδωση ή προσρόφηση σε προσροφητικά μέσα όπως είναι ο ενεργός άνθρακας.

Τέλος, ένα απ' τα πιο σημαντικά στάδια είναι η απολύμανση του αποβλήτου μετά το πέρας όλων των διεργασιών επεξεργασίας και πριν τη τελική του διάθεση. Το στάδιο αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς εξουδετερώνονται τυχόν υπολειμματικοί παθογόνοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι είναι επικίνδυνοι για τον άνθρωπο καθώς για τη πανίδα του αποδέκτη. Στις περισσότερες των περιπτώσεων επιτυγχάνεται με χρήση υποχλωριώδους άλατος νατρίου ή ασβεστίου για λόγους αποτελεσματικότητας και βιωσιμότητας **[Βλυσίδης, 2006]**.

2.4.2 Συλλογή υγρών αποβλήτων

Ξεκινώντας από τη συλλογή, τα υγρά απόβλητα των πόλεων και των οικισμών συλλέγονται μέσω του συστήματος αποχέτευσης ή αποθηκεύονται σε υπόγειες δεξαμενές μέχρις ότου να παραληφθούν από βυτιοφόρα οχήματα. Τα συστήματα αποχέτευσης, πέραν των οικιακών λυμάτων, πολλές φορές συλλέγουν και τα όμβρια ύδατα των πόλεων. Στην περίπτωση συλλογής όμβριων υδάτων το σύστημα ονομάζεται παντορροϊκό, στην περίπτωση πλήρους απουσίας όμβριων υδάτων ονομάζεται χωριστικό, ενώ στην περίπτωση που το σύστημα περιλαμβάνει σημεία στα οποία δέχεται όμβρια ύδατα και άλλα σημεία στα οποία δεν δέχεται ονομάζεται μερικά χωριστικό. Συμπληρωματικά υπάρχει η πιθανότητα το σύστημα να δέχεται εισροές επιφανειακών ή υπογείων υδάτων ενώ σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να δέχεται βιομηχανικά απόβλητα με απαραίτητη προϋπόθεση την προεπεξεργασία τους προτού εισχωρήσουν στο δίκτυο.

Ακόμη και σήμερα, ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού διαμένει σε κατοικίες, οι οποίες δεν είναι συνδεδεμένες σε κάποιο σύστημα αποχέτευσης υγρών αποβλήτων. Στην περίπτωση αυτή, τα λύματα αποθηκεύονται σε δεξαμενές, τους λεγόμενους σηπτικούς βόθρους. Πρόκειται για στεγανές δεξαμενές όπου τα λύματα οδηγούνται για καθίζηση αλλά και κατακράτηση των αιωρούμενων στερεών. Επίσης, εντός των δεξαμενών λόγω της βιολογικής διεργασίας των μικροοργανισμών, παρατηρείται μείωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Τα λύματα αυτά συλλέγονται με τη βοήθεια βυτιοφόρων οχημάτων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα βοθρολύματα που προέρχονται από σηπτικούς βόθρους έχουν διαφορετική σύσταση από τα φρέσκα αστικά λύματα και κατ'επέκταση είναι απαραίτητο να διαφοροποιείται και η μέθοδος επεξεργασίας τους στην περίπτωση αποκλειστικής μεμονωμένης διαχείρισης τους.

Στο τέλος κάθε συστήματος συλλογής υγρών αποβλήτων, τα λύματα οδηγούνται προς μία Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων. Βάσει της συλλογής, η εγκατάσταση μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε μέσω ενός κεντρικού αποχετευτικού αγωγού, είτε μέσω εναπόθεσης των συλλεγμένων βοθρολυμάτων από τα βυτιοφόρα συλλογής.

2.4.3 Βασικά στάδια εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων

Η γνώση της ανάγκης για επεξεργασία των υγρών αποβλήτων οδήγησε σε μελέτες για τον σχεδιασμό εγκαταστάσεων κατάλληλες για κάθε τύπο αποβλήτου, χαμηλού κόστους κατασκευής και λειτουργίας καθώς και υψηλής απόδοσης με όσο το δυνατόν λιγότερη χρήση χημικών μέσων. Με το πέρασμα των χρόνων έχουν καθιερωθεί ορισμένα βασικά στάδια επεξεργασίας τα οποία είναι:

1. Προεπεξεργασία
2. Πρωτογενής επεξεργασία
3. Δευτερογενής επεξεργασία
4. Τριτογενής επεξεργασία

Παρακάτω επεξηγούνται τα βασικά αυτά στάδια και αναφέρεται ο σκοπός τους, οι διεργασίες που περιλαμβάνουν καθώς και πιθανά παραπροϊόντα που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία.

1. Προεπεξεργασία:

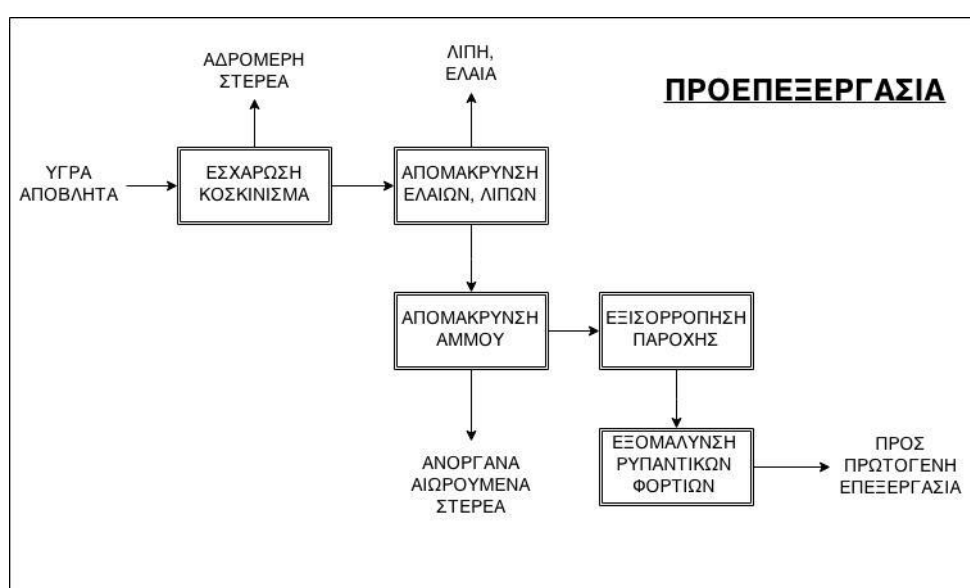
Σκοπός της προεπεξεργασίας είναι η προετοιμασία του αποβλήτου για τις περαιτέρω επεξεργασίες. Στοχεύει κυρίως στην υδραυλική εξομάλυνση των διακυμάνσεων της παροχής του όγκου των υγρών αποβλήτων, στην εξομάλυνση της παροχής ρυπαντικών φορτίων αλλά και την απομάκρυνση των μεγάλων στερεών αντικειμένων και της άμμου ή του χώματος.

Πιο συγκεκριμένα κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας περιλαμβάνονται συνήθως οι παρακάτω διεργασίες των οποίων το διάγραμμα ροής εμφανίζεται στο **Σχήμα 2.4:**

- Απομάκρυνση αδρομερών
- Απομάκρυνση ελαιών και λιπών
- Απομάκρυνση άμμου
- Εξισορρόπηση παροχής
- Εξισορρόπηση ρυπαντικού φορτίου

Το στάδιο της προεπεξεργασίας δημιουργεί παραπροϊόντα. Τα παραπροϊόντα αυτά είναι κυρίως αδρομερή στερεά τα οποία συνεχίζουν προς το στάδιο επεξεργασίας των στερεών, λίπη και έλαια τα οποία ανακυκλώνονται, ή στην περίπτωση μη δυνατότητας ανακύκλωσης καίγονται σε ειδικούς κλίβανους. Τέλος τα ανόργανα στερεά μπορούν να διατεθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής [Metcalf & Eddy Inc., Κεφ. 5, 2003]. Το διάγραμμα ροής των διεργασιών που αναφέρθηκαν εμφανίζεται στο **Σχήμα 2.4** [Βλυσίδης, 2006].

Σχήμα 2.4: Διάγραμμα ροής διεργασιών προεπεξεργασίας



2. Πρωτογενής επεξεργασία:

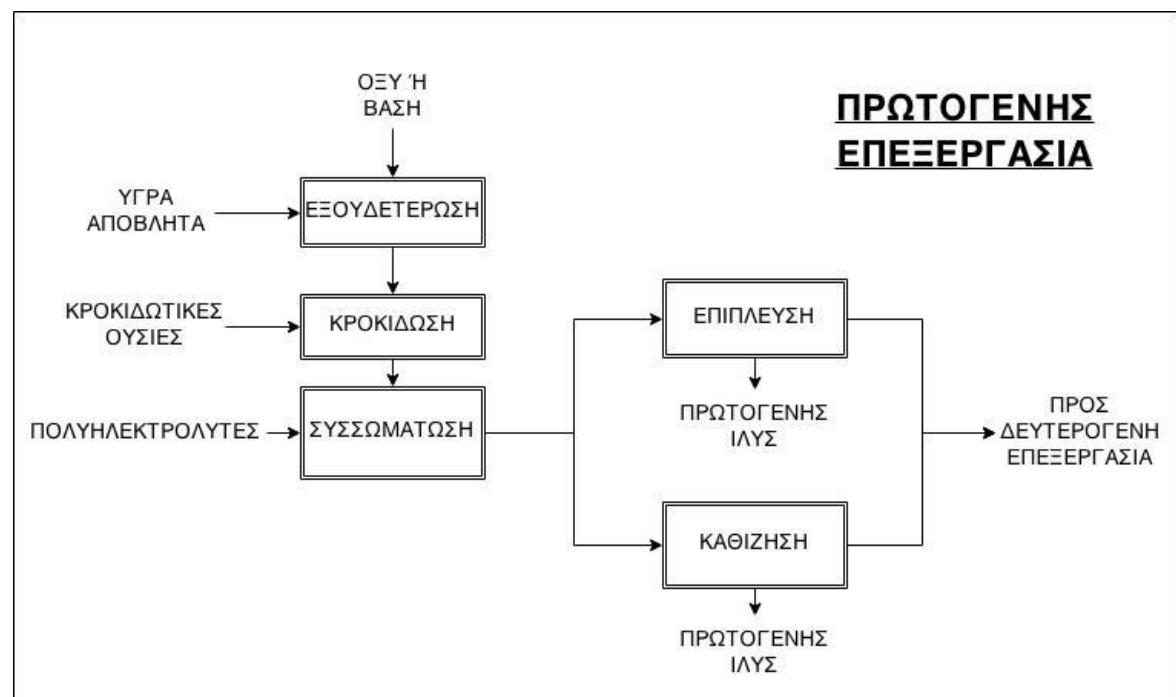
Ακολουθεί την προεπεξεργασία και έχει ως εισροή τα μερικώς επεξεργασμένα απόβλητα της εκροής αυτής. Σκοπός της πρωτογενούς επεξεργασίας είναι κυρίως η απομάκρυνση των κολλοειδών. Ακόμη, τα υγρά απόβλητα εξουδετερώνονται, ενώ παράλληλα με την απομάκρυνση των κολλοειδών επιτυγχάνεται και απομάκρυνση μέρους του BOD καθώς και μέρους των θρεπτικών συστατικών αζώτου και φωσφόρου.

Πιο συγκεκριμένα κατά το στάδιο της πρωτογενούς επεξεργασίας περιλαμβάνονται συνήθως οι παρακάτω διεργασίες των οποίων το διάγραμμα ροής εμφανίζεται στο **Σχήμα 2.5**:

- Εξουδετέρωση αποβλήτων
- Κροκίδωση
- Συσσωμάτωση κροκιδωμένων κολλοειδών
- Απομάκρυνση κροκιδωμάτων

Ως παραπροϊόν λαμβάνεται η πρωτογενής ιλύς για την επεξεργασία της οποίας είναι απαραίτητη συνήθως η αύξηση της συγκέντρωσής της σε αιωρούμενα στερεά μέσω πάχυνσης και η σταθεροποίηση της. Τέλος, είναι δυνατή η αξιοποίηση της για την ανάκτηση ενέργειας με διεργασίας αερόβιας ή αναερόβιας χώνευσης (παραγωγή κόμποστ, βιοαερίου) και να διατεθεί σε χώρους υγειονομικής ταφής με απαραίτητη προϋπόθεση την απουσία τοξικών ουσιών [WPCF, 1977], [Jorgensen et. al., 1989].

Σχήμα 2.5: Διάγραμμα ροής διεργασιών πρωτογενούς επεξεργασίας

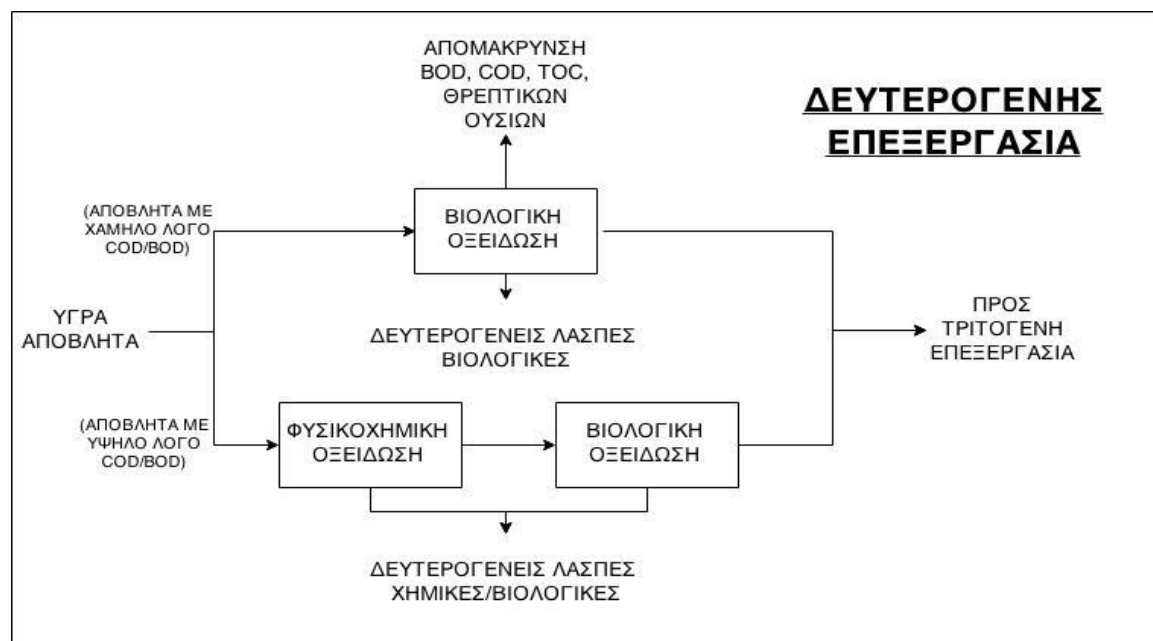


3. Δευτερογενής επεξεργασία:

Πρόκειται για την ουσιαστική επεξεργασία των αποβλήτων και έχει ως σκοπό την οξείδωση του, την σταθεροποίηση του καθώς και την απομάκρυνση του μεγαλύτερου μέρους του BOD, του COD, του TOC καθώς και των θρεπτικών ουσιών αζώτου και φωσφόρου.

Οι διαδικασίες οξείδωσης των αποβλήτων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στο **Σχήμα 2.6**. Στην περίπτωση των αστικών υγρών αποβλήτων χωρίς σημαντικές προσμίξεις βιομηχανικών αποβλήτων, οι συγκεντρώσεις των τοξικών ουσιών παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα όπως επίσης και ο λόγος COD/BOD με αποτέλεσμα η επεξεργασία τους να ικανοποιείται από συστήματα βιολογικής οξείδωσης [Metcalf & Eddy Inc., Κεφ. 7, 2003].

Σχήμα 2.6: Χημική και βιολογική οξείδωση υγρών αποβλήτων

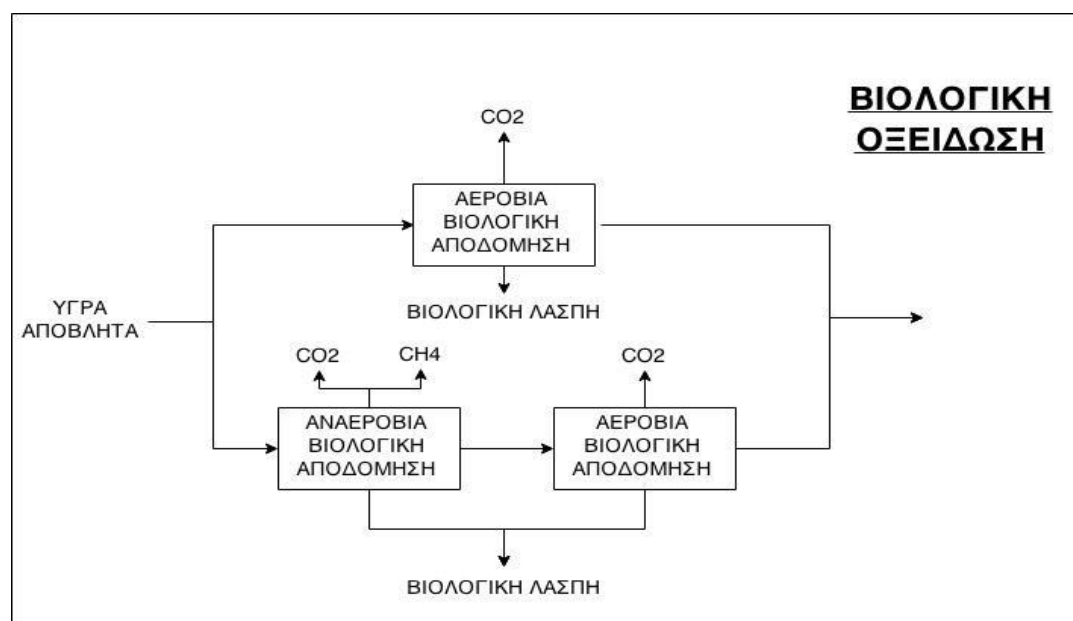


Πιο αναλυτικά η χημική οξείδωση των αποβλήτων στηρίζεται στην παραγωγή ριζών υδροξυλίου (OH^\cdot) και επιτυγχάνεται με τις εξής τεχνικές:

- Φωτοκαταλυτική οξείδωση
- Ηλεκτρολυτική οξείδωση
- Οξείδωση με αντιδράσεις Fenton
- Οξείδωση με υπερήχους
- Οξείδωση με UV σε συνδυασμό με H_2O_2 ή O_3

Στο στάδιο της βιολογικής οξείδωσης, η βασική ιδέα είναι η κατανάλωση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου από βακτήρια και κατ' επέκταση η χρήση του σαν θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξή τους. Η βιολογική οξείδωση μπορεί να υλοποιηθεί σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες. Στο **Σχήμα 2.7** παρουσιάζονται και οι δύο περιπτώσεις, ενώ η χρήση τους εξαρτάται από την ποιότητα των εισρεόντων υγρών αποβλήτων.

Σχήμα 2.7: Βιολογική οξείδωση υγρών αποβλήτων



Πιο αναλυτικά, κατά την αερόβια βιολογική οξείδωση, η ύπαρξη οξυγόνου ευνοεί τα αερόβια βακτήρια και την αποδόμηση του BOD. Το αποτέλεσμα της αερόβιας βιολογικής αποδόμησης είναι η δευτερογενής βιολογική λάσπη η οποία εμπεριέχει πολύ μεγάλο ποσοστό του αρχικού BOD (συνήθως στη μέθοδο της ενεργούς ιλύος 60%).

Οι τεχνικές αερόβιας βιολογικής οξείδωσης είναι:

- Ενεργός ιλύς
- Βιόφιλτρα
- Βιοδίσκοι

Κατά την αναερόβια βιολογική αποδόμηση, οι συνθήκες έλλειψης οξυγόνου οδηγούν τους μικροοργανισμούς στην κατανάλωση μεγάλου μέρους του υποστρώματος των θρεπτικών για τις ενεργειακές ανάγκες τους, προκειμένου να αποικοδομήσουν το BOD. Οι τεχνικές αναερόβιας βιολογικής αποδόμησης είναι:

- Συστήματα ενεργού ιλύος πλήρους αναμίξεως
- Αναερόβια βιόφιλτρα
- Αναερόβιοι αντιδραστήρες ανοδικής ροής UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Ως παραπροϊόν της αναερόβιας αποδόμησης εμφανίζεται το παραγόμενο βιοαέριο το οποίο δύναται να αποτελείται και έως 75% από CH_4 . Βεβαίως το βιοαέριο χρησιμοποιώντας συστήματα συλλογής και επεξεργασίας του μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Θεωρητικά, μελετώντας τις δυο μεθόδους, η αναερόβια επεξεργασία εμφανίζεται οικονομικά βέλτιστη και επομένως πιο αποδοτική με κριτήρια κόστους. Στην πράξη όμως οι αναερόβιες συνθήκες σε συνδυασμό με πιθανώς φτωχά ενεργειακά υποστρώματα καταλήγουν σε καταστάσεις έντονου ανταγωνισμού μεταξύ των βακτηριών. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα η όλη διαδικασία να καθίσταται ασταθής και δύσκολα ελεγχόμενη.

Αντιθέτως η αερόβια βιολογική οξείδωση εμφανίζει χαρακτηριστικά σταθερότητας, ικανότητας ελέγχου και ρύθμισης ανάλογα με τις απαιτήσεις της επεξεργασίας. Ακόμη, τα ποσοστά απομάκρυνσης BOD με χρήση παρατεταμένου αερισμού δύναται να αγγίξουν το 97% σε αντίθεση με τις αναερόβιες διεργασίες οι οποίες δε ξεπερνούν το 80%. Επίσης, παράλληλα με τις αερόβιες διεργασίες, δύναται να λάβουν χώρα αναερόβιες διεργασίες απομάκρυνσης του οργανικού αζώτου (νιτροποίηση-απονιτροποίηση), καθώς και διεργασίες απομάκρυνσης ενώσεων φωσφόρου ενσωματώνοντας τον στην παραγόμενη βιομάζα. Για τον λόγο

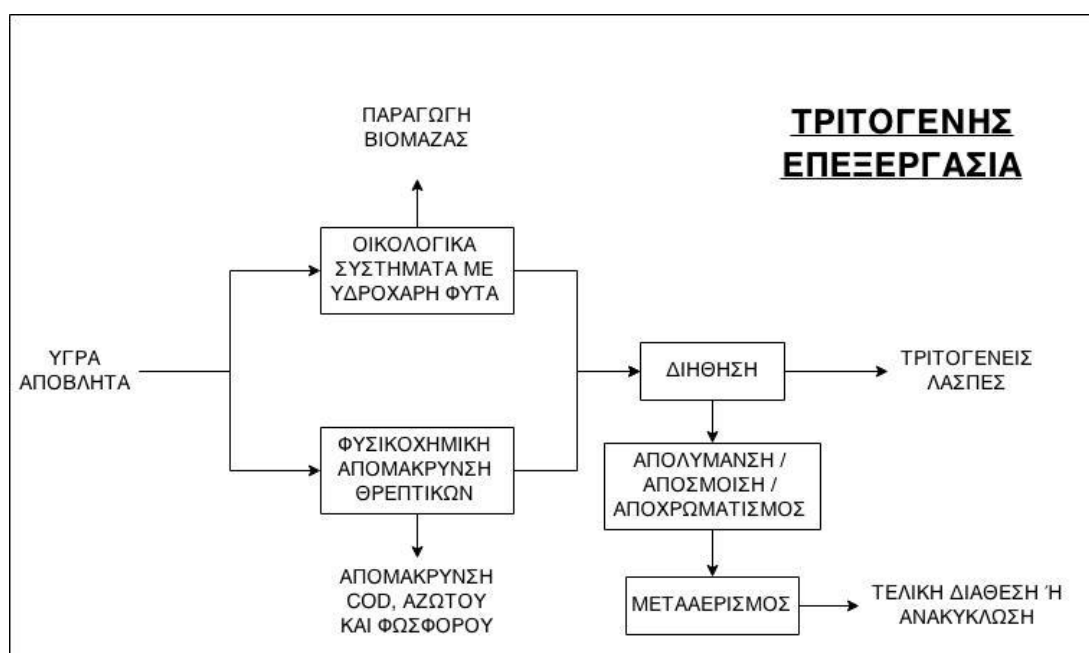
αυτό εφαρμόζεται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στη φάση της δευτερογενούς επεξεργασίας των αστικών υγρών αποβλήτων και κυρίως με χρήση της τεχνικής της ενεργούς ιλύος.

Τέλος, πέρα από την εκροή των δευτερογενώς επεξεργασμένων αποβλήτων συλλέγεται και η βιολογική δευτερογενής λάσπη. Η λάσπη αυτή, υπόκειται στη διαδικασία της πάχυνσης και κατευθύνεται σε μονάδες αερόβιας ή αναερόβιας σταθεροποίησης (με ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου). Στη συνέχεια, αφυδατώνεται και τελικός αποδέκτης είναι μονάδες κομποστοποίησης ή χώροι υγειονομική ταφής αστικών απορριμμάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις η πρωτογενώς παραγόμενη λάσπη επεξεργάζεται στις ίδιες μονάδες με τη δευτερογενή [WPCF, 1977], [Noyes, 1991], [Metcalf & Eddy Inc., 2003].

4. Τριτογενής επεξεργασία:

Το τελικό στάδιο μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, συνήθως είναι η τριτογενής επεξεργασία. Σκοπός της επεξεργασίας αυτής είναι η τελική επεξεργασία του αποβλήτου, έτσι ώστε να είναι ασφαλής η διάθεση του στο περιβάλλον. Οι διεργασίες που ακολουθούνται εμφανίζονται στο **Σχήμα 2.8**.

Σχήμα 2.8: Τριτογενής επεξεργασία υγρών αποβλήτων



Τα αποτελέσματα στα οποία στοχεύει η τριτογενής επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, καθώς και οι διεργασίες με τις οποίες επιτυγχάνονται αυτά συνοψίζονται παρακάτω:

- Απομάκρυνση υπολειμματικών θρεπτικών ουσιών
- Διήθηση των αιωρούμενων στερεών
- Απολύμανση
- Απομάκρυνση ιόντων
- Απόσπηση και αποχρωματισμός
- Μετααερισμός

Η τριτογενής επεξεργασία παράγει και ορισμένα παραπροϊόντα, κυρίως ανόργανες λάσπες από τις διεργασίες της διήθησης οι οποίες (στην περίπτωση απουσίας βαρέων μετάλλων) μπορούν να διατεθούν σε χώρους απόθεσης αστικών στερεών αποβλήτων. Επίσης στην σπανιότερη περίπτωση εφαρμογής φυτοεξυγίανσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η παραγωγή βιομάζας η οποία κατ' επέκταση μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [Jorgensen et al., 1989], [Noyes, 1991].

2.5 Απαιτήσεις ενέργειας

Η λειτουργία των συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με διατάξεις και διεργασίες ευρείας αποδοχής και αποδοτικότητας (όπως συστήματα ενεργούς ιλύος) εμφανίζει επιθυμητά αποτελέσματα ως προς την ευκολία σχεδιασμού, την γνώση των παραμέτρων λειτουργίας αλλά και την σταθερή και νομοθετικά αποδεκτή ποιότητα των εκροών. Η χρήση χημικών ουσιών είναι περιορισμένη και στη πλειοψηφία των περιπτώσεων επιλέγονται διεργασίες χαμηλού κόστους κατασκευής υψηλής αποδοτικότητας. Τέλος συνδυάζοντας την πολυετή εμπειρία των ανθρώπων πάνω στα συστήματα αυτά έχει οδηγήσει στην χρήση τους στην πλειοψηφία των ήδη υπαρχόντων εγκαταστάσεων, αλλά και στην τοποθέτηση τους στις υπό κατασκευή εγκαταστάσεις.

Φυσικά, όσα προαναφέρθηκαν είναι μόνον πλεονεκτήματα για την χρήση των μεθόδων ενεργού ιλύος. Μία πολύ σημαντική μεταβλητή που συγκαταλέγεται σε συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι και εκείνη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας επιφέρει υψηλό κόστος λειτουργίας της εγκατάστασης, αλλά και το πιο σημαντικό, κρίνει την εγκατάσταση λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον όταν η ενέργεια δεν προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή από ανακτώμενη ενέργεια από τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

2.5.1 Κατανάλωση ενέργειας σε τυπικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ενεργού ιλύος

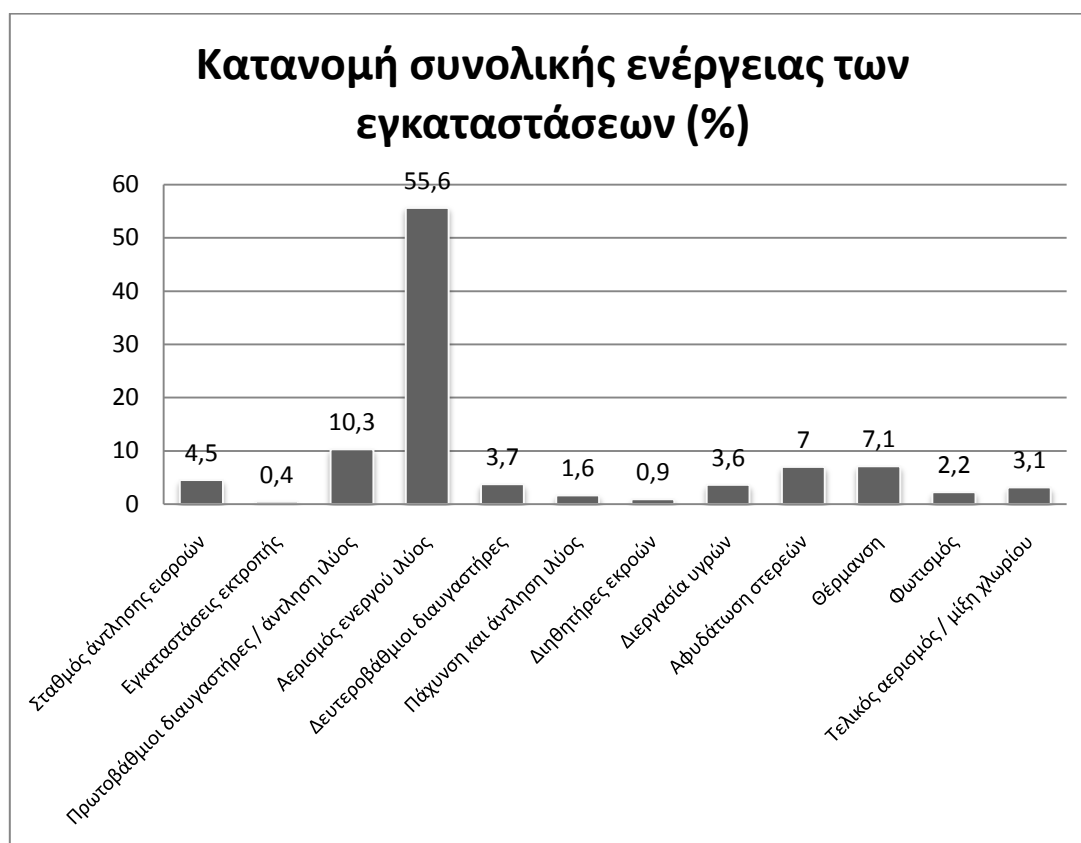
Οι απαιτήσεις των εγκαταστάσεων σε ηλεκτρική ενέργεια ποικίλλουν κατά τη διάρκεια της ημέρας και εμφανίζουν άμεση συσχέτιση με το φορτίο των υγρών αποβλήτων. Η μέγιστη ενεργειακή απαίτηση εμφανίζεται κατά τις μεσημβρινές ώρες και συμβαδίζει με τις μέγιστες οικιακές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταβολή αυτή της ωριαίας παροχής φορτίου λυμάτων οδήγησε ορισμένες εγκαταστάσεις στη χρήση προσαρμοσμένων συστημάτων ανάλογα με το εκάστοτε φορτίο. Βέβαια υπάρχουν ακόμη εγκαταστάσεις οι οποίες λειτουργούν σε μόνιμη

βάση σε πλήρη λειτουργία (αεριστήρες κ.ά.) ανεξαρτήτως από την παροχή **[Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 15, 2003]**.

Από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε συμβατικές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ενεργού ιλύος οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια κυμαίνονται από $317 \frac{\text{kWh}}{1000\text{m}^3}$ έως $660 \frac{\text{kWh}}{1000\text{m}^3}$ (1200 έως 2500 kWh ανά Mgal). Επίσης, έχει παρατηρηθεί πως το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που απαιτείται για την λειτουργία των μονάδων καταναλώνεται για την πραγματοποίηση της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας **[Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 15, 2003]**.

Πιο αναλυτικά, σε μία συμβατική δευτεροβάθμια επεξεργασία το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται στην βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος (η οποία απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας για τον αερισμό) ή με την μέθοδο των βιολογικών κλινών (κατά την οποία καταναλώνεται ενέργεια για την άντληση των εισροών και την επανακυκλοφορία των εκρεόντων αποβλήτων) **[EPRI, 1994]**. Η κατανομή της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 2.9**.

Διάγραμμα 2.9: Κατανομή της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος [EPRI , 1994]



Είναι εμφανές πως για να επιτευχθεί σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μιας μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων θα πρέπει να μελετηθούν οι λειτουργίες της και να τροποποιηθούν εστιάζοντας κυρίως στην μείωση του αερισμού κατά τη διεργασία της ενεργούς ιλύος. Προκειμένου να γίνει αυτό, μπορεί να εγκατασταθούν συστήματα αυτόματης ηλεκτρονικής παρακολούθησης των απαιτήσεων για αερισμό και προσαρμογή της λειτουργίας των αεριστήρων έτσι ώστε να αποφευχθεί η άσκοπη χρήση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Από την άλλη, η μέθοδος της ενεργού ιλύος δεν αποτελεί τη μοναδική μέθοδο αποδοτικής δευτεροβάθμιας βιολογικής επεξεργασίας των αποβλήτων. Από τη σκοπιά της ενεργειακής κατανάλωσης, κρίνεται αποδοτικότερη η χρήση διεργασιών οι οποίες δε θα περιλαμβάνουν την ανάγκη διαλυτοποίησης οξυγόνου, εντός ρευστού, καθώς απαιτούνται συστήματα αντλιών υψηλής πίεσης και κατ' επέκταση υψηλών αναγκών σε ενέργεια.

Κλείνοντας, λοιπόν, το κεφάλαιο των υπαρχόντων εφαρμοζόμενων τεχνολογιών είναι σαφής η ανάγκη για αναβάθμιση των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με μεθόδους λιγότερο ενεργοβόρες, με ίδια ποιοτικά αποτελέσματα οι οποίες τελικά θα επιφέρουν αυξημένη αποδοτικότητα στον τομέα της ενεργειακής κατανάλωσης. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθεί η μέθοδος για την οποία έγινε μελέτη η οποία δεν είναι άλλη από τη μέθοδο των φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΡΟΣΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

3.1 Γενικά

Η τεχνολογία βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο των φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας (attached growth) βασίζεται στην ροή των υγρών αποβλήτων διαμέσου κάποιου φυσικού ή τεχνητού πληρωτικού υλικού επεξεργασίας. Διαφοροποιείται από τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος καθώς οι μικροοργανισμοί δε βρίσκονται σε αιώρηση εντός δεξαμενής, αλλά αναπτύσσονται προσκολλημένοι πάνω σε κάποια επιφάνεια φυσική ή τεχνητή. Τέτοιες επιφάνειες μπορεί να είναι άμμος, χαλίκι, ειδικά κατασκευασμένα πλαστικά μέσα κ.ά.. Οι διεργασίες επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα μπορεί να είναι αερόβιες ή αναερόβιες [ENVIMA, 2013]. Στην **Εικόνα 3.1** παρουσιάζεται η άνω επιφάνεια μιας δεξαμενής σταθερής κλίνης που περιλαμβάνει φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας με πλαστικό υλικό πλήρωσης.

Εικόνα 3.1: Δεξαμενή φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας σταθερής κλίνης



3.2 Εφαρμογές προσκολλημένης βιομάζας

Η χρήση πληρωτικών υλικών για την προσκόλληση βιομάζας πάνω σε αυτά και εν συνεχεία την επαφή με το προς επεξεργασία υγρό μπορεί να γίνει με διαφόρους τρόπους. Οι συνήθεις διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας είναι:

- Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι
- Συνδυασμένες διεργασίες προσκολλημένης και αιωρούμενης βιομάζας
- Βιολογικά φίλτρα

Οι παραπάνω διεργασίες εμφανίζουν ομοιότητες ως προς την εφαρμογή της βιολογικής επεξεργασίας χρήσει βιομάζας προσκολλημένης πάνω σε πληρωτικά υλικά, παρ' όλ' αυτά διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο εφαρμογής και εγκατάστασης των μονάδων. Παρακάτω θα γίνει περιγραφή της κάθε διεργασίας.

3.2.1 Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι

Ιστορικά, οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι, εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά στη Γερμανία τη δεκαετία του 1960 ενώ μεταγενέστερα χρησιμοποιήθηκαν και στις Η.Π.Α. Με την πάροδο των χρόνων εκατοντάδες μονάδες εγκαταστάθηκαν ανά τον κόσμο, ενώ έχουν υπάρξει και πολλές αναφορές και έρευνες πάνω στην λειτουργία τους και την απόδοσή τους [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 9, 2003].

Οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι ή αλλιώς Rotating Biological Contactors (RBC) πολλές φορές συναντώνται ως «δίσκοι», «βιόδίσκοι», «αντιδραστήρες βιοφίλμ». Οι μονάδες αυτές έχουν διάταξη σειράς πλακών ή δίσκων αποτελούμενα από πληρωτικά υλικά προσκολλημένης βιομάζας. Οι δίσκοι κατασκευάζονται συνήθως από πολυστυρένιο ή πολυβινιλοχλωρίδιο (PVC) και βρίσκονται σε σειρά, στενά τοποθετημένοι μεταξύ τους. Εγκαθίστανται μερικώς βυθισμένα εντός των υγρών αποβλήτων και περιστρέφονται χρησιμοποιώντας ηλεκτροκινητήρες ή μέσω συστημάτων αέρος υπό πίεση. Η περιστροφή τους οδηγεί σε ανάδευση του υγρού, μετάβαση του υγρού μέσω των διάκενων του πληρωτικού υλικού, διάχυση και επαφή των ουσιών των αποβλήτων με το φιλμ βιομάζας, καθώς και ανταλλαγή

προϊόντων με τον αντιδραστήρα και το περιβάλλον [Hassard F. Et. Al., 2015]. Η εγκατάστασή τους μπορεί να γίνει σε κλειστές ή ανοιχτές δεξαμενές. Παράδειγμα χρήσης τους σε ανοιχτό χώρο παρουσιάζεται στην **Εικόνα 3.2**.

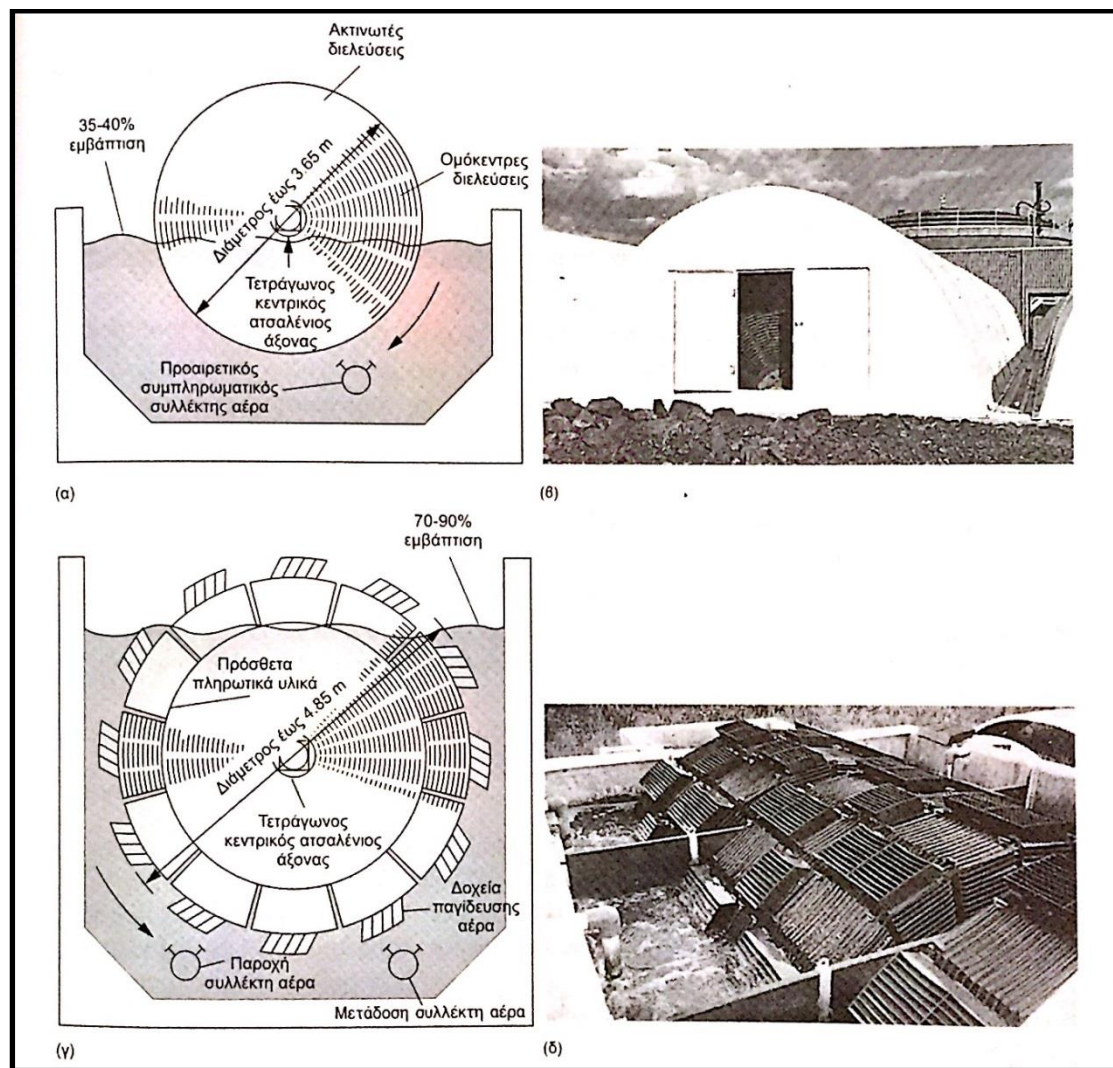
Αναφορικά, οι βιολογικοί δίσκοι σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων μπορούν να έχουν διαμέτρους έως 3,5m και μήκος έως 7,5m. Οι δίσκοι είναι συνήθως εμβαπτισμένοι περίπου 40% και λειτουργούν με ταχύτητα περιστροφής από 1,0 έως 1,6 περιστροφές το λεπτό (rpm).

Εικόνα 3.2: Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι σε ανοιχτό χώρο



Στην περίπτωση εγκαταστάσεων βιόδισκων πεπιεσμένου αέρα, εγκαθίσταται μια διάταξη δοχείων στην περιφέρεια των δίσκων και η περιστροφή επιτυγχάνεται με διάχυση αέρα, ο οποίος καταλήγει στα δοχεία. Στην **Εικόνα 3.3 [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 9, 2003]** παρουσιάζονται οι πλάγιες όψεις και εικόνες των διαφόρων τύπων δίσκων.

Εικόνα 3.3: Τυπικές μονάδες περιστρεφόμενων βιολογικών δίσκων. (α) Συμβατικός βιολογικός δίσκος, μηχανικής μετάδοσης, δυνατότητα εισόδου αέρα, (β) Συμβατικός βιολογικός δίσκος σε κλειστό αντιδραστήρα, (γ) Εμβαπτιζόμενος βιολογικός δίσκος με δοχεία παγίδευσης αέρα, ο αέρας συμβάλει στην περιστροφή του δίσκου και στην παροχή οξυγόνου, (δ) Εμβαπτιζόμενος βιολογικός δίσκος με δοχεία παγίδευσης αέρα.



Όπως και στη μέθοδο της ενεργούς ιλύος, είναι απαραίτητο μετά την επεξεργασία των αποβλήτων με περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους να γίνει περαιτέρω επεξεργασία των αποβλήτων σε δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Πρόκειται ουσιαστικά για μία διεργασία που αντικαθιστά εκείνη της ενεργούς ιλύος.

3.2.2 Συνδυασμένες διεργασίες προσκολλημένης και αιωρούμενης βιομάζας

Πρόκειται για εγκαταστάσεις στις οποίες συνδυάζονται οι τεχνολογίες δευτεροβάθμιας βιολογικής επεξεργασίας. Οι διεργασίες που συνδυάζονται είναι εκείνες της ενεργού ιλύος με διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας (βιολογικά φίλτρα, περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι). Ουσιαστικά, είναι αποτέλεσμα αναβάθμισης εγκαταστάσεων με προσθήκη είτε διεργασιών προσκολλημένης βιομάζας, είτε της μεθόδου ενεργούς ιλύος.

Κατηγοριοποιώντας τους διάφορους συνδυασμούς που χρησιμοποιούνται συχνότερα, διακρίνονται οι εξής εγκαταστάσεις [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 9, 2003]:

- Βιολογικό φίλτρο και επαφή στερεών
- Βιολογικό φίλτρο και μέθοδος ενεργού ιλύος
- Ενεργό βιολογικό φίλτρο και βιολογικό φίλτρο μεθόδου ενεργού ιλύος
- Σειρές βιολογικών φίλτρων και μέθοδος ενεργού ιλύος

Ξεκινώντας τη περιγραφή από την εγκατάσταση βιολογικού φίλτρου και επαφής στερεών, πρόκειται για μία εγκατάσταση η οποία χρησιμοποιεί βιολογικό φίλτρο με πληρωτικό υλικό χαλίκια ή πλαστικό υλικό πλήρωσης, στη συνέχεια ακολουθεί μια δεξαμενή αερισμού ενεργού ιλύος και τέλος μια δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης. Από την δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης εκρέει το επεξεργασμένο απόβλητο αλλά και η καθιζάνουσα ιλύς η οποία οδηγείται μέσω αντλίας σε ανακυκλοφορία πριν τη δεξαμενή βιοαερισμού. Σημαντικό χαρακτηριστικό της εγκατάστασης είναι πως η ανακυκλοφορούμενη ιλύς εισέρχεται εκ νέου σε δεξαμενή βιοαερισμού.. Επίσης δύναται να χρησιμοποιηθεί και κώδωνας κροκίδωσης εντός της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης [Parker et al., 1994].

Σε εγκαταστάσεις συνδυασμού βιολογικού φίλτρου και μεθόδου ενεργού ιλύος, ο σχεδιασμός και η λειτουργία είναι ίδια με εκείνες του βιολογικού φίλτρου και επαφής στερεών. Η μόνη διαφορά είναι πως παρουσιάζουν μία απλούστευση στη λειτουργία τους, αφού απουσιάζει η δεξαμενή βιοαερισμού της

ανακυκλοφορίας της ιλύος, καθώς και το φρεάτιο κροκίδωσης. Ουσιαστικά είναι η απλή λειτουργία των δύο μεθόδων (προσκολλημένης βιομάζας και ενεργού ιλύος) σε σειρά χωρίς ενδιάμεσο στάδιο επεξεργασίας [Parker et al., 1994].

Κατά τη χρήση ενεργού βιολογικού φίλτρου και βιολογικού φίλτρου σε συνδυασμό με μέθοδο ενεργού ιλύος, εμφανίζονται ομοιότητες ως προς την εγκατάσταση και τη λειτουργία με τις δύο πρώτες εγκαταστάσεις. Βασική διαφορά των μεθόδων είναι πως η καθιζάνουσα ιλύς ανακυκλοφορεί και επιστρέφει στην είσοδο του βιολογικού φίλτρου αυτή τη φορά, αντί την είσοδο της δεξαμενής αερισμού (όπως συνέβαινε στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις). Στις δύο αυτές μεθόδους ως πληρωτικό υλικό χρησιμοποιείται ξύλο κλαδών πεύκου ή πλαστικό υλικό υψηλού ρυθμού, καθώς παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε πιθανές εμφράξεις λόγω της ανακυκλοφορούμενης ιλύος [Harrison et al., 1984].

Τέλος, στην εγκατάσταση με σειρές βιολογικών φίλτρων και μεθόδου ενεργού ιλύος, τα απόβλητα επεξεργάζονται με ένα βιολογικό φίλτρο και μία δεξαμενή ενεργού ιλύος, οι οποίες βρίσκονται σε σειρά με την ύπαρξη ενδιάμεσης δεξαμενής καθίζησης. Μετά τη δεξαμενή βιοαερισμού ακολουθεί μια δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης και η καθιζάμενη ιλύς ανακυκλοφορείται και διοχετεύεται στην είσοδο της δεξαμενής βιοαερισμού χωρίς να υποστεί κάποια άλλη επεξεργασία. Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη περίπτωση αναβάθμισης μιας υπάρχουσας εγκατάστασης ενεργού ιλύος [Metcalf & Eddy, Inc, Κεφ. 9, 2003].

3.2.3 Βιολογικά φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας (επισκόπηση)

Πρόκειται για έναν μη εμβαπτιζόμενο βιολογικό αντιδραστήρα, σταθερής στοιβάδας στον οποίο γίνεται χρήση χαλικιών ή πλαστικών πληρωτικών υλικών πλήρωσης πάνω στα οποία εναποτίθενται υγρά απόβλητα. Ο σκοπός των συστημάτων αυτών είναι η επαφή των υγρών αποβλήτων με τη προσκολλημένη βιομάζα των υλικών και κατ' επέκταση η μείωση του οργανικού φορτίου τους.

Τα βιολογικά φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας αποτελούν και το βασικό αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας, για τον λόγο αυτό θα αναλυθούν εξονυχιστικά στην **Παράγραφο 3.3**

3.3 Βιολογικά φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας

Έως τη δεκαετία του 80 τα φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας εφαρμόσθηκαν κυρίως στο δυτικό ημισφαίριο ως μία ενεργειακά συμφέρουσα διεργασία για βιολογικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Στη διεργασία αυτή, η μόνη απαίτηση ενέργειας είναι εκείνη για την ανύψωση των λυμάτων μέσω αντλιών προκειμένου να είναι δυνατή η κατανομή τους στο πάνω μέρος των φίλτρων. Στην περίπτωση χρήσης υπερυψωμένου εδάφους με σκοπό την αξιοποίηση της βαρύτητας το ενεργειακό κόστος δύναται να μειωθεί ακόμη περισσότερο. Η βασική διαφορά, η οποία και καθιστά τη μέθοδο ενεργειακά οικονομικότερη, είναι πως σε αντίθεση με τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος, οι απαιτήσεις σε οξυγόνο καλύπτονται τις περισσότερες φορές από τον φυσικό αερισμό της εγκατάστασης χωρίς να απαιτείται εξωτερική παρέμβαση. Ωστόσο, η αύξηση της παροχής λυμάτων, σε συνδυασμό με τον κίνδυνο εμφράξεων του πληρωτικού υλικού αλλά και η έλλειψη γνώσεων σχετικά με τις απομακρύνσεις των θρεπτικών συστατικών οδήγησε στον παραγκωνισμό της χρήσης της μεθόδου αυτής.

Σήμερα, τα καινοτόμα πλαστικά πληρωτικά υλικά και η αυξημένη σπουδαιότητα βιωσιμότητας οδήγησαν στην ανάκαμψη της τεχνολογίας αυτής και στην εξέλιξη της μέσω ερευνών. Με τη χρήση μεθόδων προσκολλημένης βιομάζας επιτυγχάνεται μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων και κατ' επέκταση του οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους. Ειδικότερα συνδυάζοντας την τεχνολογία αυτή με άλλες διεργασίες όπως εκείνη της αναερόβιας προεπεξεργασίας και άλλων έχει ως αποτέλεσμα νέα συστήματα φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας, τα οποία αποδίδουν πολύ υψηλά χαρακτηριστικά ποιότητας επεξεργασίας με αρκετά χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις διατηρώντας, όμως, την απλότητα που χαρακτηρίζει την τεχνολογία αυτή. Για το λόγο αυτό υπάρχει η τάση ανά τον κόσμο της μελέτης πάνω στην τεχνολογία αυτή και την βελτίωση τέτοιων συστημάτων [Henrich & Marggraff, 2013].

Έχοντας ως γνώμονα την μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, σύμφωνα με τα δεδομένα της United States Environmental Protection Agency, οι εγκαταστάσεις βιολογικών φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας (στις διάφορες μορφές που

μπορούν να συναντηθούν) παρουσιάζουν μειωμένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστά που κυμαίνονται από 50% έως και 90% σε σχέση με συστήματα ενεργού ιλύος τα οποία λειτουργούν σε βέλτιστες συνθήκες. Χαρακτηριστικά, επεξεργασία υγρών αποβλήτων με βιόφιλτρα, καταναλώνει ενέργεια περίπου 20 kWh/m^3 υγρών αποβλήτων, ενώ χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των περιστρεφόμενων δίσκων η κατανάλωση ανέρχεται στις 105 – 175 kWh/m^3 υγρών αποβλήτων [ENVIMA, 2013]. Στις επόμενες παραγράφους θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στις τεχνολογίες αυτές

3.3.1 Μορφή εγκατάστασης φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας

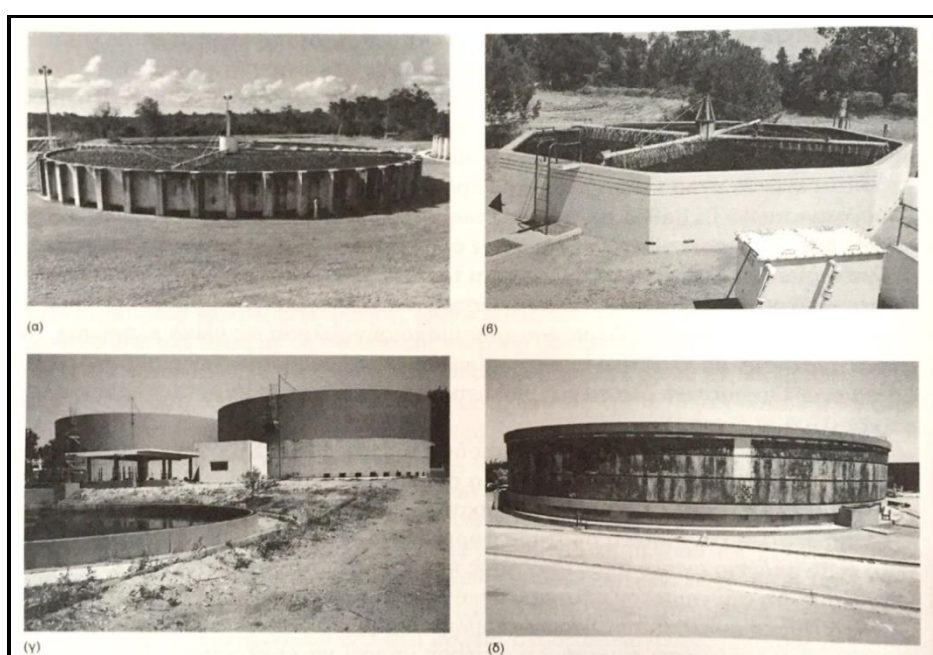
Η πρώτη εγκατάσταση που χρησιμοποιούσε φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, λειτούργησε στην Αγγλία το 1893. Από τότε έχουν υπάρξει και λειτουργήσει κι άλλες πιο σύγχρονες εγκαταστάσεις το σύνολο των οποίων έχει οδηγήσει σε μία κοινή γραμμή μορφής και σχεδιασμού των μονάδων επεξεργασίας.

Πρόκειται συνήθως για κυλινδρική ή πολύγωνη δεξαμενή τοποθετημένη, στις περισσότερες των περιπτώσεων, πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Στην **Εικόνα 3.4** παρουσιάζονται τέσσερα τυπικά παραδείγματα βιολογικών φίλτρων. Η δεξαμενή είναι γεμάτη από πληρωτικό υλικό. Μία ενδεικτική τιμή της διαμέτρου των διάκενων του υλικού είναι 25 έως 100mm. Τα υγρά απόβλητα διατίθενται κατά κανόνα στο σύνολο της επιφάνειας του πληρωτικού υλικού για την πλήρη κάλυψη της επιφάνειας χρησιμοποιούνται ένας ή περισσότεροι βραχίονες διανομής του υγρού. Οι βραχίονες περιστρέφονται με άξονα το κέντρο της δεξαμενής και η ενέργεια για την περιστροφή εξασφαλίζεται λόγω της πίεσης εκροής του υγρού από τα διάκενα του βραχίονα (τυπικά απαιτείται υδραυλική πτώση 2m), επομένως η ταχύτητα περιστροφής είναι αναλόγως εξαρτώμενη από την παροχή των αποβλήτων. Το βάθος των περισσοτέρων δεξαμενών είναι από 0,9m έως 2,5m (συνήθως 1,8m) ενώ δεν αποκλείεται σε ορισμένες εγκαταστάσεις να συναντώνται και δεξαμενές μεγαλύτερου βάθους. Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας λειτουργίας είναι η ύπαρξη ανακυκλοφορίας. Η χρήση ανακυκλοφορίας επιτρέπει

την βελτίωση της απόδοσης της επεξεργασίας τόσο του υγρού κλάσματος όσο και των στερεών που καθιζάνουν [Degremont, 1979]. Η ανακυκλοφορία εξετάζεται αναλυτικότερα στη **Παράγραφο 3.3.5**.

Όσον αφορά τον αερισμό της δεξαμενής, επιτυγχάνεται με την φυσική ροή ρευμάτων αέρα που δημιουργούνται από τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ δεξαμενής και ατμόσφαιρας. Η ροή μπορεί να είναι ανοδική (όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι υψηλότερη από εκείνη της ατμόσφαιρας) ή καθοδική (όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας). Προκειμένου να είναι δυνατή η φυσική αυτή ροή οι δεξαμενές κατασκευάζονται με ανοίγματα στο ύψος της βάσης τους κατάλληλα σχεδιασμένα ώστε να επιτρέπεται η εισροή ή εκροή του αέρα, αλλά να αποφεύγεται η διαρροή υγρού. Τέλος, ο πυθμένας της δεξαμενής παρουσιάζει κλίση προς το κέντρο της επιφάνειας με σκοπό την ροή των επεξεργασμένων αποβλήτων και την εκροή τους μέσω συστήματος αγωγών και αντλιών [Degremont, 1979].

Εικόνα 3.4: Τυπικά παραδείγματα δεξαμενών βιολογικών φίλτρων. (α) Παραδοσιακό ρηχό βιολογικό φίλτρο με χαλίκια, (β) επτάπλευρη δεξαμενή (παλαιότερο σχέδιο), (γ) βιολογικό φίλτρο ενδιάμεσου βάθους που έχει μετατραπεί σε πύργο, (δ) βιολογικό φίλτρο ύψους 10m και διαμέτρου 50m με πλαστικό πληρωτικό υλικό [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ 9, 2003].



3.3.2 Αναπτυσσόμενοι οργανισμοί στα βιόφιλτρα

Οι κύριοι οργανισμοί στα βιολογικά φίλτρα είναι τα επαμφοτερίζοντα βακτήρια, τα οποία αποσυνθέτουν και το οργανικό υλικό των αποβλήτων μαζί με τα αερόβια και τα αναερόβια βακτήρια. Χαρακτηριστικά βακτήρια συνδεδεμένα με τα βιολογικά φίλτρα είναι τα *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* και *Alcaligenes*. Στο εσωτερικό του υμένα βιομάζας επικρατούν αντίξοες συνθήκες και βρίσκονται ινώδεις μορφές, ενώ στα χαμηλότερα τμήματα των φίλτρων συνήθως συναντώνται νιτροποιητικά βακτήρια.

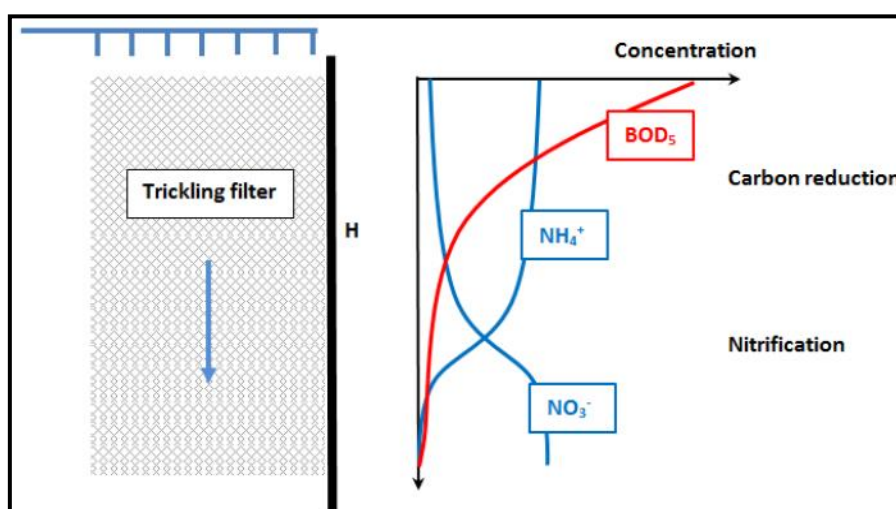
Επίσης σε επεξεργασία βιομηχανικών κυρίως αποβλήτων εμφανίζονται μύκητες οι οποίοι προσδίδουν σταθεροποίηση κάτω από συνθήκες χαμηλού pH. Όσων αφορά τα φύκη, είναι δυνατόν να αναπτυχθούν μόνο στα ανώτερα στρώματα των φίλτρων, όπου και υπάρχει το ηλιακό φως απαραίτητο για την φωτοσύνθεσή τους. Η παρουσία και ανάπτυξή τους είναι αρνητικό φαινόμενο αφού συχνά είναι υπεύθυνα για εμφράξεις και δημιουργία οσμών.

Όσων αφορά τα πρωτόζωα ανήκουν στην κατηγορία των βλεφαριδοφόρων όπως *Vorticella* και *Opercularia*. Τρέφονται από τις βιολογικές στιβάδες με αποτέλεσμα την μείωση της θολότητας των υγρών αποβλήτων. Συχνά εμφανίζονται και ανώτεροι οργανισμοί όπως σαλιγκάρια, σκώληκες και έντομα τα οποία επίσης τρέφονται από τις βιολογικές στιβάδες χωρίς να δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα, εκτός των σαλιγκαριών τα οποία τρέφονται με νιτροποιητικά βακτήρια μειώνοντας, έτσι, την απόδοση φίλτρων νιτροποίησης [Metcalf & Eddy, Inc., Κεφ. 9, 2003].

Πιο συγκεκριμένα, εντός του ενός συστήματος φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας, τα ετερότροφα και αυτότροφα βακτήρια πληθαίνουν όσο υπάρχει διαθέσιμος χώρος για τον πολλαπλασιασμό τους, φυσικά υπό την προϋπόθεση πως διατίθεται επαρκής ποσότητα οξυγόνου μέσω φυσικού ή τεχνητού αερισμού. Στο άνω μέρος των φίλτρων τα ετερότροφα βακτήρια χρησιμοποιούν το BOD ως θρεπτικό υπόστρωμα, το οποίο και καταναλώνουν. Στην φάση αυτή, οι νιτροποιητές δεν μπορούν να ανταγωνισθούν λόγω της βραδείας ανάπτυξής τους και του χαμηλού μεταβολισμού. Προχωρώντας προς μεγαλύτερα βάθη του φίλτρου, οι συγκεντρώσεις του BOD είναι αρκετά χαμηλές με αποτέλεσμα τα ετερότροφα

βακτήρια να παρουσιάζουν ύφεση στην ανάπτυξη τους, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους νιτροποιητές να αναπτυχθούν. Χαρακτηριστικά, βάσει μελετών, η νιτροποίηση ξεκινά όταν η συγκέντρωση του BOD είναι κάτω από 20mg/L [Henrich & Marggraff, 2013]. Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζονται οι απομακρύνσεις BOD και NH_4 συναρτήσει του βάθους του φίλτρου.

Σχήμα 3.5: Απομάκρυνση BOD και NH_4 συναρτήσει του βάθους φίλτρου προσκολλημένης βιομάζας.



3.3.3 Πληρωτικά υλικά φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας

Μία πολύ σημαντική παράμετρος των συστημάτων προσκολλημένης βιομάζας αποτελεί το πληρωτικό υλικό που χρησιμοποιείται ως επιφάνεια ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Ιδανικά, το υλικό αυτό θα πρέπει να εμφανίζει τα εξής χαρακτηριστικά:


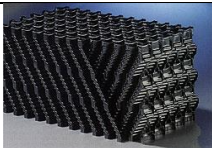
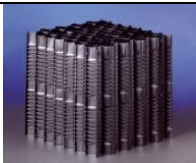
- Μεγάλη ειδική επιφάνεια
- Υψηλή ανθεκτικότητα σε βάθος χρόνου
- Μεγάλα διάκενα (για την αποφυγή εμφράξεων και την εξασφάλιση ροής αέρα)

Υπάρχουν πολλά υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διεργασίες προσκολλημένης βιομάζας, τα πιο κοινά είναι οι πέτρες, τεχνητά πλαστικά (cross-flow ή vertical fill) αλλά και υλικά (συνήθως πλαστικά) τυχαίας πλήρωσης.

Αρκετές έρευνες έχουν δείξει τα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν οι διατάξεις cross-flow συγκριτικά με εκείνες της κάθετης ροής, τυχαίας ροής και εκείνες που χρησιμοποιούν πέτρες ως υλικό πλήρωσης (Sarner, 1978; Parker & Merrill, 1984; Boller & Gujer, 1986). Παρ' όλ' αυτά και οι υπόλοιπες διατάξεις εμφανίζουν πλεονεκτήματα σε ορισμένες περιπτώσεις που τις καθιστούν ως τη βέλτιστη λύση είτε από οικονομικής άποψης, είτε λόγω αποδοτικότητας. Για παράδειγμα, διατάξεις με πλαστικό υλικό πλήρωσης κάθετης ροής εμφανίζουν καλύτερα αποτελέσματα σε βιομηχανικά απόβλητα υψηλού οργανικού φορτίου. Στον **Πίνακα 3.6** παρουσιάζονται χαρακτηριστικά ορισμένων τύπων πληρωτικών υλικών [Henrich & Marggraff, 2013].

Βέβαια, πέραν των συνηθέστερων υλικών πλήρωσης, έχουν αναπτυχθεί και άλλες μορφές υλικών οι οποίες εμφανίζουν σε ορισμένες περιπτώσεις καλύτερα αποτελέσματα από τις προαναφερθείσες. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε και το έναυσμα της παρούσας εργασίας. Η σύγκριση, δηλαδή της αποτελεσματικότητας δύο φίλτρων με διαφορετικά πληρωτικά υλικά.

Πίνακας 3.6: Τυπικά πληρωτικά υλικά εγκαταστάσεων φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας.

Υλικό πλήρωσης	Εικόνα	Specific surface area (m^2/m^3)	Void space (%)
Πέτρα, χαλίκι κ.α.		40-80	50-60
Cross-flow (πολυπροπυλενίου)		100-240	>97
Vertical flow (πολυπροπυλενίου)		125	>97

3.3.4 Ταξινόμηση βάσει ρυθμού φόρτισης

Η ταξινόμηση των εγκαταστάσεων γίνεται με βάση τις οργανικές και υδραυλικές φορτίσεις υπό τις οποίες διατηρείται ομαλή και αποδοτική λειτουργία. Οι κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται είναι:

- (1) Χαμηλή ρυθμού. Συνήθως λειτουργούν με υδραυλική φόρτιση 1.2 έως $3.5\text{m}^3/(\text{m}^2\text{d})$ και οργανική φόρτιση από 0.08 έως $0.4\text{kg}/(\text{m}^3\text{d})$. Το συνηθέστερο υλικό είναι το χαλίκι, ενώ στις περισσότερες των περιπτώσεων, μόνο τα ανώτερα στρώματα της δεξαμενής (0.6 έως 1.2m) παρουσιάζουν ανάπτυξη βιομάζας. Καθ' αυτό τον τρόπο στα χαμηλότερα στρώματα δύναται να αναπτυχθούν αυτότροφα βακτήρια νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Τα φίλτρα χαμηλού ρυθμού κάτω από καλές συνθήκες λειτουργίας παρουσιάζουν καλή απομάκρυνση BOD και υψηλό βαθμό οξείδωσης της αμμωνίας σε νιτρικά και νιτρώδη ιόντα.
- (2) Ενδιάμεσου ρυθμού. Πρόκειται για υδραυλική φόρτιση από 3.5 έως $9.4\text{m}^3/(\text{m}^2\text{d})$ και οργανική φόρτιση από 0.24 έως $0.48\text{kg}/(\text{m}^3\text{d})$ και κατασκευάζονται επίσης με υλικό πλήρωσης χαλίκι.
- (3) Υψηλού ρυθμού. Η υδραυλική φόρτιση κυμαίνεται από 9.4 έως $37.55\text{m}^3/(\text{m}^2\text{d})$ και η οργανική από 0.48 έως $0.96\text{kg}/(\text{m}^3\text{d})$. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται ως υλικά πλήρωσης εκτός από το χαλίκι, και πλαστικά μέσα. Προκειμένου να επιτευχθεί το ίδιο καλή απομάκρυνση του οργανικού φορτίου με τα φίλτρα χαμηλού και ενδιάμεσου ρυθμού μπορεί να γίνει χρήση συστήματος ανακυκλοφορίας από την έξοδο της επερχόμενης δεξαμενής καθίζησης. Επίσης η χρήση ανακυκλοφορίας έχει ως αποτέλεσμα την επιστροφή αποκολλημένων μικροοργανισμών πίσω στο πληρωτικό υλικό και κατ' επέκταση τη βελτίωση της απόδοσής του.
- (4) Υπερυψηλής φόρτισης. Το εύρος της υδραυλικής φόρτισης είναι από 11.7 έως $70.4\text{m}^3/(\text{m}^2\text{d})$ ενώ η οργανική φόρτιση κυμαίνεται από 0.24 έως $1.44\text{kg}/(\text{m}^3\text{d})$. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται αποκλειστικά πλαστικά πληρωτικά υλικά διαφόρων σχημάτων και

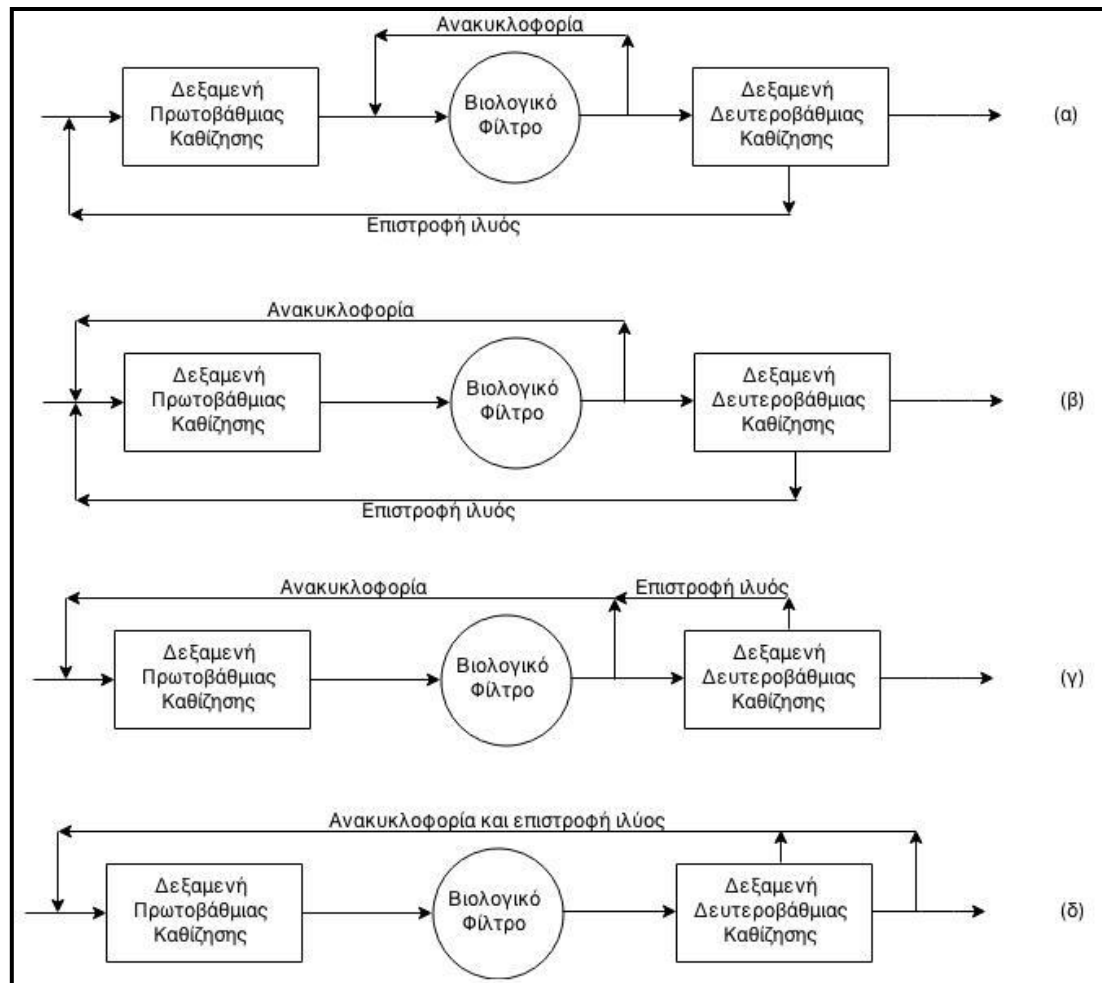
ρών. Για την βελτίωση της απόδοσης απομάκρυνσης του βιολογικού φορτίου, κατασκευάζονται δεξαμενές σημαντικά υψηλότερες επιτυγχάνοντας, έτσι, μεγαλύτερο χρόνο επαφής.

- (5) Δύο σταδίων. Έχει τα χαρακτηριστικά φίλτρων υψηλής φόρτισης και μεταξύ τους παρεμβάλλεται μία ενδιάμεση λεκάνη καθίζησης για να απομακρύνονται τα στερεά που προέρχονται από το πρώτο φίλτρο. Φίλτρα δύο σταδίων χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το απόβλητο έχει ισχυρό οργανικό φορτίο ή σε περιπτώσεις που απαιτείται νιτροποίηση. Σε περίπτωση που γίνεται χρήση για νιτροποίηση στο πρώτο φίλτρο και στη δεξαμενή καθίζησης γίνεται απομάκρυνση του BOD ενώ στο δεύτερο φίλτρο γίνεται η νιτροποίηση [Degremont, 1979].

3.3.5 Τυπικά διαγράμματα ροής φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας ενός σταδίου

Η χρήση βιολογικών φίλτρων μπορεί να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί με διαφόρων μορφών διαγράμματα ροής. Πιο συγκεκριμένα τα φίλτρα ενός σταδίου που ακολουθούν τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης δύναται να λειτουργήσουν με μία απλή διέλευση των υγρών αποβλήτων ή με χρήση συστημάτων ανακυκλοφορίας των αποβλήτων ή της παραγόμενης ιλύος, στην είσοδο της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης ή στην είσοδο της διεργασίας των βιόφιλτρων. Πιθανές διατάξεις των συστημάτων ενός σταδίου παρουσιάζονται στο **Σχήμα 3.7** [Parker et al., 1990].

Σχήμα 3.7: Τυπικά διαγράμματα ροής της τεχνολογίας των βιολογικών φίλτρων.
[Parker et al., 1990].



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1 Σκοπός της παρούσας εργασίας

Σκοπός της πειραματικής διαδικασίας ήταν η επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο των βιοφίλτρων προσκολλημένης βιομάζας σε δύο δεξαμενές, κάθε μια από τις οποίες είχε διαφορετικό πληρωτικό υλικό και λειτουργούσαν παράλληλα, έχοντας το ίδιο δείγμα υγρού αποβλήτου για είσοδο.

Προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων (αναφερόμενοι στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εξόδων), έγινε προσπάθεια για διατήρηση κοινών συνθηκών λειτουργίας, δηλαδή:

- Ίδιο δείγμα εισόδου και λειτουργίας
- Ίσες παροχές
- Ίδιο σύστημα διανομής στην επιφάνεια των φίλτρων
- Ίσο βάθος φίλτρων
- Ίδια μέθοδος φυσικού (ή τεχνητού αερισμού)
- Ίδιες μέθοδοι μέτρησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων αποβλήτων κάθε δεξαμενής.

Έχοντας, λοιπόν, δύο δεξαμενές διαφορετικού πληρωτικού υλικού και κοινών όλων των υπολοίπων παραμέτρων λειτουργίας, υπάρχει η δυνατότητα επεξήγησης και αναγωγής της διαφορετικότητας των αποτελεσμάτων στο πληρωτικό υλικό, το οποίο υπάρχει σε κάθε δεξαμενή.

Βάσει του σκοπού αυτού, κατασκευάστηκαν δύο δεξαμενές με διαφορετικό πληρωτικό υλικό, οι οποίες λειτούργησαν για διάστημα περίπου τεσσάρων μηνών με παρακολούθηση και καταγραφή των αποτελεσμάτων τους. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε επεξηγείται λεπτομερώς παρακάτω.

4.2 Κατασκευή δεξαμενών φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας

Η κατασκευή των βιόφιλτρα εργαστηριακής κλίμακας περιελάμβανε τις εξής εργασίες:

- Παραλαβή δύο διαφορετικών πληρωτικών υλικών
- Κατασκευή δεξαμενών τοποθέτησης
- Δημιουργία συστήματος άντλησης των αποβλήτων
- Δημιουργία συστήματος ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια των φίλτρων
- Κατασκευή συστήματος αποστράγγισης εκρεόντων αποβλήτων
- Κατασκευή συστήματος βεβιασμένου αερισμού

4.2.1 Πληρωτικά υλικά

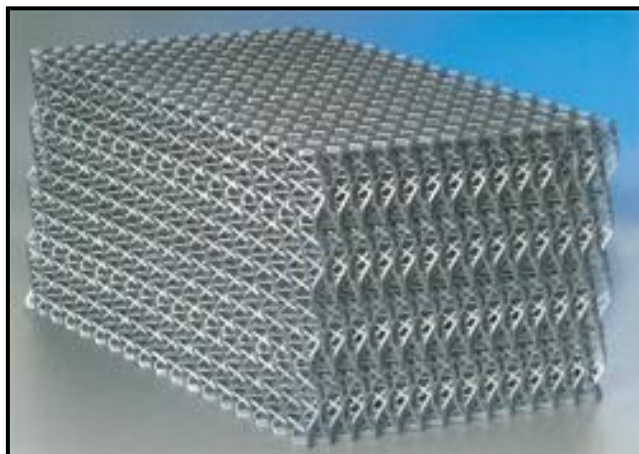
Τα πληρωτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, είναι κατασκευασμένα από την εταιρεία **GEA 2H Water Technologies** και πρόκειται για φίλτρα διαφορετικού τύπου, τα οποία εξυπηρετούσαν τον σκοπό σύγκρισης της απόδοσης τους.

Το πρώτο φίλτρο έχει την κωδική ονομασία NET 150 και πρόκειται για πλαστικό υλικό τυχαίας εσωτερικής κατανομής υγρού, κατασκευασμένο από πολυπροπυλένιο (PP). Κύριο χαρακτηριστικό του είναι το εξαιρετικά μεγάλο πορώδες. Η μορφή του παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.2**. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά όπως δίνονται από την κατασκευάστρια εταιρία φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 4.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά φίλτρου τυχαίας ροής

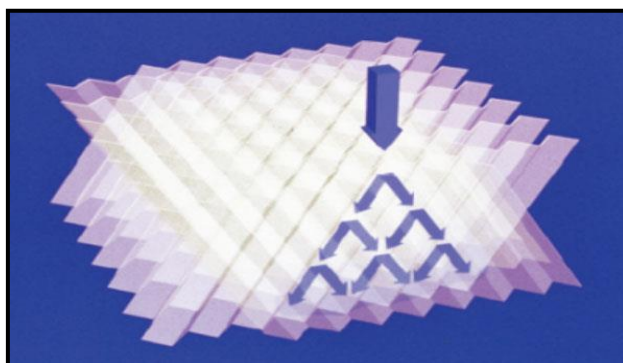
Κωδική Ονομασία	Υλικό	Ειδική Επιφάνεια ανά Μονάδα Όγκου (m^2/m^3)	Απόσταση Μεταξύ Στηριγμάτων (mm)	Πλάτος Στηριγμάτων (mm)	Μέγιστη Εφαρμοζόμενη Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	Ποσοστό Διάκενων (%)
NET 150	PP	80	800	50	80	>97

Εικόνα 4.2: GEA 2H Water Technologies NET 150®



Το δεύτερο υλικό πλήρωσης είναι επίσης της εταιρίας **GEA 2H Water Technologies** και έχει την κωδική ονομασία KZP 612. Πρόκειται για πλαστικό επίσης υλικό, σημαντικά μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας κατασκευασμένο ώστε η ροή του αποβλήτου εντός των καναλιών που σχηματίζει να είναι “Cross Flow”, δηλαδή το υγρό ακολουθεί διάφορες πορείες εντός του φίλτρου, ουσιαστικά “αναγκάζεται” βάσει του σχήματος να διαχωρίζεται συνεχώς με στόχο την μείωση της ταχύτητας ροής και την αξιοποίηση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης επιφάνειας του υλικού. Σχηματική αναπαράσταση της έννοιας του Cross Flow εμφανίζεται στο **Σχήμα 4.3**, ενώ το υλικό πλήρωσης εμφανίζεται στην **Εικόνα 4.5**. Το υλικό κατασκευής είναι επίσης το πολυπροπυλένιο (PP), ενώ στην περίπτωση αυτή η εταιρία κατατάσσει το φίλτρο ως κατάλληλο για επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων για μείωση του BOD, ενώ το παρουσιάζει και ικανό για μερική νιτροποίηση στην περίπτωση που έχει επιτευχθεί απομάκρυνση του BOD.

Σχήμα 4.3: Αναπαράσταση ροής υγρού σε φίλτρο Cross flow

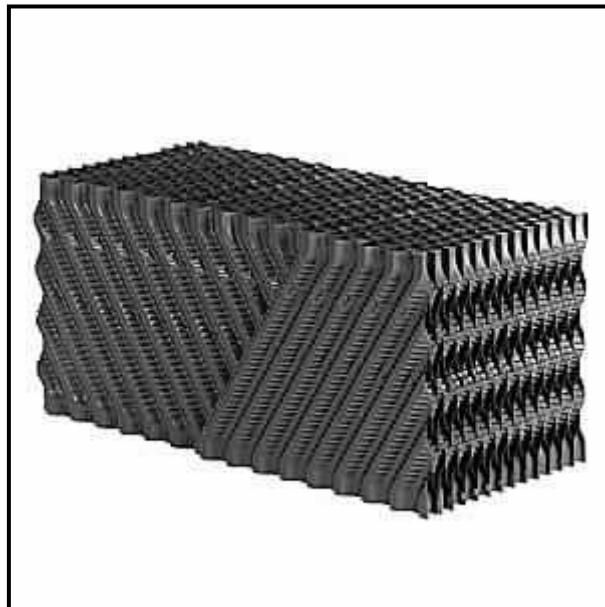


Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του όπως δίνονται από την κατασκευάστρια εταιρία είναι τα εξής:

Πίνακας 4.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά φίλτρου διασταυρούμενης ροής

Κωδική Ονομασία	Υλικό	Ειδική Επιφάνεια ανά Μονάδα Όγκου (m^2/m^3)	Μέγιστη Εφαρμοζόμενη Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	Ποσοστό Διάκενων (%)
KZP 612	PP	240	80	>97

Εικόνα 4.5: GEA 2H Water Technologies KZP 612®



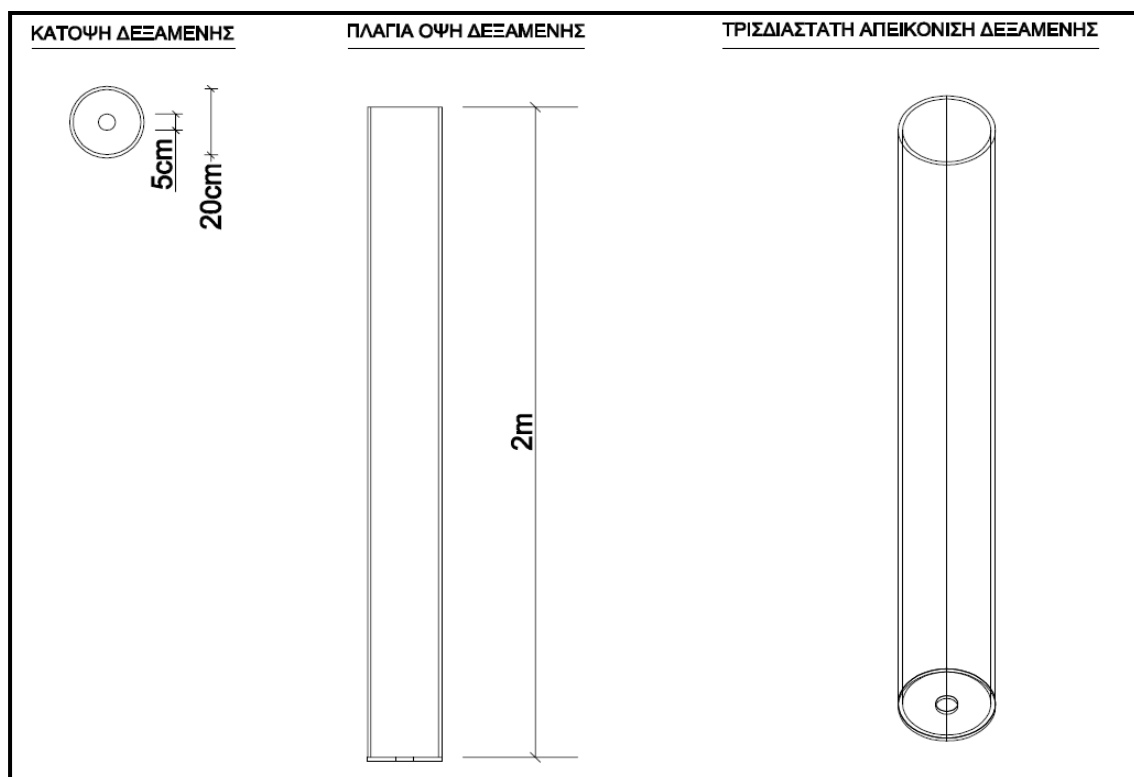
4.2.2 Δεξαμενές τοποθέτησης

Στο εργαστήριο τοποθετήθηκαν δύο δεξαμενές κατασκευασμένες από Plexiglass. Οι δεξαμενές ήταν κυλινδρικού σχήματος ανοιχτές στο επάνω μέρος, ενώ στο κάτω μέρος τους ήταν κλειστές με ένα τμήμα δίσκου το οποίο είχε κυκλική οπή στο κέντρο του για την αποστράγγιση των εκρεόντων λυμάτων. Στο **Σχήμα 4.6** φαίνεται η μορφή των δεξαμενών που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι διαστάσεις των δεξαμενών:

- Ύψος = 2m
- Εσωτερική διάμετρος = 20cm
- Εξωτερική διάμετρος = 21cm
- Διάμετρος οπής πυθμένα = 5cm

Σχήμα 4.6: Γραφική απεικόνιση δεξαμενών.



Οι δεξαμενές (μορφή στηλών) τοποθετήθηκαν πάνω σε ανοξείδωτες βάσεις με βραχίονα στήριξης προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη ανύψωση από το έδαφος για να τοποθετηθούν εν συνεχεία οι σωληνώσεις αποστράγγισης των επεξεργασμένων αποβλήτων.

Τέλος έγινε εισαγωγή των πληρωτικών υλικών εντός των δεξαμενών. Τα υλικά είχαν διάμετρο 20cm (ίση με την εσωτερική διάμετρο των δεξαμενών) και συνολικό βάθος 1,8m.

4.2.3 Σύστημα άντλησης αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα κατεύθαναν στον εργαστηριακό χώρο σε δοχεία των 25L τα οποία ήταν τοποθετημένα στο έδαφος. Για κάθε δεξαμενή χρησιμοποιούταν ξεχωριστό δοχείο. Για την άντληση του λύματος από το έδαφος στην κορυφή της δεξαμενής χρησιμοποιήθηκαν περισταλτική αντλία τύπου PERCOM-I ρυθμιζόμενης παροχής και διπλής κεφαλής τύπου Watson Marlow, η οποία ήταν ικανή να αντλεί από δύο εισόδους παράλληλα με την ίδια ακριβώς παροχή.

Το σύστημα άντλησης διοχέτευε τα απόβλητα στο σύστημα ομοιόμορφης κατανομής το οποίο κατασκευάσθηκε εξ' ολοκλήρου στο εργαστήριο.

4.2.4 Σύστημα ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια των φίλτρων

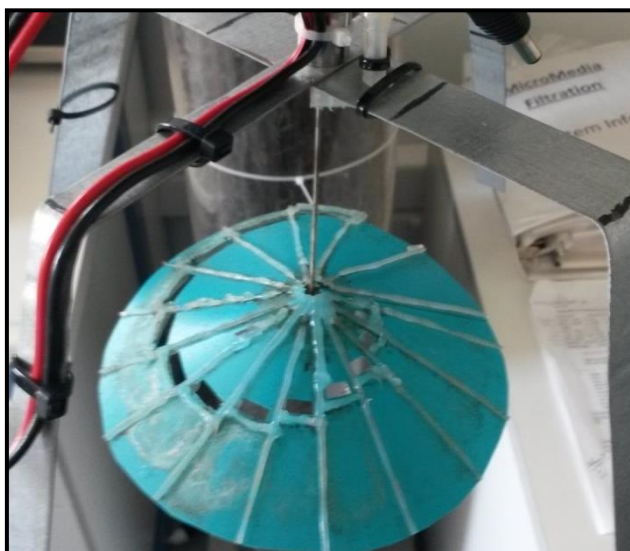
Η άντληση των αποβλήτων από τα δοχεία δειγματοληψίας είχε ως αποτέλεσμα την εκροή τους σε ένα συγκεκριμένο σημείο της κορυφής των δεξαμενών. Ωστόσο, η σχετικά μικρή παροχή είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία ομοιόμορφης φόρτισης όλης της εγκάρσιας επιφάνειας των φίλτρων. Έτσι, προκειμένου να υπάρχει ομοιομορφία στην ανάπτυξη της βιομάζας και κατ' επέκταση μεγαλύτερη επαφή και αξιοποίηση όλης της ειδικής επιφάνειας του φίλτρου ήταν απαραίτητη η κατασκευή ενός συστήματος το οποίο θα παρέχει τον όγκο των αποβλήτων σε όλη την επιφάνεια του φίλτρου.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από:

- Ηλεκτρικό κινητήρα τάσης 12 Volt, με ταχύτητα περιστροφής 30 στροφές ανά λεπτό (rpm)
- Διάτρητο κώνο με κανάλια διαφορετικού μήκους (διάμετρος κάτοψης 19cm)

Η λειτουργία του βασίζεται στο γεγονός ότι διατηρώντας σταθερό το σημείο απόρριψης των εισρεόντων λυμάτων, περιστρέφεται από κάτω ένας κώνος ο οποίος διαθέτει επιφανειακά κανάλια συλλογής του υγρού που πέφτει. Κάθε κανάλι έχει διαφορετικό μήκος και στο τέλος του υπάρχει μια οπή. Έτσι αναλόγως σε ποιο (τυχαίο λόγω περιστροφής) κανάλι θα πέσει η ποσότητα του υγρού, θα ακολουθήσει και το ανάλογο μήκος πορείας και θα διέλθει μέσω της οπής. Ανάλογα με την οπή από την οποία θα διέλθει εξαρτάται και η απόσταση από το κέντρο του κυλίνδρου στην οποία τελικά θα φτάσει πάνω στο φίλτρο. Η περιστροφή του κώνου εξασφαλίζει την τυχαία ρίψη υγρού σχεδόν σε όλη την επιφάνεια του φίλτρου. Στην **Εικόνα 4.7** παρουσιάζεται η εργαστηριακή υλοποίηση του σχεδίου.

Εικόνα 4.7: Φωτογραφία κώνου διανομής αποβλήτων στο εργαστήριο.



4.2.5 Σύστημα αποστράγγισης εκρεόντων

Πρόκειται για ένα απλό σύστημα σωληνώσεων προσαρτημένο στην οπή του κάτω μέρους της δεξαμενής. Τα υγρά απόβλητα ρέουν μέσω αυτής στο σύστημα σωληνώσεων και οδηγούνται στη δεξαμενή συγκέντρωσης των επεξεργασμένων αποβλήτων. Η ροή αυτή δεν απαιτεί αντλία αφού ικανοποιείται μέσω της βαρύτητας.

4.2.6 Σύστημα αερισμού

Το σύστημα αερισμού εφαρμόσθηκε επιλεκτικά, σε κάποιες πειραματικές δοκιμές. Μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου στα εκρέοντα απόβλητα (σε συνδυασμό με μειωμένη απόδοση των φίλτρων) υπέδειξαν την ανάγκη για εμπλουτισμό της διεργασίας με οξυγόνο.

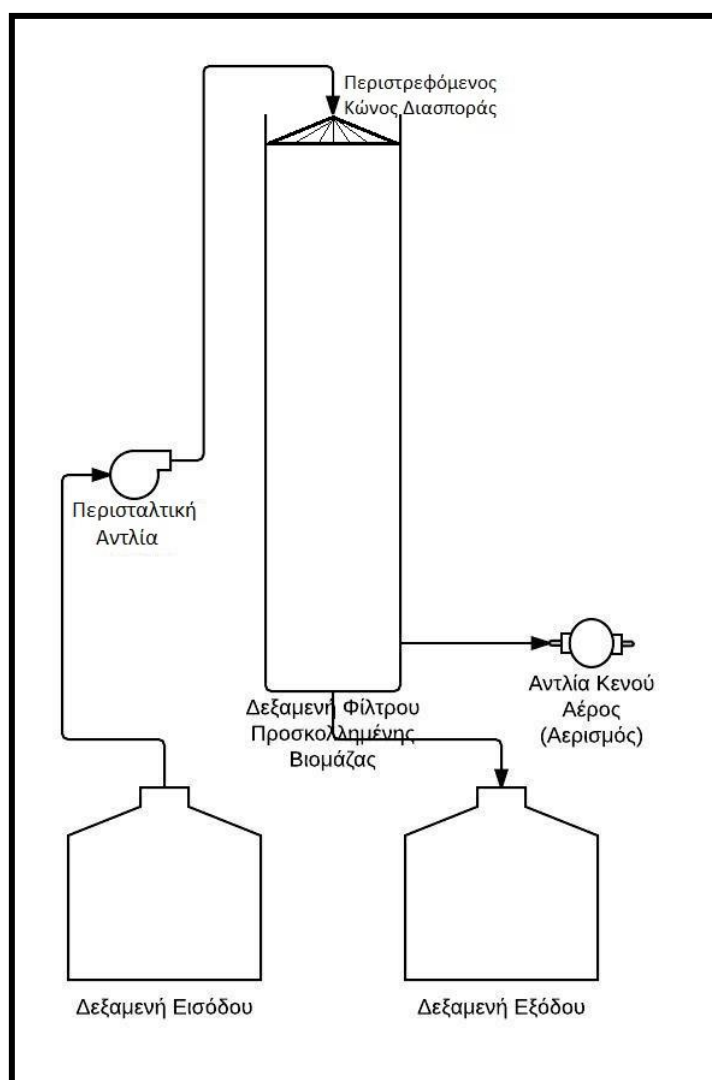
Στην παρούσα πειραματική διαδικασία δοκιμάσθηκαν τρία είδη αερισμού. Ο φυσικός (ανοίγοντας οπές στο κάτω μέρος της δεξαμενής), η προσθήκη αέρα με σύστημα ανεμιστήρων στο κάτω μέρος της δεξαμενής και τέλος η άντληση αέρα από το κάτω μέρος της δεξαμενής με αντλία κενού. Μετρήσεις στο διαλυμένο οξυγόνο των εκρεόντων αποβλήτων οδήγησαν στην επιλογή της τρίτης μεθόδου ως πιο αποδοτικής.

Πιο αναλυτικά, στον πυθμένα κάθε δεξαμενής ανοίχθηκε οπή 1cm στην οποία εφαρμόσθηκε αεροστεγώς σωλήνας συνδεδεμένος με αντλία κενού. Αντλώντας αέρα, το μόνο σημείο εισόδου ήταν το πάνω μέρος της δεξαμενής, καθώς στο κάτω μέρος το σύστημα σωληνώσεων ήταν εμβυθισμένο στη δεξαμενή συλλογής των επεξεργασμένων αποβλήτων. Η διαδικασία αυτή οδήγησε μεγάλη αύξηση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στα επεξεργασμένα απόβλητα, άρα και στο εσωτερικό των φίλτρων.

4.2.7 Επισκόπηση εγκατάστασης

Το τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής ήταν μια εγκατάσταση η οποία αντλούσε υγρά απόβλητα από ένα δοχείο, τα ανύψωνε και τα διέσπειρε ομοιόμορφα στην επιφάνεια βιολογικών φίλτρων, μετά από κάθοδο και επεξεργασία σε βάθος 1,8m τα επεξεργασμένα λύματα κατέληγαν σε ένα δοχείο συλλογής των εκροών. Φυσικά η λειτουργία γινόταν παράλληλα με το σύστημα αερισμού, το οποίο διατηρούσε τα απαραίτητα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου για να είναι δυνατή η βιολογική επεξεργασία. Το διάγραμμα ροής της εργαστηριακής διάταξης φαίνεται στην **Εικόνα 4.8**. Και στην **Εικόνα 4.9** παρουσιάζεται η υλοποίηση του στον εργαστηριακό χώρο.

Εικόνα 4.8: P&I Εργαστηριακής επεξεργασίας με βιολογικά φίλτρα.



Εικόνα 4.9: Τελική μορφή εργαστηριακής εγκατάστασης



4.2.8 Αρχική προσκόλληση βιομάζας στα πληρωτικά υλικά

Τα πληρωτικά υλικά, προκειμένου να προσκολληθούν οι αρχικοί μικροοργανισμοί στην επιφάνειά τους, τοποθετήθηκαν για 14 ημέρες (13/10/2014 έως 27/10/2014) εντός της δεξαμενής αερισμού της μονάδας βιολογικού καθαρισμού Χανίων. Στη συνέχεια εισήχθησαν στις δεξαμενές του εργαστηρίου και η φόρτισή τους συνεχίστηκε για 7 ημέρες (27/10/2014 έως 3/11/2014). Κατά τη φόρτιση τους στο εργαστήριο τροφοδοτούνταν καθημερινά με λύμα από τον βιολογικό καθαρισμό Χανίων εμπλουτισμένο με θρεπτικά συστατικά. (σημείο δειγματοληψίας μετά την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και πριν τη δεξαμενή αερισμού). Στην **Εικόνα 4.10** παρουσιάζεται η τοποθέτηση στη δεξαμενή αερισμού.

Εικόνα 4.10: Τοποθέτηση των πληρωτικών υλικών στη δεξαμενή αερισμού της μονάδας βιολογικού καθαρισμού Δήμου Χανίων.



4.3 Πειραματική μέθοδος

Η πειραματική μέθοδος περιελάμβανε τη λήψη δείγματος από μονάδα βιολογικού καθαρισμού, από την έξοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης. Το δείγμα επεξεργαζόταν στο εργαστήριο με χρήση της μεθόδου των βιολογικών φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας. Τέλος, γίνονταν μετρήσεις των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εισρεόντων και εκρεόντων αποβλήτων με σκοπό τον έλεγχο της απόδοσης των πληρωτικών υλικών σε διάφορες διεργασίες απορρύπανσης.

4.3.1 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιούνταν (τις περισσότερες φορές επί καθημερινής βάσης) από την εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του Δήμου Χανίων.

Η συλλογή γινόταν με αντλία από σημείο αγωγού ο οποίος μετέφερε τα υγρά απόβλητα από την έξοδο της δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης στην είσοδο της δεξαμενής αερισμού. Αυτό σημαίνει πως είχαν υποστεί πρωτογενή διαύγαση αλλά δεν είχαν υποστεί καμία βιολογική επεξεργασία πέραν της φυσικής αποδόμησης που συμβαίνει σε κάθε οργανικό φορτίο που εμπεριέχει μικροοργανισμούς.

Λαμβάνονταν 40 έως 50L αποβλήτου μοιρασμένα ισόποσα σε δύο δοχεία. Στη συνέχεια τα δοχεία αυτά μεταφέρονταν στο εργαστήριο και συνδέονταν στην αντλία που τα μετέφερε στην κορυφή των δεξαμενών των βιοφίλτρων.

4.3.2 Επεξεργασία αποβλήτων

Τα απόβλητα στον χώρο του εργαστηρίου επεξεργάζονταν μόνο με βιολογική επεξεργασία στις αντίστοιχες δεξαμενές βιολογικών φίλτρων. Η αρχική παροχή τροφοδοσίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν $Q=1\text{L/h}$ με ειδική φόρτιση $q = 0,00796\text{m/h}$ και στη συνέχεια ελέγχθησαν και άλλες παροχές.

Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε για την άντληση των υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια των φίλτρων είχε ελάχιστη παροχή εκείνη του 1L/h. Βιβλιογραφικά είναι αποδεδειγμένο πως χαμηλότερες παροχές οδηγούν σε χαμηλότερες υδραυλικές και οργανικές φορτίσεις, χαμηλότερες ταχύτητες ροής και κατ' επέκταση υψηλότερους χρόνους παραμονής και επαφής του αποβλήτου με την επιφάνεια του φίλτρου. Πέραν του 1L/h η παροχή ρυθμίστηκε και στα 2L/h και ειδική φόρτιση $q = 0,01592\text{m/h}$, παρ' όλ' αυτά τα αποτελέσματα απόδοσης ήταν αισθητά μειωμένα, όπως ήταν αναμενόμενο, και για το λόγο αυτό δεν συνεχίσθηκε η σταδιακή αύξηση της παροχής.

Τα επεξεργασμένα λύματα συλλέγονταν σε ξεχωριστή δεξαμενή χωρίς να γίνεται ανακυκλοφορία κάποιας ποσότητας, καθώς σκοπός μας ήταν να ελέγξουμε την απόδοση των φίλτρων για μία μοναδική διέλευση από το εσωτερικό τους.

4.3.3 Απόρριψη επεξεργασμένων και μη επεξεργασμένων αποβλήτων

Τα επεξεργασμένα απόβλητα, αλλά και τυχόν υπολείμματα ανεπεξέργαστων αποβλήτων απορρίπτονταν στην αποχέτευση του Πολυτεχνείου Κρήτης.

4.4 Μέθοδοι ανάλυσης

4.4.1 BOD

Για την μέτρηση του BOD_5 ακολουθήθηκε η διαδικασία σύμφωνα με τα Standard Methods. Συνοπτικά, λαμβανόταν το επιθυμητό δείγμα, βάσει του αναμενόμενου BOD πραγματοποιούνταν και ανάλογη αραίωση με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια, το διάλυμα τοποθετούνταν σε δοχείο στο οποίο εισαγόταν ακροφύσιο διοχέτευσης αέρα με σκοπό τον κορεσμό του διαλύματος σε οξυγόνο.

Παράλληλα, στο διάλυμα τοποθετούνταν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Μετά τον αερισμό, το διάλυμα μοιραζόταν σε δύο γυάλινα μπουκάλια Robotic των 300ml. Σε κάθε μπουκάλι γινόταν μέτρηση

του διαλυμένου οξυγόνου με χρήση του οξυγονόμετρου WTW Multi 3410 και του ανάλογου ηλεκτροδίου. Έπειτα, τα μπουκάλια κλείνονταν και τοποθετούνταν για 5 24ωρα σε θερμοστατούμενο θάλαμο WTW με σταθερή θερμοκρασία $20 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Τέλος, με το πέρας των 5 24ώρων, τα μπουκάλια λαμβάνονταν από το θερμοστατούμενο θάλαμο, και πραγματοποιούνταν η τελικές μετρήσεις του διαλυμένου οξυγόνου. Το BOD_5 είναι η διαφορά των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου πολλαπλασιασμένη με την αρχική αραίωση του δείγματος. Στην περίπτωση μας, το BOD_5 προέκυπτε από την μέση τιμή των δύο επιμέρους BOD (για λόγους ακρίβειας). Ο τελικός μαθηματικός τύπος που προσομοιάζει την παραπάνω μεθοδολογία είναι:

$$\text{BOD}_5 = \frac{(\text{DO}_{\text{αρχικό}(1)} - \text{DO}_{5(1)}) * \text{Αραίωση} + (\text{DO}_{\text{αρχικό}(2)} - \text{DO}_{5(2)}) * \text{Αραίωση}}{2}$$

4.4.2 TOC

Η μέτρηση του TOC γινόταν με την συσκευή Shimadzu TOC-5000A. Η διαδικασία ήταν: Έχοντας το δείγμα προς ανάλυση, λαμβάνονταν περίπου 2-3ml με σύριγγα, στη συνέχεια τοποθετούνταν στην άκρη της φίλτρο διήθησης Sartorius Minisart 0,45μm για την συγκράτηση των στερεών. Διηθούνταν περίπου 1ml του δείγματος και τοποθετούνταν σε γυάλινο δοχείο.

Τέλος, τοποθετούνταν το σωληνάκι δειγματοληψίας του οργάνου εντός του δοχείου δείγματος και πραγματοποιούνταν η μέτρηση. Το όργανο ήταν βαθμονομημένο και ρυθμισμένο να ολοκληρώνει 2 μετρήσεις για κάθε δείγμα (ή 3 αν κάποια από τις 2 πρώτες ήταν εκτός των ορίων βαθμονόμησης). Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή των μετρήσεων του οργάνου.

4.4.3 COD

Για την πραγματοποίηση μετρήσεων COD ακολουθήθηκε πλήρης μέθοδος της εταιρίας HACH με χρήση αντιδραστηρίων, φούρνου και φασματοφωτόμετρου της ίδιας εταιρίας.

Πιο αναλυτικά, λαμβάνονταν 1ml του δείγματος, τοποθετούνταν σε φιάλες αντιδραστηρίων της εταιρίας HACH με κωδικές ονομασίες LCK 514 (605nm), LCK 314 (448nm) ή LCK 114 (605nm) ανάλογα με το αναμενόμενο COD και αναδεύονταν χειρονακτικά. Στη συνέχεια οι φιάλες τοποθετούνταν στον αυτοματοποιημένο φούρνο HACH LT200. Η λειτουργία του είχε προγραμματισμένη θερμοκρασία 150°C και χρόνο παραμονής 2 ώρες.

Τέλος, τα φιαλίδια παρέμεναν για κάποια λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου έως ότου να κρυώσουν και τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο HACH DR2800 το οποίο αναγνώριζε αυτόματα το Barcode του αντίστοιχου φιαλιδίου, ρύθμιζε το απαιτούμενο μήκος κύματος (για τα LCK 514 και LCK 114 στα 605nm και για το LCK 314 στα 448nm) και εμφάνιζε το αποτέλεσμα του COD.

4.4.4 TSS

Η μέθοδος με την οποία μετρήθηκαν τα TSS των δειγμάτων ήταν η κλασσική μέθοδος διήθησης και ζύγισης φίλτρων. Πιο αναλυτικά, τα φίλτρα Whatman, Glass Microfiber Filters 934-AH (0,45μm) ξεραίνονταν για 45 λεπτά σε φούρνο Memmert U100 σε θερμοκρασία 100°C, στη συνέχεια ζυγίζονταν σε ζυγαριά ακριβείας Kern & Sohn ABJ-NM, διηθούνταν 100ml υγρού δείγματος και ξεραίνονταν ξανά σε φούρνο. Τέλος, τοποθετούνταν σε αφυγραντήρα για λίγα λεπτά και ζυγίζονταν για τελευταία φορά. Η διαφορά του βάρους του φιλτρακίου ανά 100ml δείγματος ήταν και το τελικό αποτέλεσμα της τιμής των TSS.

4.4.5 DO, pH

Οι μετρήσεις για DO και pH πραγματοποιήθηκαν με την ίδια συσκευή μέτρησης χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Η συσκευή είναι η WTW Multi 3410.

4.4.6 Αμμωνιακά, νιτρικά ιόντα, νιτρώδη

Για την μέτρηση των αμμωνιακών ιόντων χρησιμοποιούνταν ένα πλήρες σετ της HACH, με ονομασία HACH Nessler Kit και το φασματοφωτόμετρο HACH DR2800. Η διαδικασία ξεκινούσε, αρχικά με την βαθμονόμηση του φασματοφωτόμετρου με τυφλό διάλυμα απιονισμένου νερού και των αντιδραστηρίων του Kit. Έπειτα για την μέτρηση του αναφερόμενου δείγματος, προστίθονταν τα αντίστοιχα αντιδραστήρια του Kit, το δείγμα τοποθετούταν στην κυψελίδα και πραγματοποιούταν μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο.

Για την μέτρηση των νιτρικών ιόντων χρησιμοποιούνταν τα αντιδραστήρια της ίδιας εταιρίας με κωδική ονομασία HACH LCK 339 στα οποία τοποθετούταν η απαιτούμενη ποσότητα υγρού δείγματος και έπειτα από την απαραίτητη επεξεργασία μετρούνταν αυτόματα από το φασματοφωτόμετρο χωρίς να απαιτείται βαθμονόμηση. Αντίστοιχη διαδικασία εφαρμόζονταν για την μέτρηση των νιτρωδών, με χρήση των ανάλογων αντιδραστηρίων.

4.5 Έλεγχος αξιοπιστίας μετρήσεων TOC και δειγματοληψίας

4.5.1 Μέτρηση αβεβαιότητας TOC

Κατά την περίοδο φόρτισης των μονάδων επεξεργασίας στο εργαστήριο, παρατηρήθηκαν ορισμένες διακυμάνσεις στα επίπεδα του μετρούμενου TOC. Προκειμένου να εξασφαλίσουμε την εγκυρότητα των μελλοντικών αποτελεσμάτων πραγματοποιήσαμε μέτρηση αβεβαιότητας για τις μετρήσεις του TOC.

Ουσιαστικά λαμβάνοντας ένα δείγμα αποβλήτου, διηθήσαμε ικανοποιητική ποσότητα αυτού και μετρήσαμε το TOC 5 φορές. Τελικά, καταλήξαμε σε 5 μετρήσεις οι οποίες αφορούν στην ουσία το ίδιο δείγμα με την ίδια φίλτρανση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.11**

Πίνακας 4.11: Αποτελέσματα μέτρησης αβεβαιότητας TOC

Αριθμός Μέτρησης	TOC (ppm)
1	124,9
2	126,1
3	126,3
4	125,7
5	126,3

Βάσει των στοιχείων αυτών καταλήγουμε στα εξής:

- Ελάχιστη τιμή = 124,9ppm
- Μέση τιμή = 125,86ppm
- Μέγιστη τιμή = 126,3ppm
- Τυπική απόκλιση = 0,5276
- Διακύμανση = 0,2784

Οι μαθηματικές σχέσεις με τις οποίες υπολογίσθηκαν η Τυπική Απόκλιση και η Διακύμανση είναι:

$$\text{Τυπική Απόκλιση: } S = \sqrt{S^2}$$

Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και επιβεβαίωσαν την ορθή λειτουργία του εξοπλισμού.

4.5.2 Έλεγχος αξιοπιστίας δειγματοληψίας

Μια ακόμη σημαντική διαδικασία του εγχειρήματος ήταν η δειγματοληψία. Για τον λόγο αυτό ελέγχθηκε η ομαλότητα κατά τη διεκπεραίωση της, λαμβάνοντας 5 διαφορετικά δείγματα από το ίδιο δοχείο και μετρώντας το αντίστοιχο TOC (αφού η ποιότητα των αποτελεσμάτων του TOC είχε ελεγχθεί)

Παράλληλα με τις μετρήσεις του TOC, στα ίδια δείγματα πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις BOD με σκοπό την παρατήρηση της εξάρτησης των δύο αυτών τιμών. Τα αποτελέσματα του BOD δεν αποτέλεσαν κριτήριο αξιοπιστίας της δειγματοληψίας, αλλά ένα εγχείρημα ελέγχου εξάρτησης.

Στον **Πίνακα 4.12** παρουσιάζονται οι μετρήσεις του TOC και BOD για καθένα από τα 5 δείγματα.

Πίνακας 4.12: Μετρήσεις TOC και BOD (παράλληλα) για 5 διαφορετικές δειγματοληψίες.

Αριθμός Δείγματος	TOC (ppm)	BOD (mg/l)
1	121,7	195
2	116,2	190
3	120,6	195
4	118,6	190
5	119,2	195

Βάσει των τιμών του TOC καταλήγουμε στα εξής:

- Ελάχιστη τιμή = 116,2ppm
- Μέση τιμή = 119,26ppm
- Μέγιστη τιμή = 120,6ppm
- Τυπική απόκλιση = 3,5096
- Διακύμανση = 1,8734

Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και επιβεβαίωσαν την αξιοπιστία της δειγματοληψίας. Η κάπως μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και διακύμανση δικαιολογείται από πιθανές αλλαγές στο σημείο λήψης του αποβλήτου από το δοχείο και από τυχόν καθίζηση του αποβλήτου στον ενδιάμεσο χρόνο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά την διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων, ελέγχθηκαν 3 συνθήκες λειτουργίας. Οι αλλαγές αφορούσαν τον αερισμό και την παροχή. Κατ' επέκταση επηρεάζονταν και οι υδραυλικές και οργανικές φορτίσεις των φίλτρων. Οι δοκιμές στις συνθήκες που έλαβαν χώρα ήταν:

- Παροχή $Q = 1 \text{ L/h}$, Ρυθμός υδραυλικής φόρτισης $q = 0,00796 \text{ m/h}$
- Παροχή $Q = 1 \text{ L/h}$, Ρυθμός υδραυλικής φόρτισης $q = 0,00796 \text{ m/h}$, με σύστημα αερισμού
- Παροχή $Q = 2 \text{ L/h}$, Ρυθμός υδραυλικής φόρτισης $q = 0,01592 \text{ m/h}$, με σύστημα αερισμού

Παρακάτω θα παρουσιασθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων για κάθε σύνολο συνθηκών ξεχωριστά, ενώ θα ακολουθήσουν και συγκριτικά στοιχεία. Στους πίνακες παρουσίασης των αποτελεσμάτων η έννοια “Αριθμός Μέτρησης” αφορά μέτρηση σε διαφορετική ημέρα, με καινούρια δειγματοληψία και εκ νέου επεξεργασία του λύματος.

5.1 Αποτελέσματα παροχής $Q = 1 \text{ L/h}$, ρυθμού υδραυλικής φόρτισης $q = 0,00796 \text{ m/h}$

5.1.1 pH και DO

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνταν καθημερινά με σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας. Στον **Πίνακα 5.1.1** παρουσιάζονται οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων για κάθε μια από τις δύο μονάδες φίλτρων για το σύνολο των μετρήσεων υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας.

Πίνακας 5.1.1: Τιμές pH και DO ($Q = 1 \text{ L/h}$).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
DO Εισόδου (mg/l)	0	0	0	0	0
pH Εισόδου	7,3	7,2	7,9	7,7	7,3
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
DO Εξόδου (mg/l)	1,98	2,01	2,24	2,13	1,87
pH Εξόδου	7,5	7,4	7,9	7,9	7,5
Φίλτρο Cross Flow					
DO Εξόδου (mg/l)	1,98	0,1	0,15	0,18	0,8
pH Εξόδου	7,8	7,5	8	7,9	7,6

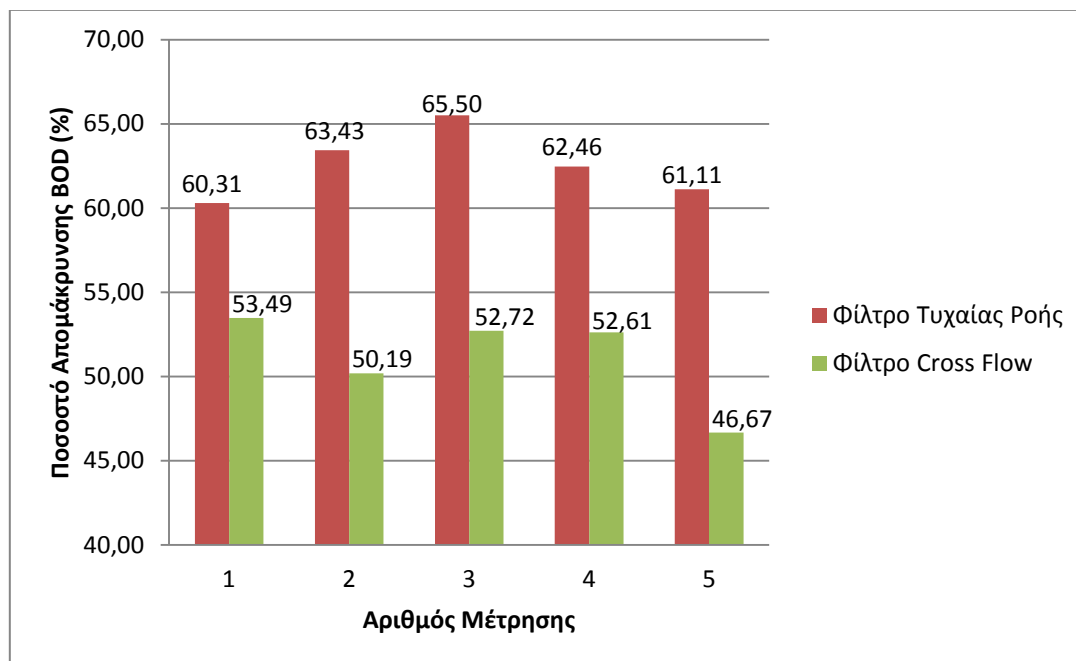
5.1.2 Αποτελέσματα BOD

Τα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων του BOD παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.1.2** ενώ στο **Διάγραμμα 5.1.3** εμφανίζονται γραφικά τα ποσοστά απομάκρυνσης BOD για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.1.2: Μετρήσεις BOD ($Q = 1 \text{ L/h}$).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
BOD Εισόδου (mg/l)	228,75	210,00	208,13	205,13	198,00
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
BOD Εξόδου (mg/l)	90,80	76,80	71,80	77,00	77,00
Απομάκρυνση BOD (mg/l)	137,95	133,20	136,33	128,13	121,00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	60,31	63,43	65,50	62,46	61,11
Φίλτρο Cross Flow					
BOD Εξόδου (mg/l)	106,40	104,60	98,40	97,20	105,60
Απομάκρυνση BOD (mg/l)	122,35	105,40	109,73	107,93	92,40
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	53,49	50,19	52,72	52,61	46,67

Διάγραμμα 5.1.3: Ποσοστά απομάκρυνσης BOD για κάθε φίλτρο ($Q=1\text{L/h}$).



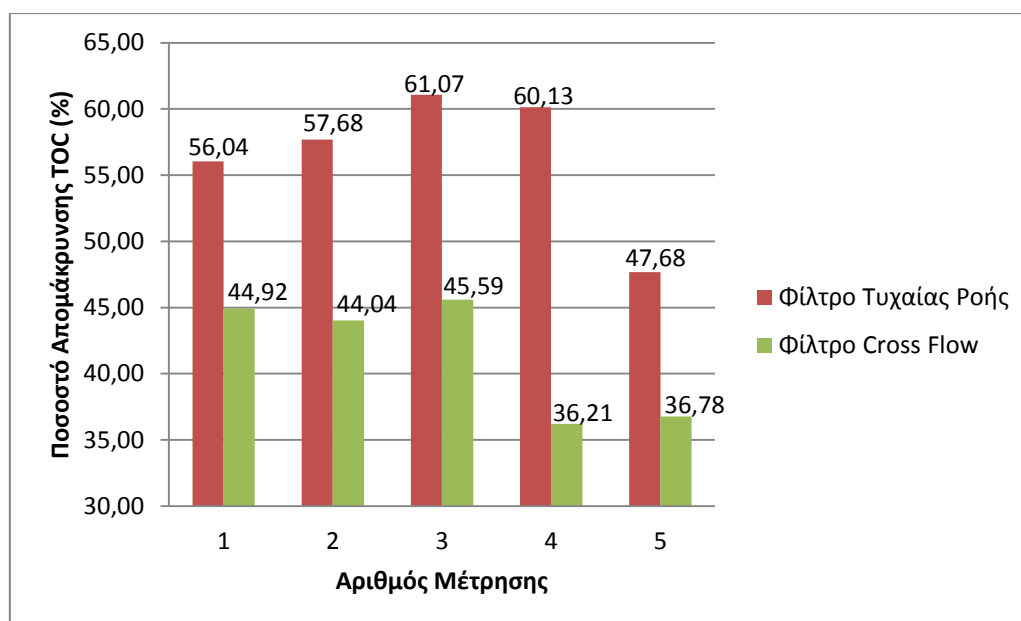
5.1.3 Αποτελέσματα TOC

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα του TOC και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.1.4**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.1.5** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης TOC για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.1.4: Μετρήσεις TOC και ποσοστά απομάκρυνσης ($Q = 1 \text{ L/h}$).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
TOC Εισόδου (ppm)	137,70	128,30	129,30	150,50	124,80
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
TOC Εξόδου (ppm)	60,53	54,30	50,34	60,00	65,30
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	56,04	57,68	61,07	60,13	47,68
Φίλτρο Cross Flow					
TOC Εξόδου (ppm)	75,84	71,8	70,35	96	78,9
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	44,92	44,04	45,59	36,21	36,78

Διάγραμμα 5.1.5: Ποσοστά απομάκρυνσης TOC για κάθε φίλτρο ($Q=1\text{L/h}$).



5.1.4 Αποτελέσματα COD

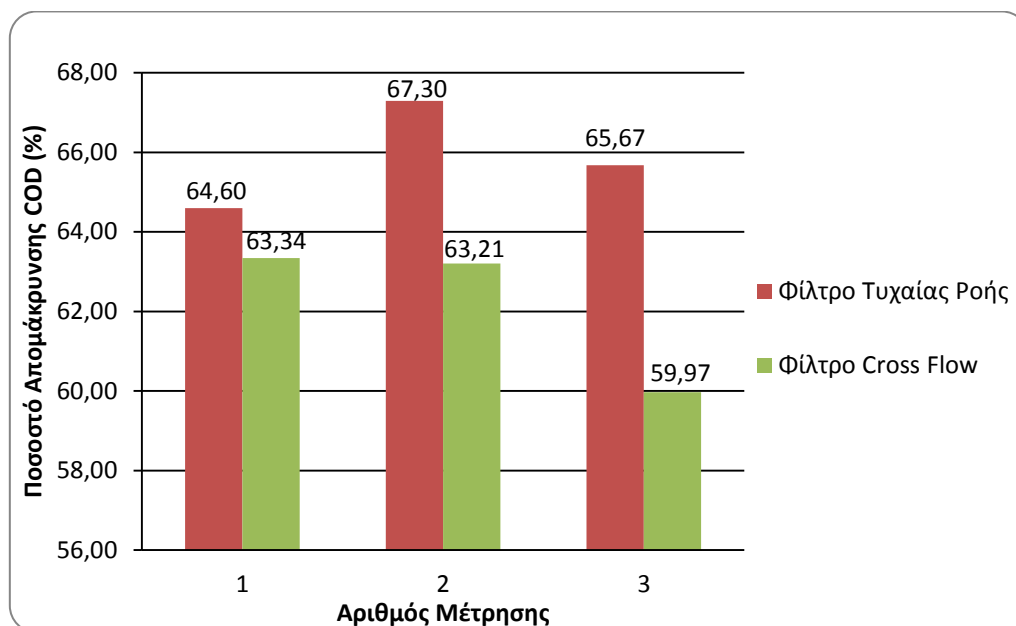
Τα αποτελέσματα του COD και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.1.6**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.1.7** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης COD για κάθε φίλτρο.

Για τις τιμές του COD πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις αντί των 5 που πραγματοποιήθηκαν σε άλλες τιμές.

Πίνακας 5.1.6: Μετρήσεις TOC και ποσοστά απομάκρυνσης ($Q = 1 \text{ L/h}$).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
COD Εισόδου (mg/l)	335,00	-	318,00	-	298,00
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
COD Εξόδου (mg/l)	118,60	-	104,00	-	102,30
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	64,60	-	67,30	-	65,67
Φίλτρο Cross Flow					
COD Εξόδου (mg/l)	122,80	-	117,00	-	119,30
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	63,34	-	63,21	-	59,97

Διάγραμμα 5.1.7: Ποσοστά απομάκρυνσης COD για κάθε φίλτρο ($Q=1\text{L/h}$).



Στο **Διάγραμμα 5.1.7** οι αριθμοί των μετρήσεων αντιστοιχούν στις μετρήσεις του **Πίνακα 5.1.6**.

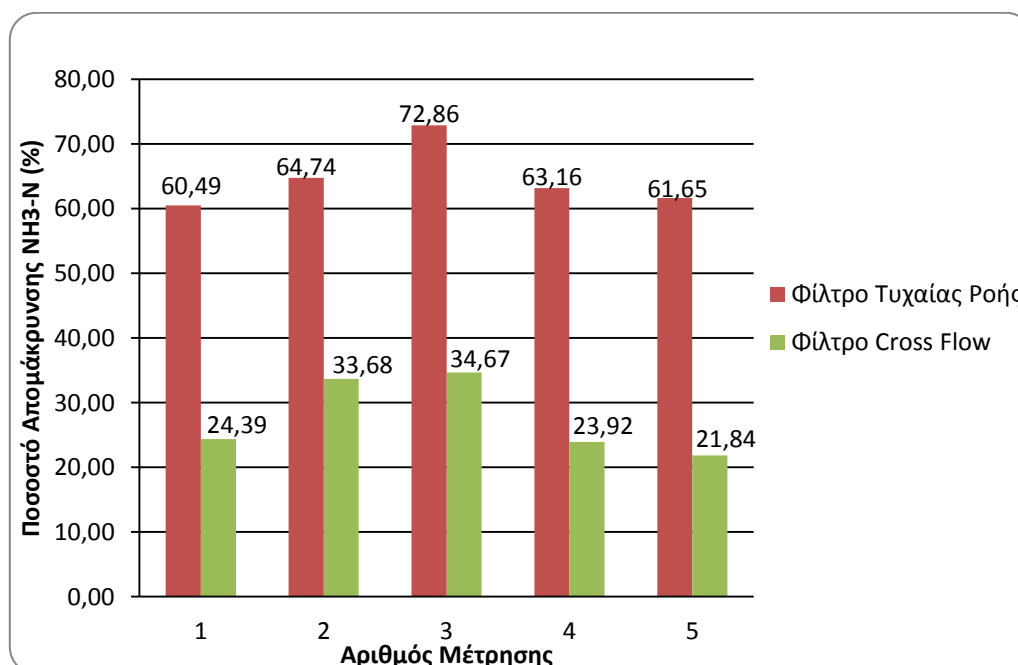
5.1.5 Αποτελέσματα NH₃-N

Οι μετρήσεις των NH₃-N και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.1.8**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.1.9** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης NH₃-N για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.1.8: Μετρήσεις NH₃-N και ποσοστά απομάκρυνσης (Q = 1 L/h).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
NH ₃ -N Εισόδου (mg/l)	51,25	47,50	49,75	52,25	51,50
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	20,25	16,75	13,50	19,25	19,75
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	60,49	64,74	72,86	63,16	61,65
Φίλτρο Cross Flow					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	38,75	31,5	32,5	39,75	40,25
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	24,39	33,68	34,67	23,92	21,84

Διάγραμμα 5.1.9: Ποσοστά απομάκρυνσης NH₃-N για κάθε φίλτρο (Q=1L/h).



5.1.6 Αποτελέσματα NO₃-N και NO₂-N

Συνολικά μετρήθηκαν 3 φορές NO₃-N και NO₂-N, τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.1.10**. Επίσης στον πίνακα συμπεριλήφθηκαν ξανά οι αντίστοιχες μετρήσεις των NH₃-N καθώς και οι αθροιστικές συγκεντρώσεις ενώσεων αζώτου με σκοπό να γίνει εμφανής η τυχόν επαλήθευση των ισοζυγίων που αφορούν την μετατροπή του.

Πίνακας 5.1.10: Μετρήσεις NO₃-N και NO₂-N (Q = 1 L/h).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
NH ₃ -N Εισόδου (mg/l)	51.25	-	49.75	-	51.50
NO ₃ -N Εισόδου (mg/l)	0.00	-	0.00	-	0.00
NO ₂ -N Εισόδου (mg/l)	0.00	-	0.00	-	0.00
Άθροισμα (mg/l)	51.25	-	49.75	-	51.50
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	20.25	-	13.50	-	19.75
NO ₃ -N Εξόδου (mg/l)	27.5	-	32.1	-	28.7
NO ₂ -N Εξόδου (mg/l)	3.5	-	4.3	-	4.7
Άθροισμα (mg/l)	51.25	-	49.90	-	53.15
Φίλτρο Cross Flow					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	38.75	-	32.5	-	40.25
NO ₃ -N Εξόδου (mg/l)	10.7	-	14.9	-	8.2
NO ₂ -N Εξόδου (mg/l)	2.90	-	3.50	-	3.60
Άθροισμα (mg/l)	52.35	-	50.90	-	52.05

5.1.7 Αποτελέσματα TSS

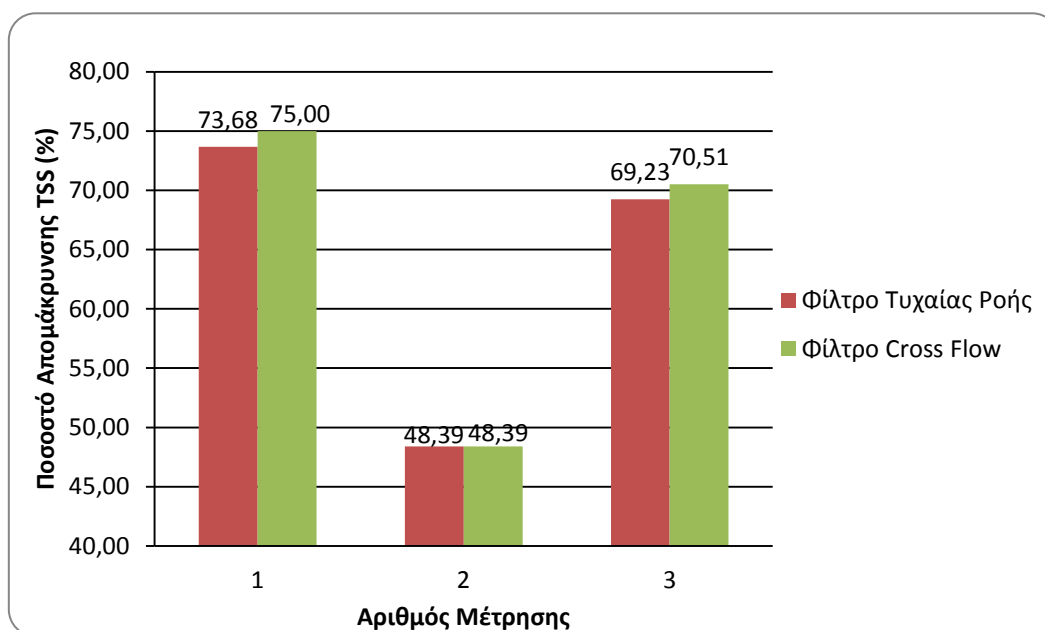
Για τις συνθήκες αυτές, μετρήθηκαν συνολικά 3 φορές τα ολικά αιωρούμενα στερεά. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης για κάθε φίλτρο φαίνονται στον **Πίνακα 5.1.11**.

Επίσης στο **Διάγραμμα 5.1.12** παρουσιάζονται γραφικά τα ποσοστά απομάκρυνσης των TSS για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.1.11: Μετρήσεις TSS και αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης (Q = 1 L/h).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
TSS Εισόδου (mg/ml)	76.00	-	31.00	-	78.00
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
TSS Εξόδου (mg/ml)	20.00	-	16.00	-	24.00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	73.68	-	48.39	-	69.23
Φίλτρο Cross Flow					
TSS Εξόδου (mg/l)	19.00	-	16.00	-	23.00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	75.00	-	48.39	-	70.51

Διάγραμμα 5.1.12: Ποσοστά απομάκρυνσης TSS για κάθε φίλτρο (Q=1L/h).



Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως οι διακυμάνσεις στα ποσοστά απομάκρυνσης μεταξύ των διαφορετικών μετρήσεων που παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 5.1.12** είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών συγκεντρώσεων TSS στα εισρέοντα απόβλητα. Βάσει των μετρήσεων τα φίλτρα παρουσίασαν μία τάση απομάκρυνσης μεγαλύτερων ποσοστών TSS όταν οι αρχικές συγκεντρώσεις ήταν υψηλότερες. Λόγω των χαμηλών αρχικών συγκεντρώσεων στη 2^η μέτρηση παρουσιάσθηκαν και χαμηλά τελικά ποσοστά απομάκρυνσης και στα δύο φίλτρα.

5.2 Αποτελέσματα παροχής $Q = 1 \text{ L/h}$, ρυθμού υδραυλικής φόρτισης $q = 0,00796 \text{ m/h}$, με σύστημα αερισμού

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων χωρίς αερισμό με παροχή $Q = 1 \text{ L/h}$ παρουσίασαν μειωμένες αποδόσεις (σε σύγκριση με τις αναμενόμενες). Προκειμένου να επιλυθεί το ζήτημα έπρεπε να γίνει έλεγχος σε μειωμένες παροχές ή να αυξηθούν οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου..

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός ήταν ήδη ρυθμισμένος στην χαμηλότερη δυνατή παροχή αποβλήτου ενώ παράλληλα τα επίπεδα του διαλυμένου κυμαίνονταν από $0,1 \text{ mg/l}$ έως $2,24 \text{ mg/l}$ (**Πίνακας 5.1.1**), με εντονότερη απουσία διαλυμένου οξυγόνου στη διάταξη με φίλτρα Cross Flow. Για την αύξηση των συγκεντρώσεων προσαρμόσθηκε στο υπάρχον σύστημα, μια διάταξη ροής φυσικού αέρα από τα διάκενα των φίλτρων.

Στις νέες αυτές συνθήκες, πραγματοποιήθηκαν οι ίδιες ακριβώς μετρήσεις με τις προηγούμενες συνθήκες λειτουργίας έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

5.2.1 pH και DO

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιούνταν καθημερινά με σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας. Στον **Πίνακα 5.2.1** παρουσιάζονται οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων για κάθε μια από τις δύο μονάδες φίλτρων για το σύνολο των μετρήσεων υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας.

Πίνακας 5.2.1: Τιμές pH και DO ($Q = 1 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
DO Εισόδου (mg/l)	0	0	0	0	0
pH Εισόδου	7.70	7.3	7.6	7.4	7.4
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
DO Εξόδου (mg/l)	8.01	8.31	8.13	7.6	7.7
pH Εξόδου	7.90	7.5	7.8	7.7	7.6
Φίλτρο Cross Flow					
DO Εξόδου (mg/l)	7.83	7.93	7.71	7.9	7
pH Εξόδου	7.80	7.6	7.8	7.7	7.7

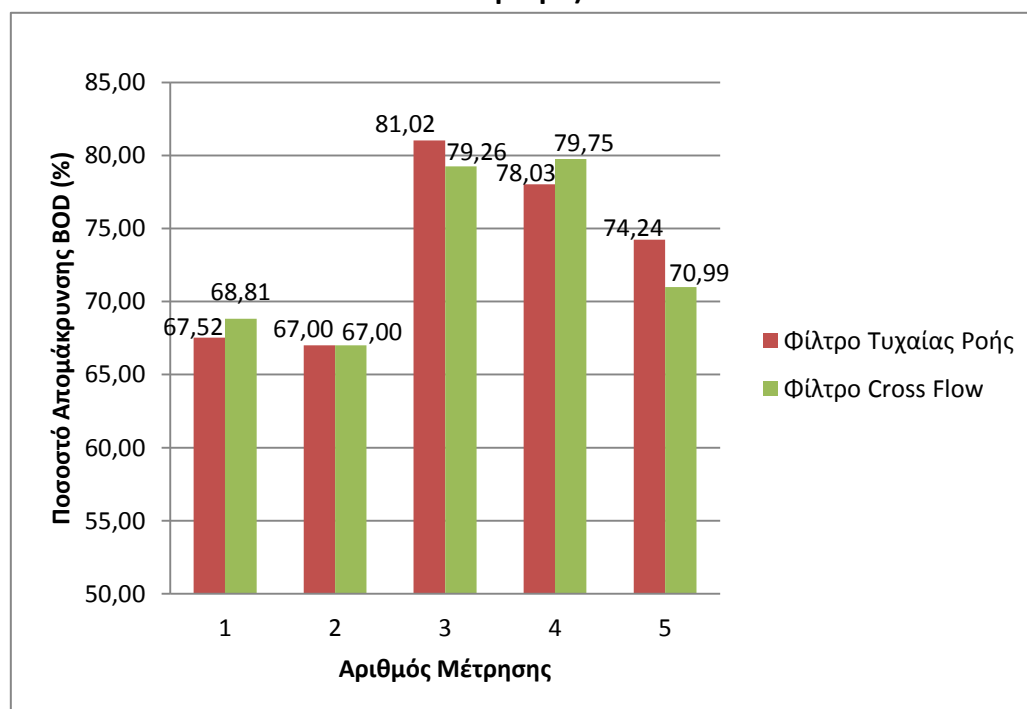
5.2.2 Αποτελέσματα BOD

Τα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων του BOD παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.2.2** ενώ στο **Διάγραμμα 5.2.3** εμφανίζονται γραφικά τα ποσοστά απομάκρυνσης BOD για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.2.2: Μετρήσεις BOD ($Q = 1 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
BOD Εισόδου (mg/l)	151.5	115	161.25	148.125	143.25
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
BOD Εξόδου (mg/l)	49.20	37.95	30.60	32.55	36.90
Απομάκρυνση BOD (mg/l)	102.30	77.05	130.65	115.58	106.35
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	67.52	67.00	81.02	78.03	74.24
Φίλτρο Cross Flow					
BOD Εξόδου (mg/l)	47.25	37.95	33.45	30.00	41.55
Απομάκρυνση BOD (mg/l)	104.25	77.05	127.80	118.13	101.70
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	68.81	67.00	79.26	79.75	70.99

Διάγραμμα 5.2.3: Ποσοστά απομάκρυνσης BOD για κάθε φίλτρο ($Q = 1 \text{ L/h}$, με αερισμό).



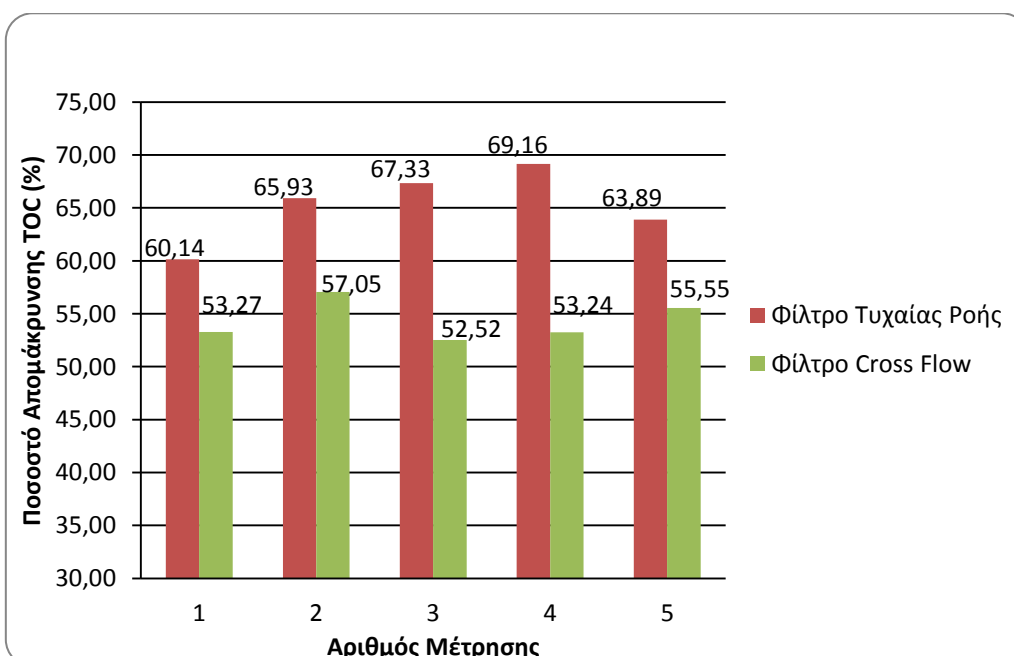
5.2.3 Αποτελέσματα TOC

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα του TOC και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.2.4**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.2.5** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης TOC για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.2.4: Μετρήσεις TOC και ποσοστά απομάκρυνσης ($Q = 1 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
TOC Εισόδου (ppm)	102.50	70.38	111.30	115.40	112.70
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
TOC Εξόδου (ppm)	40.86	23.98	36.36	35.59	40.70
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	60.14	65.93	67.33	69.16	63.89
Φίλτρο Cross Flow					
TOC Εξόδου (ppm)	47.90	30.23	52.85	53.96	50.10
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	53.27	57.05	52.52	53.24	55.55

Διάγραμμα 5.2.5: Ποσοστά απομάκρυνσης TOC για κάθε φίλτρο ($Q = 1 \text{ L/h}$, με αερισμό).



5.2.4 Αποτελέσματα COD

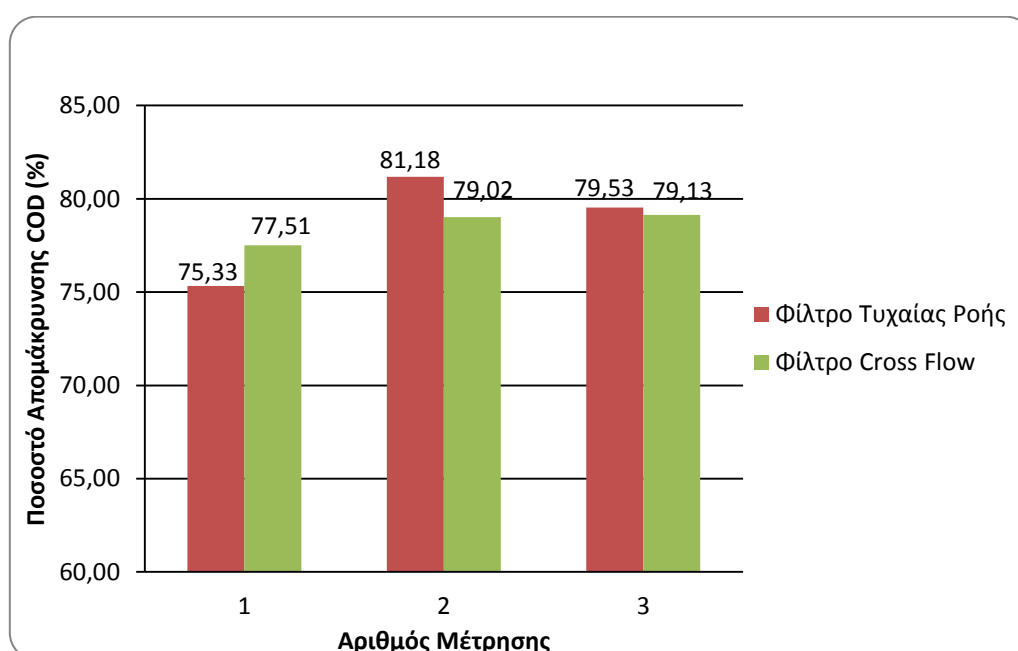
Τα αποτελέσματα του COD και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.2.6**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.2.7** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης COD για κάθε φίλτρο.

Για τις τιμές του COD πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις αντί των 5 που πραγματοποιήθηκαν σε άλλες τιμές.

Πίνακας 5.2.6: Μετρήσεις TOC και ποσοστά απομάκρυνσης ($Q = 1 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
COD Εισόδου (mg/l)	229.00	-	255.00	-	254.00
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
COD Εξόδου (mg/l)	56.50	-	48.00	-	52.00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	75.33	-	81.18	-	79.53
Φίλτρο Cross Flow					
COD Εξόδου (mg/l)	51.50	-	53.50	-	53.00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	77.51	-	79.02	-	79.13

Διάγραμμα 5.2.7: Ποσοστά απομάκρυνσης COD για κάθε φίλτρο ($Q = 1 \text{ L/h}$, με αερισμό).



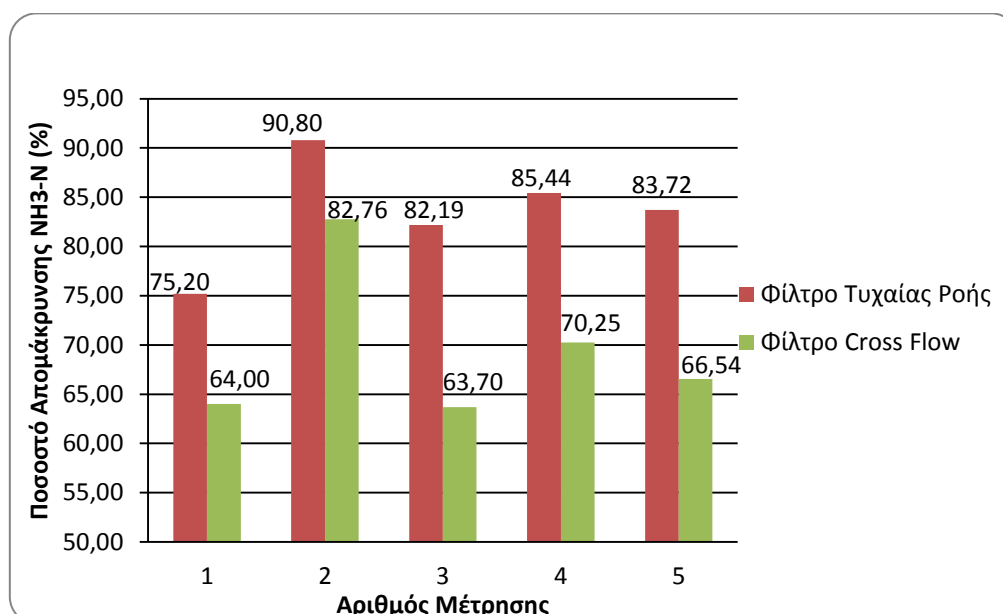
5.2.5 Αποτελέσματα NH₃-N

Οι μετρήσεις των NH₃-N και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.2.8**. Ακόμη, στο **Διάγραμμα 5.2.9** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης NH₃-N για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.2.8: Μετρήσεις NH₃-N και ποσοστά απομάκρυνσης (Q = 1 L/h, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
NH ₃ -N Εισόδου (mg/l)	31.25	21.75	36.50	39.50	38.70
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	7.75	2.00	6.50	5.75	6.30
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	75.20	90.80	82.19	85.44	83.72
Φίλτρο Cross Flow					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	11.25	3.75	13.25	11.75	12.95
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	64.00	82.76	63.70	70.25	66.54

Διάγραμμα 5.2.9: Ποσοστά απομάκρυνσης NH₃-N για κάθε φίλτρο (Q = 1 L/h, με αερισμό).



5.2.6 Αποτελέσματα NO₃-N και NO₂-N

Συνολικά μετρήθηκαν 3 φορές NO₃-N και NO₂-N, τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.2.10**. Επίσης στον πίνακα συμπεριλήφθηκαν ξανά οι αντίστοιχες μετρήσεις των NH₃-N καθώς και οι αθροιστικές συγκεντρώσεις ενώσεων αζώτου με σκοπό να γίνει εμφανής η τυχόν επαλήθευση των ισοζυγίων που αφορούν την μετατροπή του.

Πίνακας 5.2.10: Μετρήσεις NO₃-N και NO₂-N (Q = 1 L/h, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
NH ₃ -N Εισόδου (mg/l)	31.25	-	36.50	-	38.70
NO ₃ -N Εισόδου (mg/l)	0.00	-	0.00	-	0.00
NO ₂ -N Εισόδου (mg/l)	0.00	-	0.00	-	0.00
Άθροισμα (mg/l)	31.25	-	36.50	-	38.70
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	7.75	-	6.50	-	6.30
NO ₃ -N Εξόδου (mg/l)	21.50	-	25.70	-	27.20
NO ₂ -N Εξόδου (mg/l)	2.30	-	4.50	-	3.90
Άθροισμα (mg/l)	31.55	-	36.70	-	37.40
Φίλτρο Cross Flow					
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	11.25	-	13.25	-	12.95
NO ₃ -N Εξόδου (mg/l)	16.50	-	18.30	-	22.40
NO ₂ -N Εξόδου (mg/l)	2.50	-	5.10	-	4.70
Άθροισμα (mg/l)	30.25	-	36.65	-	40.05

5.2.7 Αποτελέσματα TSS

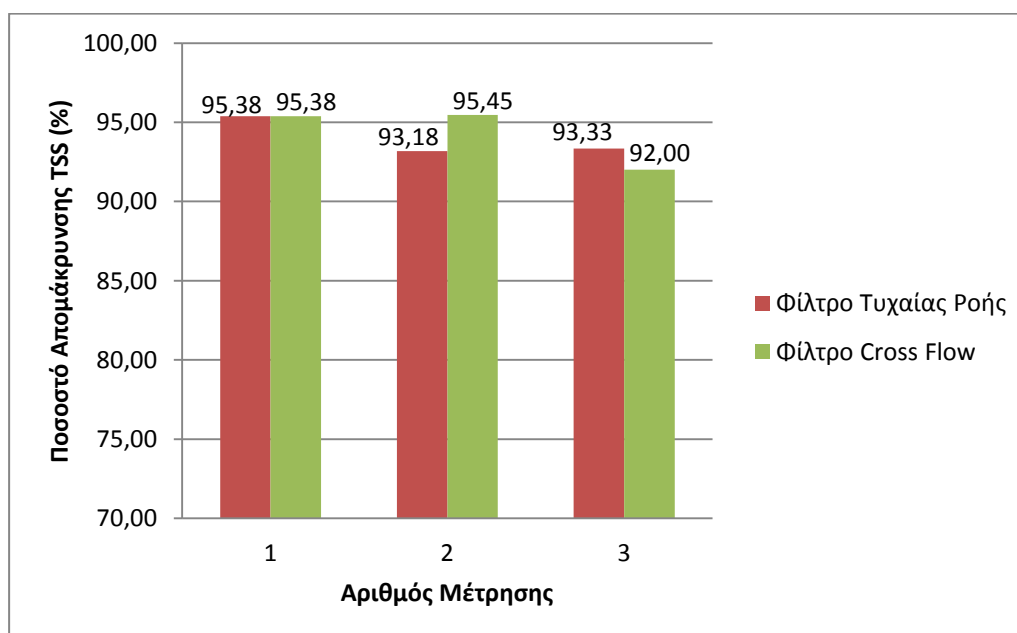
Για τις συνθήκες αυτές, μετρήθηκαν συνολικά 3 φορές τα ολικά αιωρούμενα στερεά. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης για κάθε φίλτρο φαίνονται στον **Πίνακα 5.2.11**.

Επίσης στο **Διάγραμμα 5.2.12** παρουσιάζονται γραφικά τα ποσοστά απομάκρυνσης των TSS για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.2.11: Μετρήσεις TSS και αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης
(Q = 1 L/h, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2	3	4	5
TSS Εισόδου (mg/ml)	65.00	-	88.00	-	75.00
Φίλτρο Τυχαίας Ροής					
TSS Εξόδου (mg/ml)	3.00	-	6	-	5
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	95.38	-	93.18	-	93.33
Φίλτρο Cross Flow					
TSS Εξόδου (mg/l)	3	-	4	-	6
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	95.38	-	95.45	-	92.00

Διάγραμμα 5.2.12: Ποσοστά απομάκρυνσης TSS για κάθε φίλτρο (Q = 1 L/h, με αερισμό).



5.3 Αποτελέσματα παροχής $Q = 2 \text{ L/h}$, ρυθμού υδραυλικής φόρτισης $q = 0,01592 \text{ m/h}$, με σύστημα αερισμού

Μετά την διεξαγωγή μετρήσεων με συνθήκες χαμηλής παροχής και ύπαρξη αερισμού, ο εργαστηριακός εξοπλισμός δεν επέτρεπε την μείωση της παροχής. Για τον λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμο να γίνει αύξηση της παροχής κατά 1 L/h προκειμένου να παρατηρηθούν οι αλλαγές που θα επέφερε στην απόδοση του συστήματος.

Στις συνθήκες αυτές παρουσιάσθηκε άμεσα, μείωση στην απόδοση και για τον λόγο αυτό έγιναν περιορισμένες μετρήσεις. Επίσης λόγω της μειούμενης απόδοσης δεν εξετάσθηκε περεταίρω αύξηση της παροχής.

5.3.1 pH και DO

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν δύο φορές με σκοπό τον έλεγχο της λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας. Στον **Πίνακα 5.3.1** παρουσιάζονται οι τιμές των δύο αυτών παραμέτρων για κάθε μια από τις δύο μονάδες φίλτρων για το σύνολο των μετρήσεων υπό αυτές τις συνθήκες λειτουργίας.

Πίνακας 5.3.1: Τιμές pH και DO ($Q = 2 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2
DO Εισόδου (mg/l)	0	0
pH Εισόδου	7,60	7,5
Φίλτρο Τυχαίας Ροής		
DO Εξόδου (mg/l)	7,90	7,56
pH Εξόδου	7,90	7,8
Φίλτρο Cross Flow		
DO Εξόδου (mg/l)	7,48	6,46
pH Εξόδου	7,80	7,8

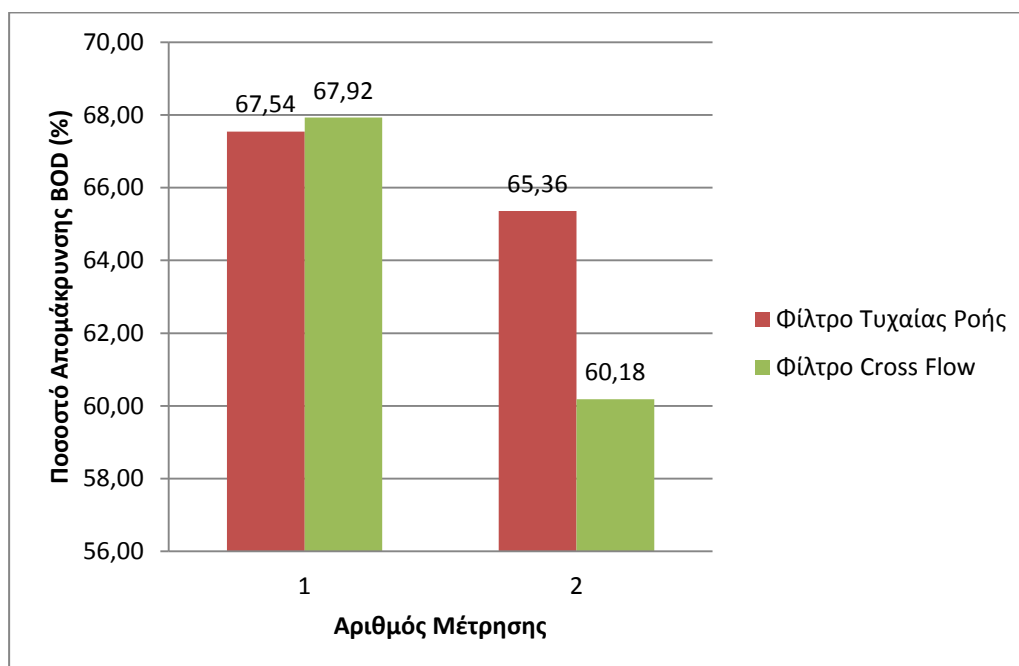
5.3.2 Αποτελέσματα BOD

Τα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων του BOD παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.3.2** ενώ στο **Διάγραμμα 5.3.3** εμφανίζονται γραφικά τα ποσοστά απομάκρυνσης BOD για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.3.2: Μετρήσεις BOD ($Q = 2 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2
BOD Εισόδου (mg/l)	210,75	189,38
Φίλτρο Τυχαίας Ροής		
BOD Εξόδου (mg/l)	68,40	65,60
Απομάκρυνση BOD (mg/l)	142,35	123,78
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	67,54	65,36
Φίλτρο Cross Flow		
BOD Εξόδου (mg/l)	67,60	75,40
Απομάκρυνση BOD (mg/l)	143,15	113,98
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	67,92	60,18

Διάγραμμα 5.3.3: Ποσοστά απομάκρυνσης BOD για κάθε φίλτρο ($Q = 2 \text{ L/h}$, με αερισμό).



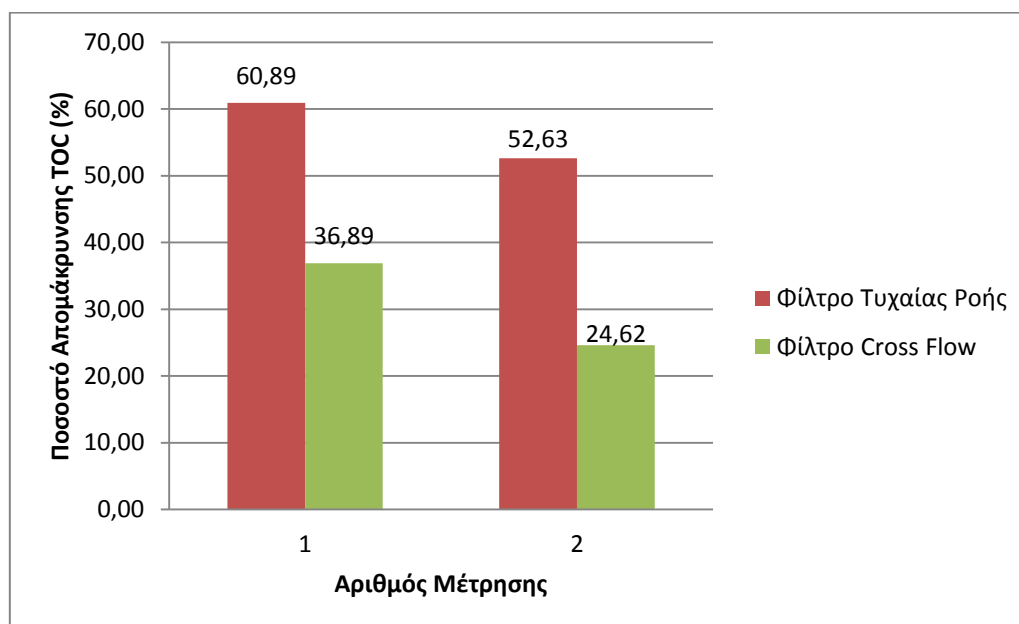
5.3.3 Αποτελέσματα TOC

Αντίστοιχα, τα αποτελέσματα του TOC και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.3.4**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.3.5** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης TOC για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.3.4: Μετρήσεις TOC και ποσοστά απομάκρυνσης ($Q = 2 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2
TOC Εισόδου (ppm)	124,90	100,40
Φίλτρο Τυχαίας Ροής		
TOC Εξόδου (ppm)	48,85	47,56
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	60,89	52,63
Φίλτρο Cross Flow		
TOC Εξόδου (ppm)	78,83	75,68
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	36,89	24,62

Διάγραμμα 5.3.5: Ποσοστά απομάκρυνσης TOC για κάθε φίλτρο ($Q = 2 \text{ L/h}$, με αερισμό).



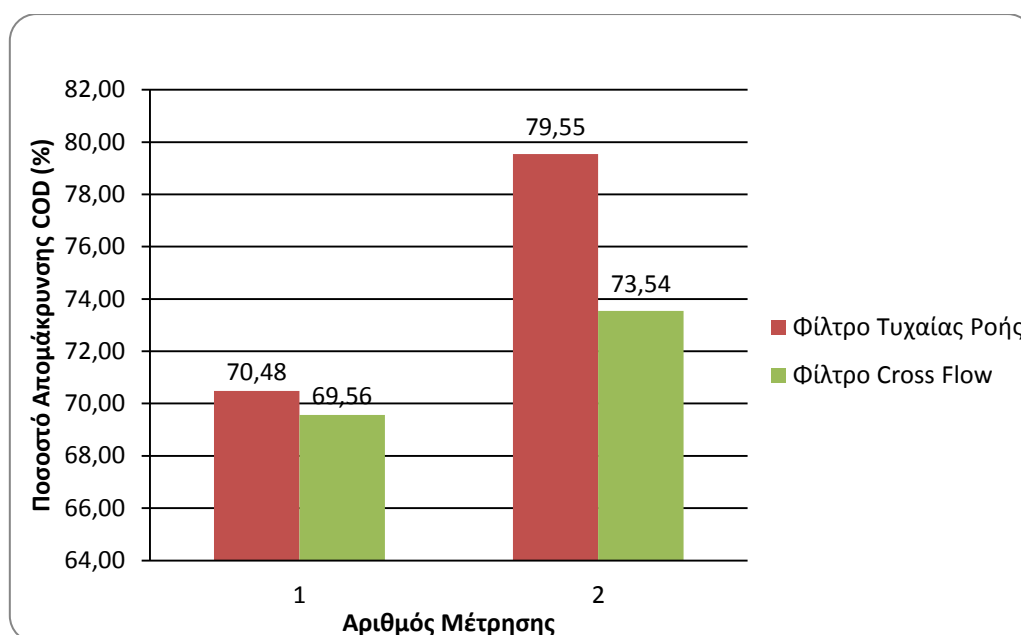
5.3.4 Αποτελέσματα COD

Τα αποτελέσματα του COD και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.3.6**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.3.7** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης COD για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.3.6: Μετρήσεις TOC και ποσοστά απομάκρυνσης ($Q = 2 \text{ L/h}$, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2
COD Εισόδου (mg/l)	272,00	288,00
Φίλτρο Τυχαίας Ροής		
COD Εξόδου (mg/l)	80,30	58,90
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	70,48	79,55
Φίλτρο Cross Flow		
COD Εξόδου (mg/l)	82,80	76,20
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	69,56	73,54

Διάγραμμα 5.3.7: Ποσοστά απομάκρυνσης COD για κάθε φίλτρο ($Q = 2 \text{ L/h}$, με αερισμό).



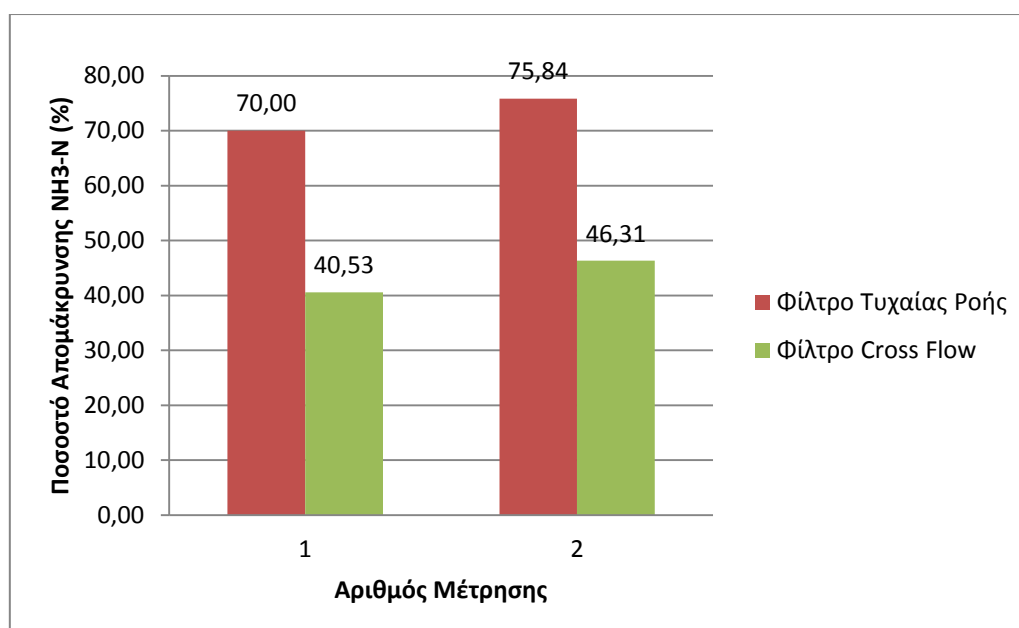
5.3.5 Αποτελέσματα NH₃-N

Οι μετρήσεις των NH₃-N και για τις δύο μονάδες επεξεργασίας, καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.3.8**. Ακόμη, στο **Διάγραμμα 5.3.9** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των ποσοστών απομάκρυνσης NH₃-N για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.3.8: Μετρήσεις NH₃-N και ποσοστά απομάκρυνσης (Q = 2 L/h, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2
NH ₃ -N Εισόδου (mg/l)	47,50	37,25
Φίλτρο Τυχαίας Ροής		
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	14,25	9,00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	70,00	75,84
Φίλτρο Cross Flow		
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	28,25	20,00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	40,53	46,31

Διάγραμμα 5.3.9: Ποσοστά απομάκρυνσης NH₃-N για κάθε φίλτρο (Q = 2 L/h, με αερισμό).



5.3.6 Αποτελέσματα NO₃-N και NO₂-N

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων NO₃-N και NO₂-N, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5.3.10**. Επίσης στον πίνακα συμπεριλήφθηκαν ξανά οι αντίστοιχες μετρήσεις των NH₃-N καθώς και οι αθροιστικές συγκεντρώσεις ενώσεων αζώτου με σκοπό να γίνει εμφανής η τυχόν επαλήθευση των ισοζυγίων που αφορούν την μετατροπή του.

Πίνακας 5.3.10: Μετρήσεις NO₃-N και NO₂-N (Q = 3 L/h, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2
NH ₃ -N Εισόδου (mg/l)	47,50	37,25
NO ₃ -N Εισόδου (mg/l)	0,00	0,00
NO ₂ -N Εισόδου (mg/l)	0,00	0,00
Άθροισμα (mg/l)	47,50	37,25
Φίλτρο Τυχαίας Ροής		
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	14,25	9,00
NO ₃ -N Εξόδου (mg/l)	27,30	26,20
NO ₂ -N Εξόδου (mg/l)	5,90	2,30
Άθροισμα (mg/l)	47,45	37,50
Φίλτρο Cross Flow		
NH ₃ -N Εξόδου (mg/l)	28,25	20,00
NO ₃ -N Εξόδου (mg/l)	12,10	11,40
NO ₂ -N Εξόδου (mg/l)	7,80	6,10
Άθροισμα (mg/l)	48,15	37,50

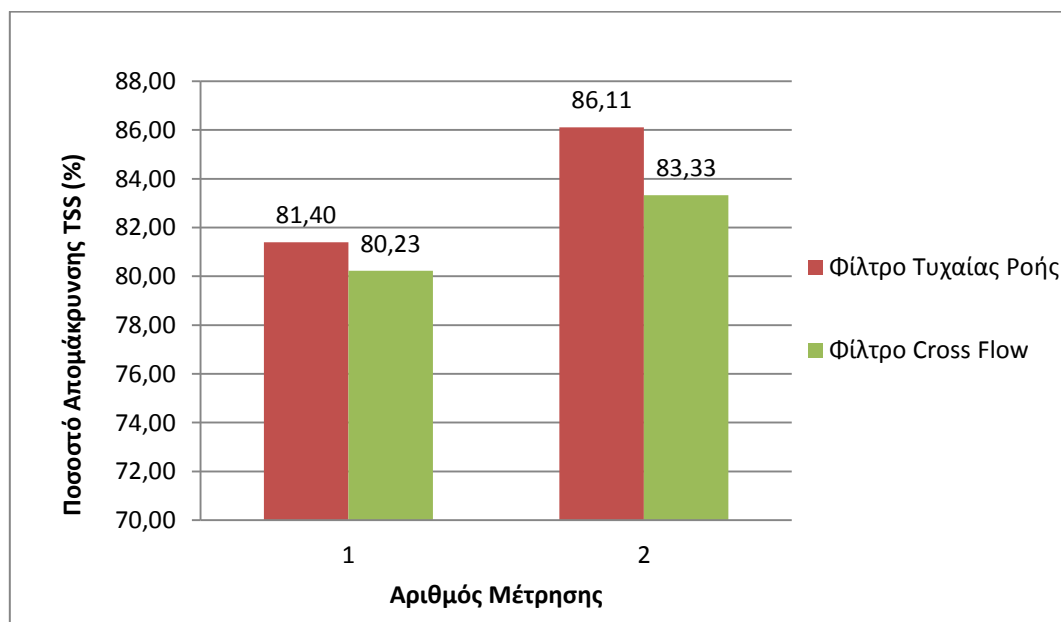
5.3.7 Αποτελέσματα TSS

Τα αποτελέσματα των TSS που προέκυψαν για αυτές τις συνθήκες λειτουργίας καθώς και τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης για κάθε φίλτρο φαίνονται στον **Πίνακα 5.3.11**. Επίσης στο **Διάγραμμα 5.3.12** παρουσιάζονται γραφικά τα ποσοστά απομάκρυνσης των TSS για κάθε φίλτρο.

Πίνακας 5.3.11: Μετρήσεις TSS και αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης (Q = 2 L/h, με αερισμό).

Αριθμός Μέτρησης	1	2
TSS Εισόδου (mg/ml)	86,00	72,00
Φίλτρο Τυχαίας Ροής		
TSS Εξόδου (mg/ml)	16,00	10,00
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	81,40	86,11
Φίλτρο Cross Flow		
TSS Εξόδου (mg/l)	17	12
Ποσοστό Απομάκρυνσης (%)	80,23	83,33

Διάγραμμα 5.3.12: Ποσοστά απομάκρυνσης TSS για κάθε φίλτρο (Q = 2 L/h, με αερισμό).



5.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων και συζήτηση

Έχοντας συγκεντρώσει τις μετρήσεις απόδοσης των συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, είναι πλέον δυνατή η σύγκριση τους με σκοπό την παρατήρηση της επιρροής που επιφέρουν οι αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας.

Λόγω της χρήσης πραγματικών υγρών αποβλήτων παρατηρήσαμε (όπως ήταν αναμενόμενο) πως τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εισροών παρουσίαζαν διαφορές μεταξύ τους. Φυσικά, οι διαφορές δεν είναι πολύ μεγάλες και εμφανίζουν μία ομοιομορφία, παρ' όλ' αυτά δεν είναι δυνατή η σύγκριση των μετρήσεων των εκροών ως συγκεντρώσεις. Η βέλτιστη μέθοδος για την σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι αυτή της σύγκρισης των ποσοστών απομάκρυνσης.

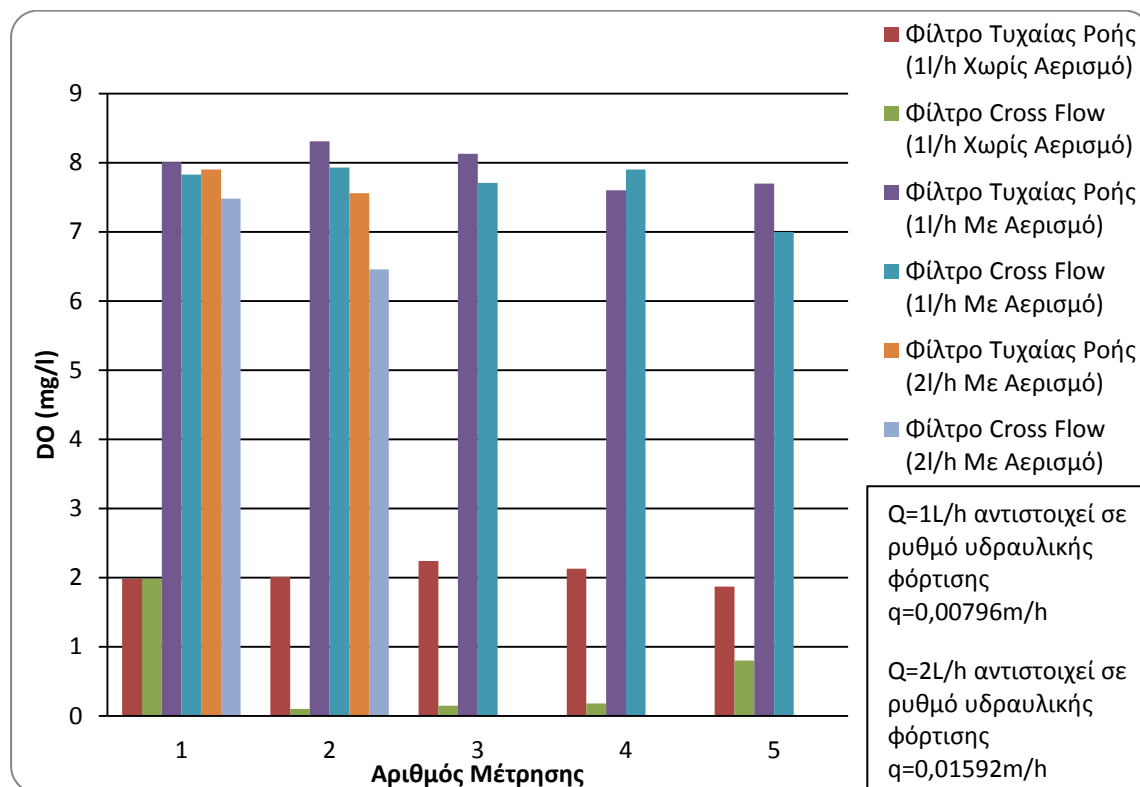
Εν κατακλείδι, στην παράγραφο αυτή, θα ακολουθήσουν συγκριτικά διαγράμματα που θα περιλαμβάνουν τα ποσοστά απομάκρυνσης διαφόρων συγκεντρώσεων αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις τις ίδιες συγκεντρώσεις. Τα διαγράμματα αυτά, θα συνοψίζουν και τις δύο διατάξεις με τα διαφορετικά φίλτρα και για τα 3 σύνολα συνθηκών λειτουργίας.

5.4.1 Σύγκριση pH και DO

Το pH των αποβλήτων ως μία συμπληρωματική μέτρηση δεν χρήζει κάποιας σύγκρισης. Μπορούμε να πούμε ότι στο σύνολο των μετρήσεων (εισρεόντων και εκρεόντων) κυμαινόταν από 7,2 έως 8,0 ενώ οι εκροές είχαν κατά κανόνα ελαφρώς αυξημένο pH κατά μία μέση τιμή 0,2.

Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στα εισρέοντα απόβλητα ήταν πάντοτε μηδενικές (0 mg/l). Παρατηρήθηκε πως στα συστήματα λειτουργίας χωρίς αερισμό παρουσιάσθηκε μικρή αύξηση του διαλυμένου οξυγόνου στα εκρέοντα απόβλητα. Αυτό οφείλεται στην διάχυση οξυγόνου από τον αέρα προς τα απόβλητα κατά τη διάρκεια διέλευσής τους από το βιόφιλτρο. Για τον λόγο αυτό, στο **Διάγραμμα 5.4.1** παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των εκρεόντων μόνο αποβλήτων για κάθε φίλτρο και κάθε σύνολο συνθηκών λειτουργίας.

Διάγραμμα 5.4.1: Σύγκριση συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου στα εκρέοντα απόβλητα για κάθε φίλτρο (Σε κάθε μέτρηση τα εισρέοντα απόβλητα είχαν συγκέντρωση 0 mg/l) .



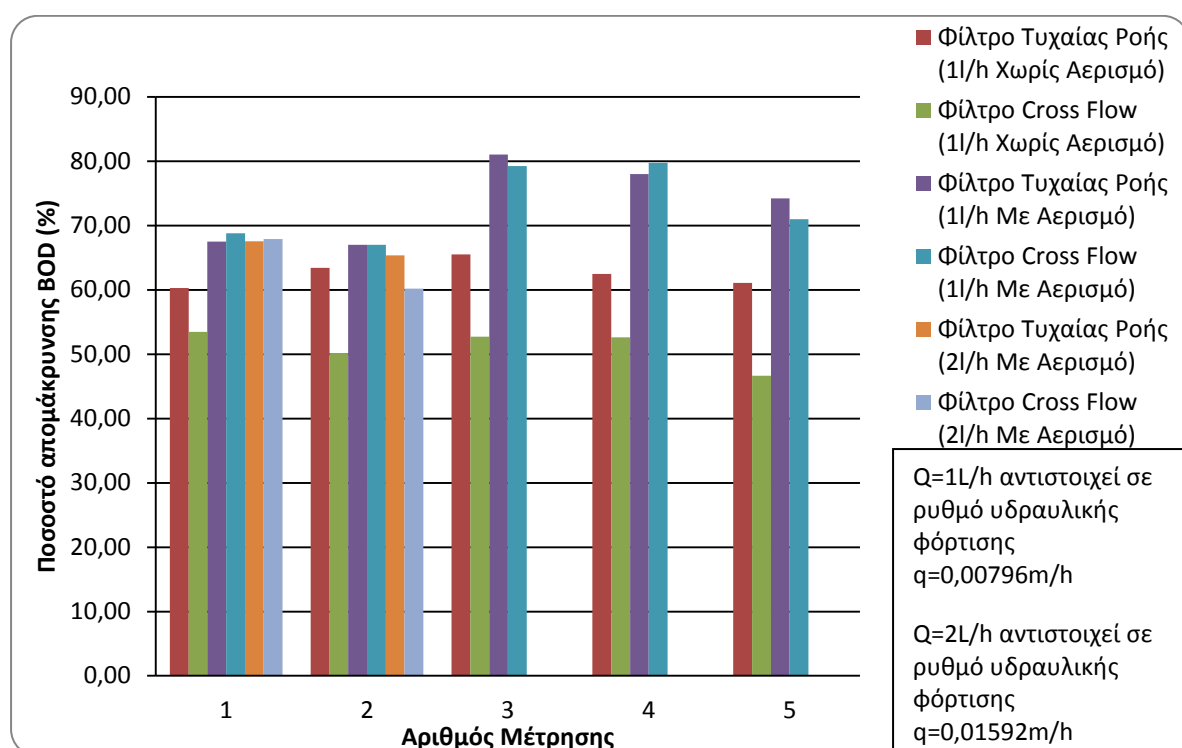
Μέσω του διαγράμματος είναι εμφανής η διαφορά που πρόσφερε η χρήση του συστήματος αερισμού. Τα επίπεδα του DO ανέβηκαν κατά 6 mg/l για το Φίλτρο Τυχαίας Ροής, ενώ τα στο Φίλτρο Cross Flow προσέφερε 7-8 mg/l. Οι διαφορές του διαλυμένου οξυγόνου στην περίπτωση αλλαγής της παροχής αποβλήτων είναι μικρές (μειωμένες συγκεντρώσεις) και αυτό οφείλεται στο αυξημένο ρυπαντικό φορτίο που δέχονταν τα φίλτρα και κατ' επέκταση στην αύξηση της βιολογικής λειτουργίας και αναπνοής των μικροοργανισμών.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα επίπεδα του οξυγόνου στην περίπτωση έλλειψης αερισμού ήταν τόσο χαμηλά που δεν επέτρεπαν την πλήρη βιολογική ανάπτυξη και λειτουργία των μικροοργανισμών. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η μειωμένη απόδοση του συστήματος επεξεργασίας. Το Φίλτρο Τυχαίας Ροής λόγω των μεγαλύτερων διάκενων που περιείχε παρουσίασε καλύτερη φυσική ροή αέρα από το Φίλτρο Cross Flow.

5.4.2 Σύγκριση BOD

Οι τιμές του BOD των εισρεόντων αποβλήτων ήταν διαφορετικές σε κάθε μέτρηση. Για τον λόγο αυτό στο **Διάγραμμα 5.4.2** παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των ποσοστών απομάκρυνσης του BOD για κάθε φίλτρο σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας.

Διάγραμμα 5.4.2: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης BOD για κάθε φίλτρο.



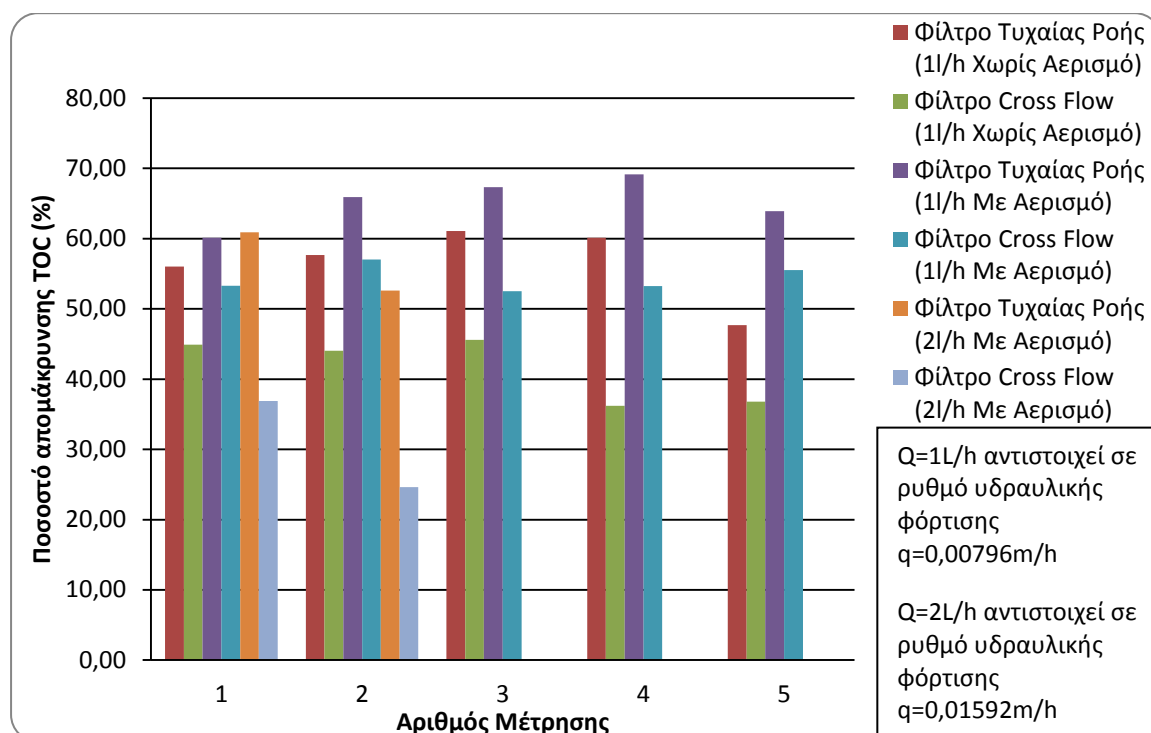
Παρατηρείται πως τα μέγιστα ποσοστά απομάκρυνσης επιτεύχθηκαν με παροχή 1 L/h παρουσία τεχνητού αερισμού. Οι χαμηλότερες φορτίσεις, ο μεγαλύτερος χρόνος παραμονής και κυρίως τα αυξημένα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου επέτρεψαν την ανάπτυξη της βιομάζας και την κατανάλωση του οργανικού φορτίου σε υψηλά επίπεδα.

Χρησιμοποιώντας παροχή 2 L/h τα επίπεδα ποσοστιαίας απομάκρυνσης μειώθηκαν αφού αυξήθηκε η υδραυλική και οργανική φόρτιση στα φίλτρα. Ο χρόνος παραμονής μειώθηκε και κατ' επέκταση η ποιότητα της επεξεργασίας (όσον αφορά την απομάκρυνση του βιολογικού φορτίου) υποβαθμίστηκε.

5.4.3 Σύγκριση TOC

Ο ολικός οργανικός άνθρακας ήταν επίσης μία μέτρηση η οποία παρουσίαζε διαφορές σε κάθε δείγμα αποβλήτου που συλλεγόταν. Η σύγκριση του παρουσιάζεται μέσω των ποσοστών απομάκρυνσης στο **Διάγραμμα 5.4.3**.

Διάγραμμα 5.4.3: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης TOC για κάθε φίλτρο.



Τα μέγιστα ποσοστά απομάκρυνσης TOC επιτεύχθηκαν επίσης με χρήση συστήματος αερισμού και παροχή 1 L/h. Η προσθήκη συστήματος αερισμού βελτίωσε τα αποτελέσματα του Φίλτρου Τυχαίας Ροής και ιδιαίτερα του Φίλτρου Cross Flow στο οποίο αύξησε τα ποσοστά απομάκρυνσης έως και 30%.

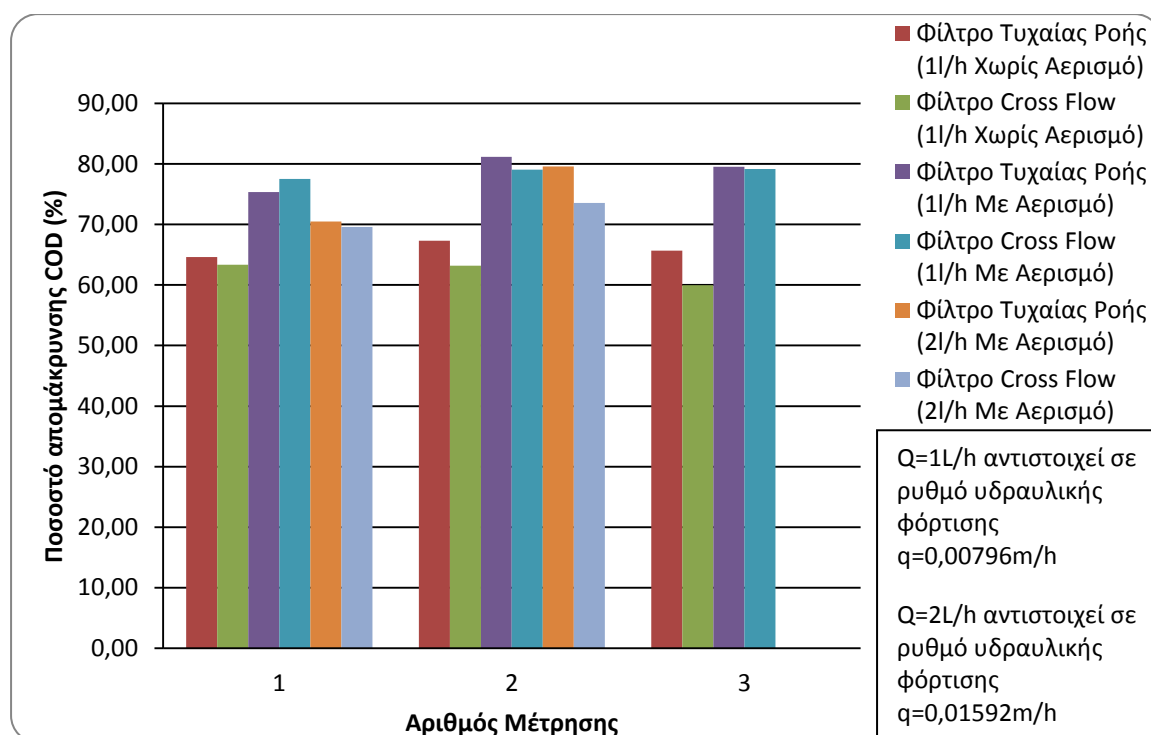
Αυξάνοντας την παροχή το Φίλτρο Τυχαίας Ροής εμφάνισε μικρή μείωση στην απόδοση του. Στην περίπτωση όμως του Φίλτρου Cross Flow η μείωση της απόδοσης ήταν αρκετά μεγάλη, περίπου 25% μικρότερη.

Τέλος στην περίπτωση της απομάκρυνσης TOC γίνεται εμφανής και η διαφορά μεταξύ των δύο φίλτρων. Το Φίλτρο Τυχαίας Ροής εμφανίζει σε όλες τις περιπτώσεις και συνθήκες λειτουργίας αισθητά καλύτερα αποτελέσματα.

5.4.4 Σύγκριση COD

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του COD είναι επίσης εφικτή μέσω των ποσοστιαίων απομακρύνσεων. Στο **Διάγραμμα 5.4.4** παρουσιάζονται οι αντίστοιχες ποσοστιαίες απομάκρυνσης του COD για κάθε φίλτρο για κάθε μία από τις τρεις συνθήκες λειτουργίας.

Διάγραμμα 5.4.4: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης COD για κάθε φίλτρο.



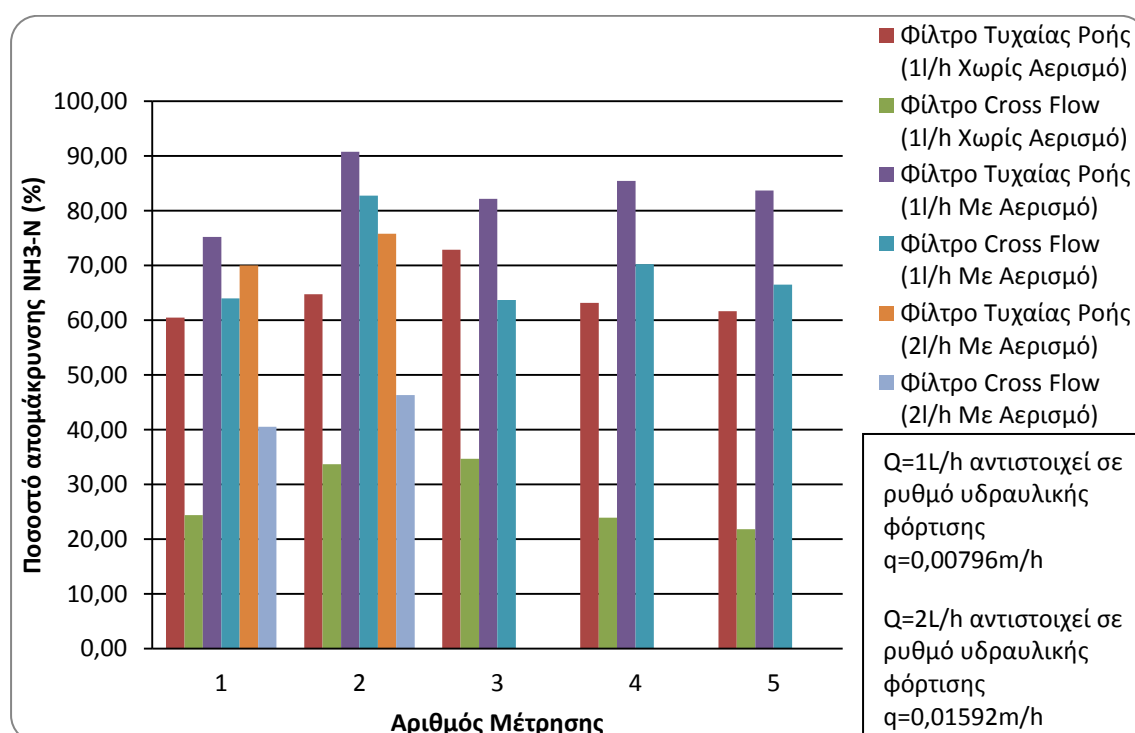
Μεταξύ των δύο φίλτρων τα αποτελέσματα του COD παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφορές στο σύνολο των συνθηκών λειτουργίας. Αντίστοιχα, ακολουθούν και οι βελτιώσεις με την προσθήκη αερισμού αλλά και η αισθητή μείωση όταν αυξάνεται η παροχή.

Μπορούμε να πούμε πως η απομάκρυνση του COD είναι σχετικώς ανεπηρέαστη από τα πληρωτικά υλικά που ελέγχουμε στο παρόν πείραμα.

5.4.5 Σύγκριση $\text{NH}_3\text{-N}$

Η οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη και νιτρικά ιόντα επιφέρει μείωση της αρχικής ποσότητας των αμμωνιακών ιόντων. Τα ποσοστά μείωσης για κάθε φίλτρο εμφανίζονται στο **Διάγραμμα 5.4.5**.

Διάγραμμα 5.4.5: Σύγκριση ποσοστών απομάκρυνσης $\text{NH}_3\text{-N}$ για κάθε φίλτρο.



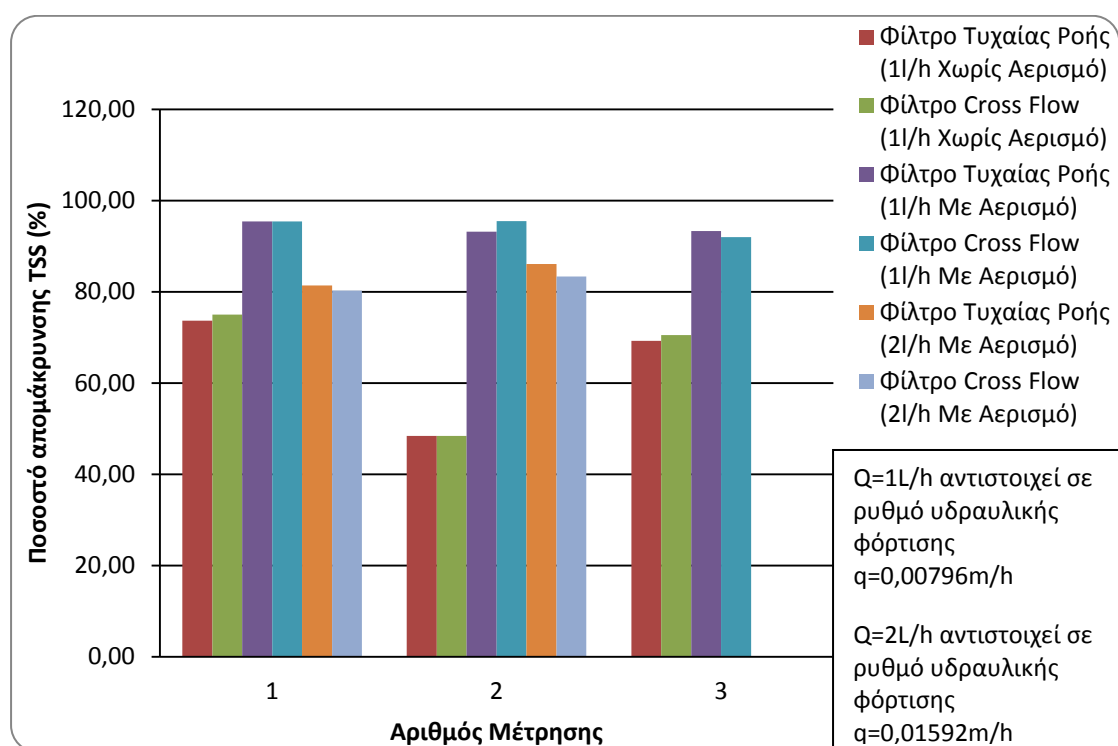
Η άμεση σύγκριση των δύο πληρωτικών υλικών παρουσιάζει μεγάλη υπεροχή του Φίλτρου Τυχαίας Ροής σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας. Κατά τη λειτουργία με τεχνητό αερισμό η διαφορά μειώνεται αλλά και πάλι η απόδοση του είναι αισθητά καλύτερη.

Η προσθήκη αερισμού βελτίωσε για ακόμη μία φορά τα αποτελέσματα και των δύο φίλτρων αλλά κυρίως του Φίλτρου Cross Flow το οποίο παρουσίαζε την μεγαλύτερη έλλειψη σε διαλυμένο οξυγόνο. Τέλος, η αύξηση της παροχής, για ακόμη μια φορά επέφερε αρνητικά αποτελέσματα στην ποιότητα της επεξεργασίας των αποβλήτων.

5.4.6 Σύγκριση TSS

Τα ολικά αιωρούμενα στερεά είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που μετρήθηκε και παρουσίαζε διακυμάνσεις μεταξύ των δειγμάτων. Τα ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών αιωρούμενων στερεών παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 5.4.6**.

Διάγραμμα 5.4.6: Σύγκριση TSS



Σε αντίθεση με τις άλλες μετρήσεις παρατηρείται πως μεταξύ των δυο πληρωτικών υλικών οι διαφορές στα ποσοστά απομάκρυνσης είναι σχεδόν αμελητέες. Στην περίπτωση ύπαρξης αερισμού τα ποσοστά πλησιάζουν και για τα δύο φίλτρα την πλήρη απομάκρυνση. Ενώ, για ακόμη μία φορά, η αύξηση της παροχής οδήγησε σε αισθητά μειωμένη απόδοση των φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας.

Κλείνοντας το κεφάλαιο, κατά την κατασκευή της πειραματικής διάταξης προγραμματίστηκε η μέτρηση του βάρους της βιομάζας που αναπτύχθηκε πάνω στα βιόφιλτρα. Αρχικά τα φίλτρα ζυγίσθηκαν καθαρά και σκοπός ήταν να ζυγισθούν και μετά τη λήξη των πειραμάτων. Λόγω έμφραξης των υλικών εντός των δεξαμενών δεν ήταν δυνατόν να βγουν και να γίνει η τελική τους ζύγιση. Επομένως δεν ολοκληρώθηκε ο υπολογισμός της προσκολλημένης βιομάζας για κάθε φίλτρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η απόδοση δύο διαφορετικών πληρωτικών υλικών που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις φίλτρων προσκολλημένης βιομάζας. Τα υλικά αυτά εμφάνιζαν διαφορές κυρίως ως προς τη μορφή, το μέγεθος των διάκενων και την ειδική επιφάνεια. Το ένα ήταν φίλτρο «τυχαίας ροής» με σχετικά μεγάλα διάκενα και μικρή ειδική επιφάνεια, ενώ το δεύτερο ήταν φίλτρο ροής «διασταυρούμενης ροής» με μικρότερα διάκενα και μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιήθηκαν σε δύο πανομοιότυπες δεξαμενές εργαστηριακής κλίμακας.

Στις εγκαταστάσεις αυτές επεξεργαζόταν καθημερινά 30L αποβλήτου σε κάθε δεξαμενή που προέρχονταν από την Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Δήμου Χανίων συλλεγόμενο μετά την δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και πριν τη δεξαμενή αερισμού (επομένως δεν είχε υποστεί βιολογική επεξεργασία). Πραγματοποιούνταν μετρήσεις ποιότητας των εισρεόντων και εκρεόντων αποβλήτων με σκοπό την σύγκριση τους. Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής των πειραμάτων ελέγχθηκε ο επηρεασμός του τεχνητού αερισμού στην απόδοση αλλά και η αλλαγή της παροχής των αποβλήτων.

Συγκρίνοντας τα υλικά (γεγονός το οποίο αποτελεί και στόχο της παρούσας εργασίας), το υλικό τυχαίας ροής εμφάνισε τα καλύτερα αποτελέσματα σαν γενική εικόνα αλλά και σταθερότητα ανάμεσα στις ημέρες. Οι συνθήκες στις οποίες και τα δύο φίλτρα απέδωσαν καλύτερα ήταν αυτές της παροχής $Q = 1 \text{ L/h}$ και χρησιμοποιώντας τεχνητό αερισμό. Στον **Πίνακα 6.1** παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ποσοστών απομάκρυνσης του κάθε φίλτρου για κάθε μετρούμενο στοιχείο, ενώ η μεγαλύτερη τιμή τονίζεται με κόκκινα γράμματα.

Πίνακας 6.1: Σύγκριση δύο φίλτρων μέσω των μέσων τιμών ποσοστιαίων απομακρύνσεων (Παροχή Q = 1 L/h, χρήση συστήματος τεχνητού αερισμού).

	Μέση τιμή ποσοστών απομάκρυνσης	
	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
BOD (%)	73,56	73,16
TOC (%)	65,29	54,32
COD (%)	78,68	78,55
NH₃-N (%)	83,47	69,45
TSS (%)	93,97	94,28

Παρατηρώντας τον **Πίνακα 6.1** το φίλτρο τυχαίας ροής εμφανίζεται αποδοτικότερο για όλες διεργασίες απορρύπανσης εκτός της απομάκρυνση των TSS. Οι διαφορές όμως όσον αφορά το BOD, το COD και τα TSS είναι μικρότερες του 1% γεγονός το οποίο τα καθιστά εξίσου αποδοτικά. Αντιθέτως στην απομάκρυνση TOC και NH₃-N το φίλτρο τυχαίας ροής εμφανίζει αισθητά καλύτερα αποτελέσματα με διαφορά μεγαλύτερη από 10%.

Γενικώς, τα ποσοστά απομάκρυνσης που παρουσίασαν είναι ικανοποιητικά στο σύνολο, ιδιαίτερα στην περίπτωση των ολικών στερεών. Η μόνη περίπτωση στην οποία δε εμφανίζονται ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι σε εκείνη της απομάκρυνση TOC με φίλτρο Cross Flow.

Εκ πρώτης όψεως βάσει των τεχνικών χαρακτηριστικών των φίλτρων ήταν αναμενόμενη η εμφάνιση καλύτερων αποτελεσμάτων από το φίλτρο Cross Flow. Παρ' όλ' αυτά το σύνολο καλύτερης και ομαλότερης λειτουργίας παρουσίασε το φίλτρο τυχαίας ροής έχοντας μεγαλύτερα διάκενα και μικρότερη ειδική επιφάνεια.

Η εξήγηση του φαινομένου αυτού οφείλεται σε δύο σημαντικές παραμέτρους:

- Το φίλτρο τυχαίας ροής έχοντας μεγαλύτερα διάκενα επέτρεπε την ομαλότερη και πληρέστερη διέλευση και επαφή του οξυγόνου με τους αερόβιους μικροοργανισμούς υπεύθυνους για την βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων
- Το φίλτρο τυχαίας ροής κατά την φόρτιση του στην δεξαμενή αερισμού της Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Δήμου Χανίων ήρθε σε επαφή με αιωρούμενα στερεά που υπήρχαν στα υγρά απόβλητα. Τα στερεά αυτά είχαν μεγάλη διατομή εμφράχθηκαν στα διάκενα του με αποτέλεσμα να αποτελούν επιπλέον επιφάνεια προσκόλλησης μικροοργανισμών. Βεβαίως το ίδιο συνέβη και στο φίλτρο cross flow, αλλά ο σχεδιασμός του δεν επέτρεψε στα στερεά αυτά να εισέλθουν εντός στα διάκενα του και να ενισχύσουν την ειδική του επιφάνεια.

Η εξέταση της αποδοτικότητας των φίλτρων περιελάμβανε και τον έλεγχο λειτουργίας τους χωρίς σύστημα τεχνητού αερισμού αλλά και αυξάνοντας την παροχή σε $Q = 2 \text{ L/h}$ με χρήση συστήματος αερισμού. Τα αποτελέσματα των δοκιμών ήταν αισθητά υποδεέστερα εκείνων του **Πίνακα 6.1**.

Στην περίπτωση της έλλειψης αερισμού η χαμηλή απόδοση οφείλεται στην αισθητή έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου και κατ' επέκταση στην μειωμένη βιολογική δραστηριότητα των μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για την βιολογική επεξεργασία.

Στην περίπτωση αυξημένης παροχής η διαφορά στην απόδοση ήταν αρκετά μειωμένη, και οφείλεται στην μείωση του χρόνου παραμονής των υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια των βιολογικών φίλτρων και στην αύξηση του ημερήσιου οργανικού φορτίου.

6.2 Προτάσεις

Οι προτάσεις αφορούν την αύξηση της αποδοτικότητας και των δύο φίλτρων και συνέχιση της παρούσας μελέτης είναι οι εξής:

- Αύξηση του χρόνου παραμονής, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με την μείωση της παροχής των υγρών αποβλήτων.
- Χρήση ανακυκλοφορίας εκρεόντων αποβλήτων σε διάφορες αναλογίες συγκριτικά με τα εισρέοντα.
- Έλεγχος ποσότητας αερισμού ξεχωριστά για κάθε φίλτρο με σκοπό την εξισορρόπηση του.
- Χρήση των φίλτρων σε σειρά ώστε να ελεγχθεί πιθανή αύξηση στην απομάκρυνση των ρυπαντικών φορτίων. Επίσης είναι δυνατή η χρήση σε σειρά διατηρώντας τη δεύτερη δεξαμενή σε αναερόβιες συνθήκες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Boller M. & Gujer W. (1986) *“Nitrification in tertiary trickling filters followed by deep-bed filters”*, Water Research Vol 20, No. 11, pp. 1363-1373
- EPRI (1994), Encor-America, Inc. *“Heat-rate improvement conference: Volumes 1-4”*, California
- Harrison, J. R., and J. W. Filtert (1984) *“A Survey of Combined Trickling Filter and Activated Sludge Processes”*, Journal Water Pollution Control Federation, vol 56, p. 1073
- Hassard F., Biddle J., Cartmell E., Jefferson B., Tyrrel S, Stephenson T., (2015) *“Rotating biological contactors for wastewater treatment – A review”*, Process Safety and Environmental Protection, vol 94, p. 285-306
- Henrich C.-D. (2014) *“German research underway on trickling filter practices”*, World Water September/October 2014, p. 37-38
- Henrich C.-D., M. Marggraff (2013) *“Energy-efficient Wastewater Reuse – The Renaissance of Trickling Filter Technology”*, IWA Water Reuse Conference 2013 in Namibia
- Jorgensen E. S. and Johnsen I. (1989), *“Principles of environmental science and technology”*, Elsevier, Amsterdam
- Metcalf & Eddy Inc. (2003), Revised by Tchobanoglous G. et. Al. *“Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition”*
- Noyes R. (1991), *“Handbook of pollution control processes”*, Noyes Publications, New Jersey
- Parker D. S. (1999) *“Trickling filter mythology”*, Journal of environmental engineering July 1999
- Parker D. S., S. Krugel, and H. McConnell (1994) *“Critical Process Design Issues in the Selection of the TF/SC Process for Large Secondary Treatment Plant”* Water Science and Technology, vol. 29, p. 209
- Parker D. S., M. P. Lutz, and A. M. Pratt (1990) *“New Trickling Filter Applications in the U.S.A.”*, Water Science Technology, Vol. 22

- Richards T. & Reinhart D. (1986) *“Evaluation of plastic media in trickling filters”*, Journal Water Pollution Control Federation, Vol 58, No. 7, pp. 774-783
- WPCF (1977) Manual of practice No 8 *“Wastewater treatment plant design, 2nd edn.”*, Lancaster Press, Inc., Lancaster

Ελληνική βιβλιογραφία

- Βασιλάτος Χ. (2010) *“Προσδιορισμός φυσικοχημικών παραμέτρων υγρών αποβλήτων και υδάτων (DO – BOD – COD – TOC)”*
- Βλάχος Ε. (2012). Διπλωματική Εργασία *“Αερόβια Χώνευση Ενεργού Ιλύος με προεπεξεργασία σε Σύστημα Συνεχούς Τροφοδοσίας”*, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Βλυσίδης Α. (2006) *“Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων”*, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Εργαστήριο διαχείρισης αερίων, υγρών και στερεών αποβλήτων ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ (2007), *“Εργαστηριακές σημειώσεις”*
- Νταρακάς Ε. (2014) *“Διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Τεχνική Περιβάλλοντος)”*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- Παρασκάκη Α. (2013), Μεταπτυχιακή εργασία *“Κατασκευή και λειτουργία δύο συστημάτων προσκολλημένης ανάπτυξης για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων”*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
- Στάμου Α. Ι. (2001) *“Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων”*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων
- Δρ. Στασινάκης Α. (2000) *“Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική”*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής και Επιστήμης, Εργαστήριο Διαχείρισης Αποβλήτων

- Τερεζάκης Στ. (2009), Διδακτορική διατριβή *“Σύγκριση της απόδοσης εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων”*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Έλεγχος ποιότητας & διαχείριση περιβάλλοντος»
- Τοσουνίδης Γ. (2006) *“Συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων για μικρούς και απομονωμένους οικισμούς. Εφαρμογή στη Λέσβο”*
- Τσέζος Μ. (2012) *“Τεχνολογία επεξεργασίας υγρών αποβλήτων”*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών
- Χρυσικού Ε. (2008), Μεταπτυχιακή εργασία *“Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορών με επεξεργασμένα λύματα – περίπτωση εφαρμογής στο Θριάσιο Πεδίο”*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»
- «Οδηγία 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1991 για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων», Επίσημη Εφημερίδα αριθ. L 135 της 30/05/1991 σ. 0040 – 0052
- Envima (2013) *“Τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων: προσκολλημένη βιομάζα”*, Τεχνική Τεκμηρίωση, Έκδοση 1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παρόν παράρτημα θα παρατεθούν οι ακριβείς ημερομηνίες φορτίσεων των φίλτρων στη δεξαμενή αερισμού του βιολογικού καθαρισμού και στο εργαστήριο. Επίσης ορισμένοι πίνακες με μετρήσεις TOC που αποσκοπούσαν στον αρχικό έλεγχο της ποιότητας και σταθερότητας των εκροών τις πρώτες ημέρες λειτουργίας των φίλτρων. Και τέλος οι πίνακες με τις ολοκληρωμένες μετρήσεις που παρουσιάσθηκαν εντός της διπλωματικής εργασίας.

Φορτίσεις Φίλτρων

Φόρτιση στη δεξαμενή αερισμού Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων Δήμου Χανίων	
Έναρξη (Ημ/νία)	13/10/2014
Λήξη (Ημ/νία)	27/10/2014
Διάρκεια (Ημέρες)	14
Φόρτιση στο εργαστήριο με υγρά απόβλητα και θρεπτικά συστατικά	
Έναρξη (Ημ/νία)	13/10/2014
Λήξη (Ημ/νία)	27/10/2014
Διάρκεια (Ημέρες)	7
Συνολική διάρκεια φόρτισης (Ημέρες)	
	21

Μετρήσεις Σταθεροποίησης

Κατά τις μετρήσεις σταθεροποίησης τοποθετούνταν 30L υγρών αποβλήτων ως δεξαμενή εισόδου στο κάθε φίλτρο. Η εκροή γινόταν σε άδεια δεξαμενή συγκέντρωση των αποβλήτων. Μετά την έναρξη λειτουργίας πραγματοποιούνταν μία μέτρηση TOC, στη συνέχεια γινόταν αλλαγή στο σύστημα ώστε τα επεξεργασμένα λύματα να εκρέουν πίσω στη δεξαμενή εισόδου. Το αποτέλεσμα ήταν να μπορεί στο σύστημα να ρέει απόβλητο για παραπάνω από 30h.

Μετά από 24h με ανακυκλοφορία πραγματοποιούνταν 2 ακόμη μετρήσεις. Μια μέτρηση TOC στο δοχείο με το ανακυκλοφορούμενο λύμα και μία ακόμη στην άμεση έξοδο του συστήματος εκείνη της στιγμής. Η δοκιμή της ανακυκλοφορίας είχε ως σκοπό την επίβλεψη και σχεδίαση των μελλοντικών μεθόδων λειτουργίας.

Τέλος, μετά από 48h λειτουργίας του συστήματος με ανακυκλοφορούμενα απόβλητα, μετρούταν το TOC στο δοχείο των αποβλήτων. Τα αποτελέσματα που καταγράψαμε εμφανίζονται στους επόμενους πίνακες.

Ημ/νία	4/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι
TOC Εισόδου (ppm)	134,23
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 1h λειτουργίας Χωρίς Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	125,46
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	96,87
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 24h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	90,45
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	56,35
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 24h λειτουργίας Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	88,76
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	47,13
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 48h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	87,38
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	40,56

Ημ/νία	6/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι
TOC Εισόδου (ppm)	130,4
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 1h λειτουργίας Χωρίς Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	96,08
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	55,14
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 24h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	59,81
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	39,46
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 24h λειτουργίας Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	59,78
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	27,42
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 48h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	58,09
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	27,84

Ημ/νία	8/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι
TOC Εισόδου (ppm)	106,4
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 1h λειτουργίας Χωρίς Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	51,97
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	20,72
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 24h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	48,16
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	24,05
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 24h λειτουργίας Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	40,96
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	23,35
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 48h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	32,91
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	24,26

Ημ/νία	10/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι
TOC Εισόδου (ppm)	115,3
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 1h λειτουργίας Χωρίς Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	44,57
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	37,33
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 24h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	56,03
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	46,55
Μέτρηση TOC στην έξοδο μετά από 24h λειτουργίας Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	40,48
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	23,35
Μέτρηση TOC Δεξαμενής Εκροών μετά από 48h Με Ανακυκλοφορία	
Φίλτρο Τυχαίας Ροής (ppm)	53,75
Φίλτρο Cross Flow (ppm)	36,05

Τελικές Μετρήσεις (Αναλυτικά)

Πρόκειται για το σύνολο των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν με τα ακριβή αποτελέσματα που λήφθηκαν καθώς και τις αντίστοιχες πράξει μετατροπής τους (όπου αυτές χρειάστηκαν).

Μετρήσεις χωρίς αερισμό

Ημ/νία	23/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	1,98	1,98

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,30	7,30
Out	7,50	7,80

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	137,70	137,70
Out (ppm)	60,53	75,84
Απομ. %	56,04	44,92

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	335,00	335,00
Out (mg/l)	118,60	122,80
Απομ. %	64,60	63,34

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	51,25	51,25
Out (mg/l)	20,25	38,75
Απομ. %	60,49	24,39

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	27,50	10,70
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	3,50	2,90
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In	Τυχαίας Ροής (1:40)		Cross Flow (1:40)	
Μπουκάλια	2	3	4	5	6	7
DO (mg/l)	8,15	8,24	8,67	8,42	8,18	8,26
DO5 (mg/l)	5,23	5,06	6,42	6,13	5,56	5,56
BOD (mg/l)	219,00	238,50	90,00	91,60	104,80	108,00
BOD5 (mg/l)	228,75	228,75	90,80	90,80	106,40	106,40
Απομ. %			60,31	60,31	53,49	53,49

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,6143	0,6219	0,007 6	7,6000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,5978	0,5998	0,002 0	2,0000	73,68
Φίλτρο Cross Flow	0,5962	0,5981	0,001 9	1,9000	75,00

Ημ/νία	25/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	2,01	0,10

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,20	7,20
Out	7,40	7,50

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	128,30	128,30
Out (ppm)	54,30	71,80
Απομ. %	57,68	44,04

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	47,50	47,50
Out (mg/l)	16,75	31,50
Απομ. %	64,74	33,68

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In	Τυχαίας Ροής (1:40)		Cross Flow (1:40)	
Μπουκάλια	8	9	10	11	12	13
DO (mg/l)	7,98	8,12	8,22	8,31	8,16	8,04
DO5 (mg/l)	5,12	5,38	6,22	6,47	5,40	5,57
BOD (mg/l)	214,50	205,50	80,00	73,60	110,40	98,80
BOD5 (mg/l)	210,00	210,00	76,80	76,80	104,60	104,60
Απομ. %	-	-	63,43	63,43	50,19	50,19

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	-	-	-	-	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	-	-	-	-	-
Φίλτρο Cross Flow	-	-	-	-	-

Ημ/νία	26/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	2,24	0,15

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,90	7,90
Out	7,90	8,00

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	129,30	129,30
Out (ppm)	50,34	70,35
Απομ. %	61,07	45,59

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	318,00	318,00
Out (mg/l)	104,00	117,00
Απομ. %	67,30	63,21

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	49,75	49,75
Out (mg/l)	13,50	32,50
Απομ. %	72,86	34,67

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	32,10	14,90
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	4,30	3,50
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In	Τυχαίας Ροής (1:40)		Cross Flow (1:40)	
Μπουκάλια	14	15	16	17	18	19
DO (mg/l)	7,96	7,94	8,12	8,08	8,07	8,09
DO5 (mg/l)	5,10	5,25	6,34	6,27	5,55	5,69
BOD (mg/l)	214,50	201,75	71,20	72,40	100,80	96,00
BOD5 (mg/l)	208,13	208,13	71,80	71,80	98,40	98,40
Απομ. %	-	-	65,50	65,50	52,72	52,72

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,5943	0,5974	0,003 1	3,1000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,6177	0,6193	0,001 6	1,6000	48,39
Φίλτρο Cross Flow	0,6042	0,6058	0,001 6	1,6000	48,39

Ημ/νία	28/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	2,13	0,18

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,70	7,70
Out	7,90	7,90

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	150,50	150,50
Out (ppm)	60,00	96,00
Απομ. %	60,13	36,21

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	52,25	52,25
Out (mg/l)	19,25	39,75
Απομ. %	63,16	23,92

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In	Τυχαίας Ροής (1:40)		Cross Flow (1:40)	
Μπουκάλια	20	21	22	23	24	25
DO (mg/l)	7,89	7,96	8,43	8,47	8,36	8,24
DO5 (mg/l)	5,05	5,33	6,59	6,46	5,75	5,99
BOD (mg/l)	213,00	197,25	73,60	80,40	104,40	90,00
BOD5 (mg/l)	205,13	205,13	77,00	77,00	97,20	97,20
Απομ. %	-	-	62,46	62,46	52,61	52,61

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	-	-	-	-	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	-	-	-	-	-
Φίλτρο Cross Flow	-	-	-	-	-

Ημ/νία	29/11/2014
Q	1,00
Αερισμός	Όχι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	1,87	0,80

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,30	7,30
Out	7,50	7,60

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	124,80	124,80
Out (ppm)	65,30	78,90
Απομ. %	47,68	36,78

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	298,00	298,00
Out (mg/l)	102,30	119,30
Απομ. %	65,67	59,97

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	51,50	51,50
Out (mg/l)	19,75	40,25
Απομ. %	61,65	21,84

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	28,70	8,20
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	4,70	3,60
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In	Τυχαίας Ροής (1:40)		Cross Flow (1:40)	
Μπουκάλια	2	3	4	5	6	7
DO (mg/l)	8,45	8,36	7,98	7,96	8,02	8,15
DO5 (mg/l)	5,80	5,73	5,98	6,11	5,25	5,64
BOD (mg/l)	198,75	197,25	80,00	74,00	110,80	100,40
BOD5 (mg/l)	198,00	198,00	77,00	77,00	105,60	105,60
Απομ. %	-	-	61,11	61,11	46,67	46,67

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,6053	0,6131	0,007 8	7,8000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,6147	0,6171	0,002 4	2,4000	69,23
Φίλτρο Cross Flow	0,5996	0,6019	0,002 3	2,3000	70,51

Μετρήσεις με αερισμό

Ημ/νία	28/1/2015
Q	1,00
Αερισμός	Ναι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	8,01	7,83

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,70	7,70
Out	7,90	7,80

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	102,50	102,50
Out (ppm)	40,86	47,90
Απομ. %	60,14	53,27

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	229,00	229,00
Out (mg/l)	56,50	51,50
Απομ. %	75,33	77,51

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	31,25	31,25
Out (mg/l)	7,75	11,25
Απομ. %	75,20	64,00

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	21,50	16,50
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	2,30	2,50
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In (1:75)	Τυχαίας Ροής (1:30)		Cross Flow (1:30)	
Μπουκάλια	2	3	4	5	6	7
DO (mg/l)	8,41	8,50	8,14	8,14	7,89	7,96
DO5 (mg/l)	6,56	6,31	6,38	6,62	6,40	6,30
BOD (mg/l)	138,75	164,25	52,80	45,60	44,70	49,80
BOD5 (mg/l)	151,50	151,50	49,20	49,20	47,25	47,25
Απομ. %	-	-	67,52	67,52	68,81	68,81

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,6128	0,6193	0,006 5	6,5000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,5952	0,5955	0,000 3	0,3000	95,38
Φίλτρο Cross Flow	0,6038	0,6041	0,000 3	0,3000	95,38

Ημ/νία	29/1/2015
Q	1,00
Αερισμός	Ναι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	8,31	7,93

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,30	7,30
Out	7,50	7,60

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	70,38	70,38
Out (ppm)	23,98	30,23
Απομ. %	65,93	57,05

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	21,75	21,75
Out (mg/l)	2,00	3,75
Απομ. %	90,80	82,76

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:40)	In (1:40)	Τυχαίας Ροής (1:30)		Cross Flow (1:30)	
Μπουκάλια	8	9	10	11	12	13
DO (mg/l)	7,87	8,10	8,27	8,30	8,41	8,42
DO5 (mg/l)	5,20	5,02	6,99	7,05	7,21	7,09
BOD (mg/l)	106,80	123,20	38,40	37,50	36,00	39,90
BOD5 (mg/l)	115,00	115,00	37,95	37,95	37,95	37,95
Απομ. %	-	-	67,00	67,00	67,00	67,00

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	-	-	-	-	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	-	-	-	-	-
Φίλτρο Cross Flow	-	-	-	-	-

Ημ/νία	30/1/2015
Q	1,00
Αερισμός	Ναι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	8,13	7,71

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,60	7,60
Out	7,80	7,80

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	111,30	111,30
Out (ppm)	36,36	52,85
Απομ. %	67,33	52,52

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	255,00	255,00
Out (mg/l)	48,00	53,50
Απομ. %	81,18	79,02

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	36,50	36,50
Out (mg/l)	6,50	13,25
Απομ. %	82,19	63,70

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	25,70	18,30
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	4,50	5,10
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In (1:75)	Τυχαίας Ροής (1:30)		Cross Flow (1:30)	
Μπουκάλια	14	15	16	17	18	19
DO (mg/l)	7,94	8,00	8,40	8,40	8,44	8,36
DO5 (mg/l)	5,81	5,83	7,37	7,39	7,29	7,28
BOD (mg/l)	159,75	162,75	30,90	30,30	34,50	32,40
BOD5 (mg/l)	161,25	161,25	30,60	30,60	33,45	33,45
Απομ. %	-	-	81,02	81,02	79,26	79,26

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,6053	0,6141	0,008 8	8,8000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,5948	0,5954	0,000 6	0,6000	93,18
Φίλτρο Cross Flow	0,6197	0,6201	0,000 4	0,4000	95,45

Ημ/νία	31/1/2015
Q	1,00
Αερισμός	Ναι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	7,60	7,90

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,40	7,40
Out	7,70	7,70

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	115,40	115,40
Out (ppm)	35,59	53,96
Απομ. %	69,16	53,24

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	39,50	39,50
Out (mg/l)	5,75	11,75
Απομ. %	85,44	70,25

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	-	-
Out (mg/l)	-	-
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In (1:75)	Τυχαίας Ροής (1:30)		Cross Flow (1:30)	
Μπουκάλια	20	21	22	23	24	25
DO (mg/l)	7,92	8,21	8,59	8,64	7,88	7,90
DO5 (mg/l)	6,01	6,17	7,41	7,65	6,98	6,80
BOD (mg/l)	143,25	153,00	35,40	29,70	27,00	33,00
BOD5 (mg/l)	148,13	148,13	32,55	32,55	30,00	30,00
Απομ. %	-	-	78,03	78,03	79,75	79,75

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	-	-	-	-	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	-	-	-	-	-
Φίλτρο Cross Flow	-	-	-	-	-

Ημ/νία	1/2/2015
Q	1,00
Αερισμός	Ναι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	7,70	7,00

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,40	7,40
Out	7,60	7,70

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	112,70	112,70
Out (ppm)	40,70	50,10
Απομ. %	63,89	55,55

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	254,00	254,00
Out (mg/l)	52,00	53,00
Απομ. %	79,53	79,13

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	38,70	38,70
Out (mg/l)	6,30	12,95
Απομ. %	83,72	66,54

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	27,20	22,40
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	3,90	4,70
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In (1:75)	Τυχαίας Ροής (1:30)		Cross Flow (1:30)	
Μπουκάλια	26	27	28	29	30	31
DO (mg/l)	8,42	8,36	8,27	8,38	7,98	8,07
DO5 (mg/l)	6,57	6,39	6,91	7,28	6,54	6,74
BOD (mg/l)	138,75	147,75	40,80	33,00	43,20	39,90
BOD5 (mg/l)	143,25	143,25	36,90	36,90	41,55	41,55
Απομ. %	-	-	74,24	74,24	70,99	70,99

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,6078	0,6153	0,007 5	7,5000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,5967	0,5972	0,000 5	0,5000	93,33
Φίλτρο Cross Flow	0,6184	0,6190	0,000 6	0,6000	92,00

Μετρήσεις με αερισμό και παροχή Q = 2 L/h

Ημ/νία	2/2/2015
Q	2,00
Αερισμός	Ναι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	7,90	7,48

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,60	7,60
Out	7,90	7,80

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	124,90	124,90
Out (ppm)	48,85	78,83
Απομ. %	60,89	36,89

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	272,00	272,00
Out (mg/l)	80,30	82,80
Απομ. %	70,48	69,56

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	47,50	47,50
Out (mg/l)	14,25	28,25
Απομ. %	70,00	40,53

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	27,30	12,10
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	5,90	7,80
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In (1:75)	Τυχαίας Ροής (1:30)		Cross Flow (1:40)	
Μπουκάλια	2	3	4	5	6	7
DO (mg/l)	7,83	7,86	8,26	8,35	8,20	8,30
DO5 (mg/l)	4,95	5,12	6,15	5,90	6,64	6,48
BOD (mg/l)	216,00	205,50	63,30	73,50	62,40	72,80
BOD5 (mg/l)	210,75	210,75	68,40	68,40	67,60	67,60
Απομ. %	-	-	67,54	67,54	67,92	67,92

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,6054	0,6140	0,008 6	8,6000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,5998	0,6014	0,001 6	1,6000	81,40
Φίλτρο Cross Flow	0,6117	0,6134	0,001 7	1,7000	80,23

Ημ/νία	3/2/2015
Q	2,00
Αερισμός	Ναι

DO	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	7,56	6,46

pH	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In	7,50	7,50
Out	7,80	7,80

TOC	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (ppm)	100,40	100,40
Out (ppm)	47,56	75,68
Απομ. %	52,63	24,62

COD	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	288,00	288,00
Out (mg/l)	58,90	76,20
Απομ. %	79,55	73,54

NH3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	37,25	37,25
Out (mg/l)	9,00	20,00
Απομ. %	75,84	46,31

NO3-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	26,20	11,40
Απομ. %	-	-

NO2-N	Φίλτρο Τυχαίας Ροής	Φίλτρο Cross Flow
In (mg/l)	0,00	0,00
Out (mg/l)	2,30	6,10
Απομ. %	-	-

BOD	In (1:75)	In (1:75)	Τυχαίας Ροής (1:40)		Cross Flow (1:40)	
Μπουκάλια	8	9	10	11	12	13
DO (mg/l)	7,81	7,92	8,41	8,27	8,24	8,32
DO5 (mg/l)	5,17	5,51	6,65	6,75	6,28	6,51
BOD (mg/l)	198,00	180,75	70,40	60,80	78,40	72,40
BOD5 (mg/l)	189,38	189,38	65,60	65,60	75,40	75,40
Απομ. %	-	-	65,36	65,36	60,18	60,18

TSS	Αλ+Φιλ	Αλ+Φιλ+Βιο μ	Διαφ ορά	TSS (mg/100m l)	Απομ. %
In	0,6112	0,6184	0,007 2	7,2000	-
Φίλτρο Τυχαίας Ροής	0,5982	0,5992	0,001 0	1,0000	86,11
Φίλτρο Cross Flow	0,6043	0,6055	0,001 2	1,2000	83,33

[h](#)