



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

## Επεξεργασία Στραγγισμάτων με Συνδυασμό Φυγοκεντρικού Φίλτρου και Βοιαντιδραστήρων Μεμβρανών

Μανούσος Πρωιμάκης AM : 2010050033

Εξεταστική Επιτροπή:

Αν. Καθηγητής Πέτρος Γκίκας (επιβλέπων)

Επ. Καθηγητής Νικόλαος Ξεκουκουλωτάκης

Καθηγητής Κωσταντίνος Κομνίτσας

Καθηγητής Νικόλαος Καλογεράκης (αναπληρωτής)

XANIA 2017

## Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επεξεργασίας στραγγισμάτων ΧΥΤΑ με τον συνδυασμό Φυγοκεντρικού Φίλτρου (ΦΦ) και Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών (MBR). Τα στραγγίσματα προέρχονταν από τον ΧΥΤΑ Πέρα Γαλήνων του Δ. Γαζίου του Ν. Ηρακλείου όπου έλαβαν χώρα τα πειράματα, ενώ οι αναλύσεις των δειγμάτων έγιναν στο Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα δείγματα που ελήφθησαν αντιστοιχούσαν σε 17 ημέρες λειτουργίας, από τις οποίες στις 8 πρώτες χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός Κροκίδωσης-ΦΦ, στις επόμενες 6 το ΦΦ επεξεργάστηκε ανεπεξέργαστα στραγγίσματα και στις 3 τελευταίες χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός MBR-ΦΦ.

Κατά την δεύτερη φάση των πειραμάτων μεταβλήθηκαν οι συνθήκες λειτουργίας του ΦΦ λόγω μηχανικών προβλημάτων που προέκυψαν. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η μείωση των στροφών λειτουργίας του φίλτρου από τα 12000 rpm στις 3000 rpm για τις τελευταίες 9 μέρες δειγματοληψίας.

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν για τον έλεγχο της απόδοσης των μεθόδων ήταν το pH, η αγωγιμότητα, το BOD, το COD, τα TSS, το ολικό φωσφόρο, τα αμμωνιακά  $\text{NH}_3\text{-N}$ , το ολικό άζωτο ενώ επιλεγμένα δείγματα μελετήθηκαν για την ύπαρξη χρωμίου, ψευδάργυρου, σιδήρου, χαλκού, μόλυβδου και νικελίου. Σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν στις απομακρύνσεις του BOD, COD, αμμωνιακών, φωσφορικών και ολικού αζώτου με χρήση του ΦΦ στις υψηλότερες στροφές λειτουργίας, ενώ η κροκίδωση των στραγγιδίων πριν την επεξεργασία με το ΦΦ επέφερε ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις στις περισσότερες παραμέτρους των στραγγισμάτων. Ενδεικτικές είναι οι τιμές της μείωσης του BOD κατά 88%, του COD κατά 86%, των αμμωνιακών κατά 75%, του ολικού αζώτου κατά 81%, του φωσφόρου κατά 95% και των θειικών κατά 91%. Από την εξέταση επιλεγμένων δειγμάτων, σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας, για την απόδοση του ΦΦ στην απομάκρυνση βαρέων μετάλλων βρέθηκε ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης ήταν στο νικέλιο (94%), στο σίδηρο (83%), στον χαλκό (61%), στο μόλυβδο (42%), ενώ ο ψευδάργυρος και το χρώμιο είχαν μειωμένη απομάκρυνση.

Τελικά η ποιότητα των εκροών δεν ήταν κατάλληλη για διάθεση του επεξεργασμένου λύματος στο περιβάλλον και επιπλέον δεν παρουσιάστηκαν τα αναμενόμενα αποτελέσματα, σχετικά με την απόδοση του συνδυασμού MBR-ΦΦ. Ωστόσο υπάρχει δυνατότητα βελτίωσης του συστήματος με την διόρθωση συγκεκριμένων παραγόντων που φαίνεται να το επηρεάζουν αρνητικά, ώστε να μπορέσει μελλοντικά να αποτελέσει μέθοδο προεπεξεργασίας στραγγισμάτων.

## Abstract

The subject of this research is to study the treatment of landfill leachate using the combination of a Centrifugal Filter (CF) unit with a Membrane Bioreactor (MBR) unit. The leachate samples came from the landfill of Pera Galini of the municipality of Malevizi in the prefecture of Heraclion. The experiments took place in situ and the samples were later transported to the Laboratory of Design of Environmental Processes, School of Environmental Engineering, Technical University of Crete (TUC) for analysis. The samples correspond to 17 operational days from which, in the first 8 the CF processed leachates that were pretreated using coagulation-flocculation, in the next 6 the leachate were not pretreated at all and in the last 3 the leachates that were processed by the CF were pretreated by the MBR unit. Moreover in the second stage of the experiments the operating conditions of the CF had to be altered due to mechanical malfunctions. As a result the CF had its working speed reduced from the initial 12000 rpm to 3000 rpm for the last 9 days of sampling.

The efficiency of the under study, landfill-leachate treatment methods was evaluated by measuring parameters such as BOD, COD, TSS, sulphates, total phosphorus, ammonium nitrogen ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), total nitrogen whereas some selected samples were tested for their concentration in chromium, zinc, iron, copper, lead and nickel.

Remarkably better results arose, when the CF functioned in high speed, concerning the reduction of BOD, COD, ammonium nitrogen and total phosphorus and also the pretreatment using coagulation-flocculation resulted in even greater reductions in most of the leachate's measured parameters. Indicative are the reduction percentages of BOD (88%), COD (86%), ammonium nitrogen (75%), total nitrogen (81%), total phosphorus ((95%) and of sulphates (91%). The examination of selected samples, corresponding to the various functioning conditions, on the reduction of the concentration of heavy metals showed that the greater decrease percentages were found for the values of nickel (94%), iron (83%), copper (61%), lead (42%), whereas the removal of zinc and chromium was less efficient.

Finally the results were not what was expected from the combination of MBR-CF, concerning both the reduction of the polluting parameters and also the quality of the effluents, which did not meet the criteria in order to be discharged in the aquifer.

However there is great potential and by correcting specific factors that affect negatively the treatment efficiency, this method could be used effectively as a pretreatment step in purifying landfill leachate.

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	1
Abstract .....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
1.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα .....	7
1.2 Διαχείριση ΑΣΑ .....	8
1.3 Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων(ΧΥΤΑ) .....	8
1.3.1 Δομή ΧΥΤΑ .....	9
1.4 Στραγγίσματα .....	9
1.4.1 Χαρακτηριστικά Στραγγισμάτων .....	10
1.5 Μέθοδοι Επεξεργασίας στραγγισμάτων .....	11
1.5.1 Κροκίδωση-Συσσωμάτωση(Coagulation-Flocculation) .....	12
1.5.2 Προσρόφηση (Absorption) .....	13
1.5.3 Επίπλευση (Flotation) .....	13
1.5.4 Αντίστροφη Ωσμωση (Reverse Osmosis) .....	14
1.5.5 Air Stripping .....	15
1.5.6 Περιστρεφόμενοι Βιοδίσκοι .....	15
1.5.7 MBBR .....	16
1.5.8 Βιοαντιδραστήρες Μembrανών (MBR) .....	17
1.6 Χ.Υ.Τ.Α. Πέρα Γαλήνων, Ν. Ηρακλείου .....	18
1.7 Περιγραφή συστήματος Βιοαντιδραστήρων Μembrανών .....	20
1.8 Περιγραφή Φυγοκεντρικού Φίλτρου .....	22
2. ΣΚΟΠΟΣ .....	23
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	24
3.1 Περιγραφή Πειραματικής Διάταξης .....	24
3.2 Μεθοδολογία Πειραμάτων .....	25
3.3 Λίστα Μετρημένων Δειγμάτων .....	26
3.4 Υλικά και Μέθοδοι .....	27
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....	32
4.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων .....	33
4.1.1 pH .....	33
4.1.2 Θειικά .....	36
4.1.3 TSS .....	39
4.1.4 Αγωγιμότητα .....	42
4.1.5 BOD <sub>5</sub> .....	45
4.1.6 COD .....	48

4.1.7 Αμμωνιακά .....	51
4.1.8 Ολικό Άζωτο .....	54
4.1.9 Ολικός Φώσφορος .....	57
4.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων Μετάλλων .....	60
4.2.1 Ψευδάργυρος.....	60
4.2.2 Σίδηρος .....	61
4.2.3 Χαλκός .....	62
4.2.4 Μόλυβδος .....	63
4.2.5 Νικέλιο .....	64
4.2.6 Χρώμιο.....	65
4.3 Συζήτηση Αποτελεσμάτων .....	66
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	70
5.1 Συμπεράσματα .....	70
5.2 Προτάσεις .....	71
6. Βιβλιογραφία .....	72
Παράρτημα .....	75

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρώπινη δραστηριότητα σε όλες τις εκφάνσεις της συνοδεύεται από την χρήση και την απόρριψη αγαθών όταν εκείνα εξαντλήσουν την χρηστική τους αξία. Με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού προκύπτουν νέες ανάγκες στην παραγωγική και καταναλωτική διαδικασία μετατρέποντας το πρόβλημα της διαχείρισης των αποβλήτων σε καίριο ζήτημα για όλα τα κράτη, που καλούνται να ασκήσουν αυστηρές πολιτικές για την διαφύλαξη του περιβάλλοντος.

Αναφορά πρέπει να γίνει στην ευρωπαϊκή νομοθεσία και αναλυτικότερα στην Οδηγία πλαίσιο 2006/12/ΕΚ για τα απόβλητα, στην Οδηγία 1991/689/ΕΟΚ για τα Κετικίνδυνα απόβλητα καθώς και στον Κανονισμό 2006/1013/ΕΚ για την μεταφορά αποβλήτων. Στην εγχώρια νομοθεσία διακρίνονται ο Νόμος Ν. 1650/1986 «Για την προστασία του περιβάλλοντος» σύμφωνα με την τροποποίηση με το Ν. 3010/2002 για την εναρμόνιση με την ευρωπαϊκή νομοθεσία καθώς και ο Νόμος Ν. 2939/2001 «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις»

### **1.1 Αστικά Στερεά Απόβλητα**

Ο όρος Στερεά Απόβλητα (ΣΑ) αναφέρεται σε υλικά, ενδεχομένως επικίνδυνα με ελάχιστη περιεχόμενη υγρασία τα οποία έχουν απορριφθεί από τον κάτοχό τους. Τα ΣΑ χωρίζονται σε Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ) και σε ειδικά στερεά απόβλητα, με τα πρώτα να σχετίζονται κυρίως με οικιακά ή προσομοιαζόμενα οικιακά απόβλητα ενώ τα τελευταία με επικίνδυνα απόβλητα, μη επικίνδυνα ειδικά απόβλητα και ιατρικά απόβλητα. Ειδικότερα τα ΑΣΑ αναφέρονται σε ένα ιδιαίτερα ανομοιογενές μείγμα που αποτελείται από οικιακά, εμπορικά, βιοτεχνικά, απόβλητα ιδρυμάτων και άλλων δραστηριοτήτων (καθαρισμοί δρόμων, πάρκων κτλ.) (Γιδαράκος, 2015).

## **1.2 Διαχείριση ΑΣΑ**

Η διαχείριση των ΑΣΑ αποτελεί ένα πολυδιάστατο ζήτημα με διαστάσεις που εκτείνονται στον οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό τομέα. Το κοινωνικό σύνολο επιβάλλεται να συντελέσει ενεργά στην λύση του προβλήματος της ορθολογικής και ολοκληρωμένης διαχείρισης των ΑΣΑ για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης αλλά και τις ελαχιστοποίησης των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων (Νταρακάς, 2014). Πιο διαδεδομένες μέθοδοι διαχείρισης είναι η υγειονομική ταφή, η ανάκτηση υλικών και η θερμική επεξεργασία με ανάκτηση ενέργειας. Στην Ελλάδα η ταφή χρησιμοποιείται στο συντριπτικό ποσοστό 81%, σύμφωνα με στατιστικά της Eurostat για την χρονιά 2013, με την ανακύκλωση να ακολουθεί με 15% και την κομποστοποίηση με 4%. (Eurostat, 2016).

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος σε χώρες όπως οι Γερμανία, Γαλλία, Ελβετία, Δανία, Ολλανδία είναι η καύση για την ανάκτηση ενέργειας, γεγονός που δεν είναι τυχαίο καθώς η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) προσανατολίζεται στον σημαντικό περιορισμό της ταφής των απορριμμάτων. Αναλυτικότερα μέσα στους στόχους της ΕΕ για το 2016 ήταν ο περιορισμός των αποβλήτων που θα καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής σε επίπεδο χαμηλότερο του 40% των συνολικά παραγόμενων ΑΣΑ για κάθε ένα από τα κράτη μέλη (Ντάρακας 2014)

## **1.3 Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων(ΧΥΤΑ)**

Η κοινοτική οδηγία 1999/31/ΕΚ ορίζει τους ΧΥΤΑ ως «κάθε χώρος διάθεσης αποβλήτων για την απόθεση των αποβλήτων επί ή εντός του εδάφους ή υπογείως, συμπεριλαμβανομένων:

των εσωτερικών χώρων διάθεσης των αποβλήτων (δηλαδή των ΧΥΤΑ στους οποίους ένας παραγωγός αποβλήτων πραγματοποιεί τη διάθεσή τους στον τόπο παραγωγής) και κάθε μόνιμος (δηλαδή χρησιμοποιούμενος άνω του έτους) χώρος προσωρινής εναποθήκευσης αποβλήτων, αλλά εξαιρουμένων:

- των εγκαταστάσεων στις οποίες εκφορτώνονται τα απόβλητα με σκοπό την προετοιμασία τους για περαιτέρω μεταφορά τους προς ανάκτηση χρήσιμων υλών, επεξεργασία ή διάθεση αλλού και
- της εναποθήκευσης των αποβλήτων πριν από την ανάκτηση χρήσιμων υλών ή την επεξεργασία για διάστημα μικρότερο των τριών ετών κατά γενικό κανόνα,

- της εναποθήκευσης αποβλήτων πριν από τη διάθεση για διάστημα μικρότερο του έτους».

Κάθε χώρος ταφής κατατάσσεται σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

- Χώρος ταφής επικίνδυνων αποβλήτων.
- Χώρος ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων.
- Χώρος ταφής αδρανών αποβλήτων.».

Οι ΧΥΤΑ όπου διατίθενται τα ΑΣΑ ανήκουν στους «Χώρους ταφής μη επικίνδυνων αποβλήτων»

### 1.3.1 Δομή ΧΥΤΑ

Η βασικότερη δομή εντός του ΧΥΤΑ είναι το κύτταρο, στο οποίο εναποτίθενται τα απορρίμματα μιας λειτουργικής περιόδου και έπειτα συμπιέζονται και καλύπτονται από μια στρώση εδαφικού υλικού. Το εδαφικό υλικό, πάχους περίπου 15-30 cm, εμποδίζει την εισχώρηση βρόχινου νερού, τρωκτικών, εντόμων αλλά και τον διασκορπισμό των ΑΣΑ. Ο ΧΥΤΑ αποτελείται από πολλές οριζόντιες σειρές κυττάρων, ίδιου ύψους, που βρίσκονται η μία πάνω στην άλλη. Κάθε τέτοια σειρά ονομάζεται ταμπάνι και έχει το δικό της ξεχωριστό σύστημα συλλογής στραγγισμάτων και βιοαερίου. Η εξωτερική επιφάνεια της εγκατάστασης καλύπτεται από πολλαπλές στρώσεις χώματος και γεωμεμβρανών για την αποτροπή της εισόδου των όμβριων υδάτων στο εσωτερικό του ΧΥΤΑ και για την στήριξη της μελλοντικής υπερκείμενης βλάστησης. Τέλος για την παρακολούθηση τυχών διαρροών και την πρόληψη της ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα τοποθετούνται πηγάδια παρατήρησης περιμετρικά του Χυτά (Γιδαράκος, 2005).

## 1.4 Στραγγίσματα

Τα στραγγίσματα ορίζονται ως η υδαρή εκροή που παράγεται ως συνέπεια, της διήθησης του βρόχινου νερού διαμέσων των ΑΣΑ, των βιοχημικών διεργασιών στο εσωτερικό των κυττάρων και της υπάρχουσας υγρασίας των ΑΣΑ. Τα στραγγίσματα ενδέχεται να περιέχουν μεγάλες ποσότητες οργανικών ουσιών (βιοδιασπώμενες και ανθεκτικότερες στην βιοδιάσπαση), με τα χουμικά συστατικά να αποτελούν σημαντικό ποσοστό. Επιπλέον περιέχουν αμμωνιακό άζωτο, βαρέα μέταλλα και ανόργανα άλατα. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εναπόθεση των στραγγισμάτων

στα φυσικά νερά είναι η αφαίρεση του οργανικού υλικού τους, ελέγχοντας την χημική (COD) και βιολογική (BOD) απαίτηση σε οξυγόνο καθώς και ο περιορισμός της τοξικότητας τους, που έχει αποδειχθεί από αναλύσεις χρησιμοποιώντας μικροοργανισμούς (*Vibrio fisheri*, *Daphnia similis*, *Artemia salina*, *Brachydanio rerio*). (Renou *et al.*, 2008)

#### 1.4.1 Χαρακτηριστικά Στραγγισμάτων

Τα χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων από ΧΥΤΑ σε ΧΥΤΑ δεν είναι πάντα όμοια. Σημαντικές διαφορές στη σύσταση των στραγγισμάτων παρατηρούνται μεταξύ των διαφόρων φάσεων λειτουργίας ακόμα και του ίδιου ΧΥΤΑ. Ωστόσο, μετά το κλείσιμο κάποιου κυττάρου τα χαρακτηριστικά των στραγγιδίων σταθεροποιούνται, κατά τις διάφορες φάσεις λειτουργίας. Σημαντικός παράγοντας που καθορίζει, σε μεγάλο βαθμό την σύσταση των στραγγισμάτων είναι η ηλικία του ΧΥΤΑ. Μετά την εναπόθεση των ΑΣΑ εντός του κυττάρου και όσο ακόμα υπάρχουν αερόβιες συνθήκες εντός του μείγματος αποβλήτων πραγματοποιείται μια σύντομη όξινη φάση κατά την οποία τα παραγόμενα στραγγίσματα διακρίνονται από υψηλές συγκεντρώσεις πτητικών λιπαρών οξέων (VFA). Με μοριακό βάρος μικρότερο από 120 Da και μεγάλη βιοδιασπασιμότητα, τα VFA αποτελούν την πλειοψηφία των οργανικών ενώσεων ενώ ο λόγος BOD/COD κυμαίνεται μεταξύ 0,4-0,5. Την όξινη ακολουθεί μια σημαντικά πιο μακρά σε διάρκεια φάση οξεογένεσης και μεθανογένεσης κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Κατά την μεθανογένεση τα μεθανογενή βακτήρια διασπούν τα VFA και μειώνουν τα οργανικά των στραγγισμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση του pH σε τιμές ανώτερες του 7. Μετά την διάσπαση, μονάχα χουμικές ουσίες με μεγάλο μοριακό βάρος παραμένουν και όταν πλέον σταθεροποιηθούν οι συνθήκες ο λόγος BOD/COD είναι μικρότερος του 0.1 (Kurniawan *et al.*, 2006.).

Επιπλέον η σύσταση των στραγγισμάτων εξαρτάται από την θέση και το είδος του ΧΥΤΑ, με τις διαφορές στο κλίμα και στη σύσταση των αποβλήτων να οδηγούν σε μεγάλες διακυμάνσεις τις τιμές των χαρακτηριστικότερων παραμέτρων τους.

Εκτός από τα COD, BOD, τον λόγο BOD/COD και το pH βασικές παράμετροι για τα χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ αποτελούν τα αιωρούμενα στερεά (SS), το αμμωνιακό άζωτο, το ολικό άζωτο και τα βαρέα μέταλλα. Ενδεικτικά από έρευνες που έχουν

πραγματοποιηθεί το COD μπορεί να ποικίλει από 70,900 mg L<sup>-1</sup> έως και 100 mg L<sup>-1</sup> σε σταθεροποιημένα στραγγίσματα, το pH λαμβάνει τιμές μεταξύ 5.8–8.5, το αμμωνιακό άζωτο 0.2 - 13,000 mg L<sup>-1</sup> και το πηλίκο BOD/COD από 0.70 έως 0.04 ενώ μειώνεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου (Renou *et al.*, 2008).

Πέρα από το οργανικό φορτίο που παραμένει στα σταθεροποιημένα στραγγίσματα, το αμμωνιακό άζωτο αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στην εξυγίανση των λυμάτων. Ελευθερώνεται κυρίως κατά την αποσύνθεση πρωτεϊνών και όπως προαναφέρθηκε οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0.2 - 13,000 mg L<sup>-1</sup>. Δεν παρατηρείται σημαντική μείωση με το χρόνο στις συγκεντρώσεις του και δύναται να καταστείλει την δράση των βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας λόγω της τοξικότητας του (Fernandes *et al.*, 2015). Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι η παραγωγή στραγγισμάτων, με υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου, σε ένα κύτταρο μπορεί να συνεχιστεί ακόμα και με το πέρασ 50 χρόνων από τις διεργασίες πλήρωσης. Έτσι αν δεν πραγματοποιηθεί σωστή επεξεργασία του λύματος είναι πιθανόν με τυχόν διαρροή του στον υπόγειο υδροφόρα να αποτελέσει σημαντικό κίνδυνο για το περιβάλλον και την δημόσια υγεία (Kurniawan *et al.*, 2006.).

### **1.5 Μέθοδοι Επεξεργασίας στραγγισμάτων**

Η βιολογική μέθοδος της νιτροποίησης-απονιτροποίησης είναι η φθηνότερη και πιο αποτελεσματική μέθοδος για την απομάκρυνση του αζώτου από τα στραγγίσματα. Ωστόσο η βιολογική εξυγίανση παρεμποδίζεται από συγκεκριμένες τοξικές ουσίες (ΡΑΗ-αρωματικοί υδρογονάνθρακες, ΑΟΧ-προσροφήσιμα οργανικά αλογόνα, PCB-πολυχλωριωμένα διφαινύλια) και από την παρουσία δύσκολα αποδομήσιμων οργανικών. Η απόδοση της απονιτροποίησης μειώνεται από το περιορισμένο επίπεδο των βιοαποδομήσιμων οργανικών ιδιαίτερα σε σταθεροποιημένους ΧΥΤΑ.

Οι συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας στραγγισμάτων, όπως air stripping και κροκίδωση-συσσωμάτωση είναι συνήθως δαπανηρές όσον αφορά το αρχικό κόστος εγκατάστασης, τις ενεργειακές απαιτήσεις και την συχνή χρησιμοποίηση χημικών. Επιπλέον μέθοδοι, σαν την αντίστροφη ώσμωση και προσρόφηση με χρήση ενεργού άνθρακα απλά μεταβιβάζουν την ρύπανση και δεν λύνουν το

περιβαλλοντικό πρόβλημα. Τέλος διεργασίες προχωρημένης οξείδωσης(AOP-advanced oxidation process) έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια ως μια αποτελεσματική εναλλακτική για την ορυκτοποίηση των ανθεκτικών οργανικών σε στραγγίδια ΧΥΤΑ. Όμως το κόστος των τεχνικών αυτών για εφαρμογή μεγάλης κλίμακας είναι απαγορευτικό και ενώ θα μπορούσε να μειωθεί αν συνδυάζονταν με βιολογικές μεθόδους, η συμβατότητα τους δεν έχει ακόμα αποδειχθεί. (Wiszniewski *et al.*, 2006)

#### 1.5.1 Κροκίδωση-Συσσωμάτωση(Coagulation-Flocculation)

Χρησιμοποιείται ως προεπεξεργασία για την προετοιμασία στραγγισμάτων νεαρών ΧΥΤΑ, με υψηλές τιμές COD, πριν επεξεργαστούν από αντίστροφη ώσμωση (Amokrane *et al.*, 1997) και από βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας. Επιπλέον αποτελεί και τελευταίο βήμα (polishing) μετά την επεξεργασία στραγγισμάτων ώριμων ΧΥΤΑ (Tatsi *et al.*, 2003). Απομακρύνει τα αιωρούμενα στερεά των αποβλήτων, εξουδετερώνοντας τα ηλεκτρικά φορτία τους με την χρήση θρομβωτικών αντιδραστηρίων που ελευθερώνουν ιόντα αντίθετα φορτισμένα. Με το πέρας της εξουδετέρωσης, τα σωματίδια σχηματίζουν συσσωματώματα με την βοήθεια αργής ανάδευσης και ξεκινούν να καθιζάνουν ώστε τελικά να προκύψει εκροή υπερκείμενου υγρού με χαμηλή φόρτιση αιωρούμενων στερεών.

Η χρησιμότητα της μεθόδου οφείλεται στην ικανότητα της να αφαιρεί υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών ρύπων (Aziz *et al.*,2007) με μεγάλο ποσοστό αυτών να είναι μη-βιοαποδομήσιμοι. Σημαντικός παράγοντας αποτελεσματικότητας αποτελεί η τιμή του pH που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τα ποσοστά απομάκρυνσης των οργανικών (Renou *et al.*,2008) αλλά και των βαρέων μετάλλων (Kurniawan *et al.*,2006.). Πιο συνηθισμένα άλατα που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία είναι το θειικό αργίλιο, ο θειικός σίδηρος και ο χλωριούχος σίδηρος, με τα άλατα του σιδήρου να είναι αποτελεσματικότερα πετυχαίνοντας απομακρύνσεις COD έως και 50% έναντι του 10-40% των αλάτων του αλουμινίου (Renou *et al.*,2008).

Σημαντικά μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας της μεθόδου λόγω της κατανάλωσης μεγάλων ποσοτήτων χημικών, η ευαισθησία της αποτελεσματικότητας σε συνάρτηση με τις τιμές του pH, η δημιουργία λάσπης κατά

την καθίζηση των συσσωματωμάτων που αποτελεί νέο ρύπο (Kurniawan *et al.*,2006.) και τέλος η αυξημένη συγκέντρωση σιδήρου και αλουμινίου που εμφανίζει η επεξεργασμένη εκροή.

### 1.5.2 Προσρόφηση (Absorption)

Κατά την προσρόφηση ένα μείγμα ρευστών (υγρών ή αέριων) προσκολλάται στην επιφάνεια ενός στερεού προσροφητικού υλικού και εγκλωβίζεται σχηματίζοντας φυσικούς ή/και χημικούς δεσμούς (Foo *et al.* 2009). Στόχος της μεθόδου είναι η αφαίρεση τοξικών βαρέων μετάλλων ή οργανικών όπως AOX(adsorbable organic halogens), PCB κλπ. και η υποστήριξη των μικροοργανισμών (Wiszniewski *et al.*2006). Αποδεδειγμένα, είναι αποτελεσματικότερη στην μείωση του COD από τις χημικές μεθόδους, ανεξάρτητα της αρχικής συγκέντρωσης (Renou *et al.*, 2008). Στην προσρόφηση χρησιμοποιείται κυρίως ενεργός άνθρακας σε κόκκους (GAC) αλλά και σε μορφή σκόνης (PAC) ωστόσο έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές με διαφορετικά προσροφητικά υλικά όπως, βερμικουλίτης, ιλλίτης, καολινίτης, ενεργοποιημένη αλουμίνα, τέφρα από αποτεφρωτή ΑΣΑ (Wiszniewski *et al.*,2006.) ενώ και ο ζεόλιθος έχει αποδειχθεί ικανός στην αφαίρεση μετάλλων από λύματα (Renou *et al.*, 2008). Σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το μεγάλο κόστος που οφείλεται κυρίως στις μεγάλες ανάγκες ενεργού άνθρακα.

### 1.5.3 Επίπλευση (Flotation)

Η επίπλευση έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για την μείωση των κολλοειδών, των ιόντων, των μακρομορίων, των μικροοργανισμών και των ινών που βρίσκονται στα λύματα ενώ έχει βρει ευρεία εφαρμογή στην βιομηχανία των μεταλλείων για τον εμπλουτισμό μεταλλευμάτων. Στην περίπτωση των λυμάτων η μέθοδος που εφευρέζεται ονομάζεται DAF (dissolved air flotation) και βασίζεται στον διαχωρισμό σωματιδίων με την βοήθεια φυσαλίδων που δημιουργούνται από την ελάττωση της πίεσης σε λύμα κορεσμένο με αέρα σε πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Το υπέρκορο νερό πιέζεται μέσα από ειδικά στόμια με αποτέλεσμα νέφη από φυσαλίδες διαμέτρου 30-100 μm δημιουργούνται κατόπιν της στένωσης (Rubio *et al.*, 2002) .

Τέλος έχει μελετηθεί η χρήση της επίπλευσης με στήλη ως τελικό βήμα επεξεργασίας για την αφαίρεση επίμονων χημικών οξέων από προσομοιωμένα

στραγγίσματα με τα αποτελέσματα, υπό βέλτιστες συνθήκες, να δείχνουν απομάκρυνση έως και 60%. (Zouboulis *et al.*, 2003, Renou *et al.* 2008).

#### 1.5.4 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis)

Αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο για την εξυγίανση στραγγισμάτων. Έρευνες, τόσο εργαστηριακές αλλά και σε βιομηχανική κλίμακα, έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα της αντίστροφης ώσμωσης στην επεξεργασία στραγγισμάτων. Έχουν παρατηρηθεί υψηλοί συντελεστές απομάκρυνσης τόσο σε οργανικούς όσο και σε ανόργανους ρύπους, συγκεκριμένα έχουν παρατηρηθεί απομακρύνσεις 98 - 99% για COD και βαρέα μέταλλα (κυρίως Cu και Zn), ενώ παραπλήσιες αποδόσεις έχουν παρατηρηθεί και στην απομάκρυνση αμμωνιακού αζώτου. Το επεξεργασμένο διήθημα σε αρκετές περιπτώσεις πληροί τις προδιαγραφές του πόσιμου νερού και η μέθοδος είναι ικανή να επεξεργαστεί ακόμα και βαρέως ρυπασμένα στραγγίσματα. Οι ήδη πραγματοποιημένες έρευνες έχουν δείξει ότι με την αύξηση της πίεσης λειτουργίας αυξάνεται η απόδοση του συστήματος (ελάττωση ιδιαίτερα των συγκεντρώσεων των Cu, Zn και του COD). Η αντίστροφη ώσμωση μπορεί να λειτουργήσει σε ένα αρκετά μεγάλο φάσμα θερμοκρασίας και pH στραγγισμάτων, αν και πολλές φορές απαιτείται ρύθμιση της δεύτερης παραμέτρου για την αποφυγή στερεοποίησης αλάτων στην επιφάνεια της μεμβράνης. Για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος αντίστροφης ώσμωσης απαιτείται να ληφθούν υπόψιν παράγοντες όπως η σύνθεση των ΑΣΑ, η συγκέντρωση των ρύπων των στραγγισμάτων καθώς και το pH και η θερμοκρασία τους.

Ωστόσο τρία ζητήματα προκύπτουν ως σημαντικά μειονεκτήματα της μεθόδου και μέχρι σήμερα δεν έχει καταστεί δυνατή η αντιμετώπιση τους. Το πρώτο είναι η ρύπανση της μεμβράνης του συστήματος με αποτέλεσμα να απαιτείται είτε χημικός καθαρισμός είτε εκτενής προεπεξεργασία του λύματος πριν αυτό εισέλθει στην διάταξη, έχοντας ως αποτέλεσμα στην απώλεια σε αποδοτικότητα της μεθόδου. Ακόμα παράγεται μεγάλος όγκος συμπυκνωμάτων τα οποία αποτελούν εκ νέου απόβλητα και πρέπει να διατεθούν σε ειδικούς χώρους ή να επεξεργαστούν καταλλήλως. Τέλος η επεξεργασία με αντίστροφη ώσμωση έχει υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια που αποτελούν κατά προσέγγιση το 60-80% του συνολικού λειτουργικού κόστους της. (Peters, 1998) (Kurniawan *et al.*, 2009) (Renou *et al.*, 2008) (Chianese *et al.*, 1999) (Linde *et al.*, 1995).

### 1.5.5 Air Striping

Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη φυσικοχημική μέθοδο για την απομάκρυνση αμμωνίας από τα στραγγίσματα. Πριν από την διαδικασία το pH του λύματος πρέπει να ρυθμιστεί σε βασικές τιμές για την βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η αμμωνία μεταφέρεται από την υγρή στην αέρια κατάσταση, με την παροχή αέρα αντίθετα με την ροή του λύματος, και στην συνέχεια είτε απορροφάτε από ένα ισχυρό οξύ, όπως το θειικό ή υδροχλωρικό, είτε διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.

Κατά την πραγματοποίησή ερευνών σε πολλούς ΧΥΤΑ με χρήση της συγκριμένης επεξεργασίας έχουν επιτευχθεί απομακρύνσεις έως και 93% σε δείγματα στραγγισμάτων με υψηλή αρχική συγκέντρωση αμμωνίας και έχει αποδειχθεί ότι είναι δυνατόν να επιτευχθούν συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου που πληρούν τις προϋποθέσεις για διάθεση των λυμάτων στο περιβάλλον (Kurniawan *et al.*, 2006).

Η μεταφορά της αμμωνίας από την υγρή στην αέρια φάση εξαρτάται από την αρχική της συγκέντρωση, με αποτέλεσμα ο ρυθμός απομάκρυνσης σε στραγγίσματα με χαμηλή φόρτιση αναμένεται να είναι χαμηλότερος (Marttinen *et al.*, 2002). Αναφορά πρέπει να γίνει στο χαμηλό κόστος της μεθόδου συγκριτικά με αντίστοιχες επεξεργασίες όπως αντίστροφη ώσμωση ή nanofiltration. Ωστόσο η επεξεργασία στραγγισμάτων με ammonium stripping από μόνη της δεν είναι ικανή να αφαιρέσει τις μη βιοδιασπώμενες ουσίες και απαιτούνται βιολογικές μέθοδοι, όπως νιτροποίηση, για την υποβάθμιση του μη βιοαποδομήσιμου φορτίου. Επιπλέον είναι πιθανό να υπάρχει συσσώρευση ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3$ ) στην χρησιμοποιούμενη μονάδα αν έχει προστεθεί ασβέστης για την ρύθμιση του pH (Kurniawan *et al.*, 2009). Τέλος ο υπάρχει κίνδυνος έκλυσης αμμωνίας στην ατμόσφαιρα αν δεν έχει πραγματοποιηθεί σωστή απορρόφηση της από το ισχυρό οξύ (Renou *et al.*, 2008)

### 1.5.6 Περιστρεφόμενοι Βιοδίσκοι

Οι περιστρεφόμενοι βιοδίσκοι είναι παράδειγμα βιολογικού φίλτρου προσκολλημένης βιομάζας. Αποτελούνται από πλαστικούς δίσκους εγκατεστημένους οριζοντίως σε ένα κοινό άξονα. Οι δίσκοι όντας βυθισμένοι κατά 40% σε δεξαμενή με λύμα περιστρέφονται αργά. Οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο λύμα προσκολλώνται πάνω στην επιφάνεια τους και μέσα σε μια με τέσσερις εβδομάδες δημιουργείται μια στρώση βιοφίλμ πάχους 1-2mm περίπου. Η

παραχθείσα βιομάζα αφομοιώνει τα οργανικά του λύματος που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια των δίσκων και στην ουσία ευθύνεται για την πραγματοποιούμενη εξυγίανση. Όταν ο δίσκος περιστρέφεται έξω από το λύμα το βιοφίλμ οξυγονώνεται διατηρώντας αερόβιες συνθήκες. Όταν το πάχος της βιομάζας περάσει ένα κρίσιμο σημείο αποκολλάται και καταλήγει στο λύμα.

Η περιστροφή των δίσκων εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς, όπως την επαφή του βιοφίλμ με το λύμα, την αποκόλληση της επιπλέον βιομάζας, το ανακάτεμα και την οξυγόνωση του λύματος. Σε πολλές περιπτώσεις η ιδανική ταχύτητα περιστροφής είναι 2 rpm για δίσκο διαμέτρου 3 m, ωστόσο λόγω της απαίτησης σε ενέργεια επιλέγονται ταχύτητες ανάμεσα σε 1.5 rpm και 2 rpm (Wiszniewski *et al.*, 2006).

Σχετικά με την εξυγίανση στραγγισμάτων ΧΥΤΑ η μέθοδος των περιστρεφόμενων βιοδίσκων βρίσκει εφαρμογή στην μείωση του αρχικού φορτίου αμμωνιακού αζώτου (Kulikowska *et al.*, 2009) με την απόδοση της να είναι ικανοποιητική ακόμα και σε υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου (Henderson *et al.*, 2010)(Opatken *et al.*, 1991)

#### 1.5.7 MBBR

Η μέθοδος του MBBR βασίζεται στην χρήση αιωρούμενων πορώδων πολυμερών φορέων που βρίσκονται σε συνεχή κίνηση σε μία δεξαμενή αερισμού ενώ ενεργή βιομάζα αναπτύσσεται στην επιφάνεια τους. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου, έναντι των συμβατικών μεθόδων αιωρούμενης βιομάζας, είναι, μεγαλύτερη συγκέντρωση βιομάζας, μικρότερος χρόνος κατακρήμνισης της ιλύος, μεγαλύτερη ανοχή σε τοξικές ουσίες καθώς και η ταυτόχρονη απομάκρυνση οργανικών και αμμωνίας. Σε στραγγίσματα με υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας δεν παρατηρείται αναστολή της νιτροποίησης. Επιπλέον η χρήση ενεργού άνθρακα σε κόκκους σαν πορώδες υλικό προσφέρει ικανοποιητική επιφάνεια απορρόφησης της οργανικής ύλης και βέλτιστες συνθήκες για αυξημένη βιοδιάσπαση. Από έρευνες που έχουν γίνει στην επεξεργασία στραγγισμάτων προέκυψαν απομακρύνσεις επίμονων οργανικών ρύπων κοντά στο 70% ενώ με κατάλληλες προσαρμογές στην λειτουργία του χρησιμοποιούμενου αντιδραστήρα επιτεύχθηκαν μειώσεις της αμμωνίας και του COD των δειγμάτων, της τάξης του 85-90% και 60-81% αντίστοιχα. (Renou *et al.*, 2008).

### 1.5.8 Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών (MBR)

Αποτελεί μια σχετικά πρόσφατη και πολλά υποσχόμενη λύση στην εξυγίανση των στραγγισμάτων ΧΥΤΑ. Εφαρμόζεται ήδη σε εργοστάσια στην Γερμανία, Γαλλία, Ολλανδία και συνδυάζει τον διαχωρισμό με την διήθηση μέσω μεμβρανών και την βιοαποδόμηση των ρύπων που περιέχονται στο λύμα. Μπορεί να θεωρηθεί ως σύστημα Συμβατικής Ενεργού Ιλύος (Conventional Activated Sludge, CAS) που παράλληλα διηθεί αποτελεσματικά τα υγρά απόβλητα συγκρατώντας μικρά σωματίδια ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ). Επιπλέον δύναται να λειτουργεί σε υψηλές συγκεντρώσεις MLVSS (mixed liquor suspended solids) (8000-12000 mg/L) αντίθετα με συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας.

Στον τομέα της επεξεργασίας στραγγισμάτων με τους βιοαντιδραστήρες μεμβρανών έχουν επιτευχθεί εξαιρετικά αποτελέσματα ακόμα και σε ώριμα-σταθεροποιημένα στραγγίσματα με επίμονους και δύσκολους ρύπους. Οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στην απομάκρυνση των BOD, COD και  $\text{NH}_3\text{-N}$  με το πρώτο να παρουσιάζει σταθερά ποσοστά απομάκρυνσης μεταξύ 90-99% ανεξαρτήτως των πειραματικών συνθηκών. Αντιθέτως η αφαίρεση COD δεν δείχνει την ίδια σταθερότητα, με έρευνες να παρουσιάζουν απομακρύνσεις που ποικίλουν ανάμεσα σε 23-90% ενώ μονάχα εκείνες που διενεργήθηκαν κάτω από βέλτιστες συνθήκες παρουσίασαν σταθερές απομακρύνσεις ανώτερες του 75%. Σχετικά με το  $\text{NH}_3\text{-N}$  έχουν παρατηρηθεί μειώσεις αρχικής συγκέντρωσης σε ποσοστά ανώτερα του 90% ακόμα και σε σταθεροποιημένα στραγγίσματα, ωστόσο η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση  $\text{NH}_3\text{-N}$  η οποία αν έχει υψηλές τιμές ( $>1000 \text{ mg/L}$ ) καταστέλλει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τέλος συγκριτικά με τις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας η MBR διακρίνεται από καλύτερη ποιότητα εκροής, μικρότερο οικολογικό αποτύπωμα, μεγαλύτερη απομάκρυνση MLSS, μικρότερη παραγωγή ιλύος ενώ και σαν μέθοδος είναι πιο σταθερή. (Hashisho *et al.*, 2015, Laitinen *et al.*, 2006, Renou *et al.*, 2008, Ahmed *et al.*, 2012).

### **1.6 Χ.Υ.Τ.Α. Πέρα Γαλήνων, Ν. Ηρακλείου**

Ο ΧΥΤΑ όπου πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα και η λήψη των δειγμάτων βρίσκεται στην περιοχή Πέρα Γαλήνων του Δ. Μαλεβιζίου του Ν. Ηρακλείου, σε απόσταση 32 km, προς τα δυτικά, περίπου από την πόλη του Ηρακλείου. Το εμβαδό που καλύπτει ο ΧΥΤΑ ανέρχεται στα 180 στρέμματα και δέχεται μη επικίνδυνα αστικά στερεά απόβλητα. Στον Πίνακα 1.1 φαίνεται η μάζα των ΑΣΑ που καταλήγουν στον ΧΥΤΑ ετησίως

Πίνακας 1.1 Προσδιορισμός δυναμικότητας (τόνοι ανά έτος) στο ΧΥΤΑ Πέρα Γαλήνων (Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, 2016)

<b>ΕΤΟΣ</b>	<b>ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΧΥΤΑ (τόνοι)</b>
2010	142988
2011	120401
2012	109892
2013	133835
2014	124415
2015	128584
2016	126306
Μέση Ποσότητα ΑΣΑ ανά έτος	126632

Η σύνθεση των απορριμμάτων που καταλήγουν στο ΧΥΤΑ φαίνεται στον Πίνακα 1.2

Πίνακας 1.2 Σύνθεση απορριμμάτων ΧΥΤΑ (Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών,2016)

Συστατικό	% Κ.Β.
Αδρανή	3,04
Μέταλλα	3,90
Αλουμίνιο	1,87
Γυαλί	4,25
Δέρματα - Ξύλα - Υφάσματα -Λάστιχα	4,68
Χαρτί	20,51
Υπολείμματα τροφών	38,72
Πλαστικά	17,48
Υπόλοιπα	5,55
Σύνολο	100,00

Οι εγκαταστάσεις των Πέρα Γαλήνων εξυπηρετούν τους δήμους Ηρακλείου, Μαλεβιζίου, Φαιστού και Γόρτυνας.

Ο ΧΥΤΑ απαρτίζεται από δύο παλαιότερα και δύο νεότερα μέρη. Το πρώτο και το δεύτερο τμήμα λειτούργησαν ως ΧΑΔΑ(χώρος ανεξέλεγκτης διάθεσης απορριμμάτων) από το 1992 μέχρι το 1997 και από το 1998 μέχρι το 2008 αντίστοιχα. Το τρίτο κομμάτι, που αποτελεί και το Κύτταρο Α του ΧΥΤΑ, δέχθηκε τις αποθέσεις από το 2009 έως και το 2012 ενώ το τέταρτο, δηλαδή το Κύτταρο Β λειτούργησε από το 2012 έως και το τέλος του 2015. Η τελευταία επέκταση του ΧΥΤΑ είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή του Κυττάρου Γ το οποίο δέχεται ποσότητες απορριμμάτων από το 2016.

Τα παραγόμενα στραγγίσματα επεξεργάζονται σε μονάδα που βρίσκεται πλησίον του Κτιρίου Διοικήσεως. Η Μονάδα Επεξεργασίας Στραγγισμάτων (ΜΕΣ) που παράγονται από το σύνολο της εγκατάστασης αποτελείται από :

- Μια δεξαμενή συλλογής – εξισορρόπησης στραγγισμάτων κυττάρου Β'.

- Μια δεξαμενή συλλογής – εξισορρόπησης στραγγισμάτων και αντλιοστάσια τροφοδοσίας της πρώτης βιολογικής βαθμίδας.
- το Πρώτο στάδιο βιολογικής επεξεργασίας με διακριτές φάσεις αερισμού και ανοξικών συνθηκών για αποδόμηση οργανικού φορτίου και νιτροποίηση-απονιτροποίηση σε δύο κλειστά συγκροτήματα που λειτουργούν παράλληλα, τύπου “compact” με βιοαντιδραστήρες MBBR.
- Το δεύτερο στάδιο βιολογικής επεξεργασίας, με βιοαντιδραστήρες σε συνδυασμό με βιοαντιδραστήρα μεμβρανών MBR, σε δύο κλειστά συγκροτήματα που λειτουργούν παράλληλα. Εντός των ίδιων συγκροτημάτων, πραγματοποιείται η διαύγαση του ανάμικτου υγρού με τη βοήθεια μεμβρανών.
- Μια δεξαμενή Πάχυνσης της προκύπτουσας στις βιολογικές βαθμίδες ιλύος και αντλιοστάσιο μεταφοράς της προς το ΧΥΤΑ.
- Δεξαμενή συλλογής εκροής δεύτερου σταδίου βιολογικής επεξεργασίας .

Τέλος η εκροή του δεύτερου σταδίου βιολογικής επεξεργασίας οδηγείται για ανακυκλοφορία, μέσω αντλιοστασίου, στο σώμα του ενεργού χώρου.

### **1.7 Περιγραφή συστήματος Βιοαντιδραστήρων Μεμβρανών**

Τα στραγγίσματα πριν οδηγηθούν στο σύστημα MBR απαλλάσσονται από ογκώδη στερεά περνώντας μέσα από ένα αυτοκαθαριζόμενο σύστημα λεπτής εσχάρωσης (άνοιγμα οπών 2 mm) καθώς η απομάκρυνση όλων των στερεών σωματίων μεγέθους > 2 mm θεωρείται αναγκαία προϋπόθεση για την προστασία και ομαλή λειτουργία των μεμβρανών.

Οι βυθιζόμενες επίπεδες μεμβράνες υπερδιήθησης είναι τύπου επίπεδων φύλλων (submerged flat sheet UF membranes). Στη μονάδα επεξεργασίας, είναι εγκατεστημένες δύο συστοιχίες μεμβρανών υπερδιήθησης, καθε μία από τις οποίες φέρει προστατευτικό κέλυφος κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316. Τα μεμβρανικά φύλλα είναι κατασκευασμένα από χλωριωμένο πολυαιθυλένιο, που είναι υλικά μετρίως υδρόφοβα, με μεγάλη αντοχή και εξαιρετική χημική και βιολογική σταθερότητα. Κάθε συστοιχία φέρει 100 ανεξάρτητα επίπεδα φύλλα μεμβρανών τα οποία είναι τοποθετημένα παράλληλα σε απόσταση 7 mm μεταξύ τους. Κάθε φύλλο αποτελείται από μία πλάκα υποστήριξης, από συνθετικό υλικό, πάνω στην οποία

και στις δύο πλευρές της είναι επικολλημένα τα πορώδη φύλλα της επιφάνειας διήθησης (μεμβράνη). Κάθε ανεξάρτητο φύλλο μεμβρανών, φέρει στο άνω μέρος του ανεξάρτητο σωλήνα για την παραλαβή του διηθημένου υγρού (διήθημα). Οι επιμέρους αυτοί σωλήνες καταλήγουν σε κοινό συλλεκτήριο σωλήνα (manifold) εξαγωγής του διηθήματος, ο οποίος βρίσκεται στο άνω μέρος της συστοιχίας. Έτσι σε κάθε νέα μονάδα υπάρχουν 200 τεμ. ανεξάρτητα φύλλα μεμβρανών, τοποθετημένα σε δύο συστοιχίες των 100 τεμ.

Για τη λειτουργία των μεμβρανών και την παραλαβή του διηθήματος απαιτείται μικρή υποπίεση ή διαμεμβρανική πίεση (Trans-Membrane Pressure, TMP), της τάξεως των 100-250 mbar.

Για την απομάκρυνση των σωματιδιακών αποθέσεων από την επιφάνεια των μεμβρανών κατά τη διάρκεια της διήθησης, πραγματοποιείται αερισμός μέσω διαχυτών μεσαίας φυσαλίδας (medium bubble air scouring) που είναι ενσωματωμένοι στη βάση της κάθε μεμβρανομονάδας. Η παροχέτευση αέρα για τον καθαρισμό (αερισμό) των μεμβρανών γίνεται μέσω ξεχωριστού φυγοκεντρικού φυσητήρα.

Εκτός από τον αερισμό, για τον μετριασμό της έμφραξης των μεμβρανών (membrane fouling) κατά τη διάρκεια της διήθησης, εφαρμόζεται επίσης και διακοπή λειτουργίας της διαδικασίας διήθησης, έτσι ώστε να δοθεί ο χρόνος στις μεμβράνες να «αναπαυθούν» (membrane relaxation). Έτσι η λειτουργία της διήθησης είναι διακοπτόμενη, και τυπικά ακολουθεί ένα κύκλο που περιλαμβάνει 9 min διήθησης που ακολουθούνται από 1 min ανάπαυσης. Η διαδικασία αυτή γίνεται αυτόματα και ελέγχεται από το PLC της μονάδας.

Τέλος, για την πλήρη ανάκτηση της διαπερατότητας των μεμβρανών (membrane permeability), είναι δυνατή η επί τόπου εφαρμογή χημικού καθαρισμού τους (Cleaning-In-Place, CIP). Το υλικό κατασκευής των μεμβρανών επιτρέπει την εφαρμογή ιδιαίτερα «επιθετικών» συνθηκών χημικού καθαρισμού χωρίς να υπάρχει κίνδυνος εκφυλισμού τους (χημική αποικοδόμηση). Η συχνότητα χημικού καθαρισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των στραγγισμάτων και των ρύπων που περιέχονται σε αυτά. Τυπικά ο χημικός καθαρισμός γίνεται 2 - 4 φορές το έτος.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι το διαμέρισμα των μεμβρανών είναι στην ουσία ένας βιοαντιδραστήρας και, επομένως, εκτός από τη διαύγαση της εκροής, στο εσωτερικό του λαμβάνουν χώρα όλες οι αερόβιες βιολογικές διεργασίες απομάκρυνσης (οξειδωση οργανικών και νιτροποίηση). Για την ανακυκλοφορία της λάσπης, αλλά και την περιοδική απομάκρυνση της περίσσειας λάσπης, στο μηχανοστάσιο της μονάδας είναι εγκατεστημένη αντλία λάσπης. Στην κατάθλιψη της αντλίας είναι τοποθετημένος μετρητής παροχής, και δύο αυτόματες πνευματικές δικλείδες.

### **1.8 Περιγραφή Φυγοκεντρικού Φίλτρου**

Το υπό μελέτη φίλτρο αποτελεί μια κατοχυρωμένη ευρεσιτεχνία του Βασιλείου Σταύρου Ηλία. Για την προστασία της ευρεσιτεχνίας, δεν έχει περιγραφεί απόλυτα τρόπος λειτουργίας του, ωστόσο είναι γνωστό ότι έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στον καθαρισμό λυμάτων γαλακτοβιομηχανιών. Το φυγοκεντρικό φίλτρο απαρτίζεται από πολλαπλές στρώσεις κωνικών μεταλλικών ελασμάτων. Πάνω από τα ελάσματα υπάρχουν οπές ώστε τα υγρά απόβλητα να μεταφέρεται ανάμεσα στα ελάσματα ενώ η περιστροφική κίνηση τους διαχωρίζει το λύμα σε μια υγρή (εκροή) και μια στερεή (ιλύς) φάση που προσκολλάται στα ελάσματα και για την αποκόλληση της χρησιμοποιείται νερό έκπλυσης. Επιπλέον τα ελάσματα πάλλονται για την επίτευξη μεγαλύτερης απομάκρυνσης ρυπαντικού φορτίου (Βασιλείου, 2005)

## **2. ΣΚΟΠΟΣ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της απόδοσης του Φυγοκεντρικού Φίλτρου (ΦΦ) ως μέθοδος επεξεργασίας στραγγισμάτων ΧΥΤΑ σε συνδυασμό με την χρήση Βιοαντιδραστήρων Μεμβρανών.

Το πατενταρισμένο σύστημα επεξεργασίας έχει μέχρι στιγμής εφαρμοστεί με επιτυχία, σε βιομηχανική κλίμακα, σε απόβλητα γαλακτοβιομηχανίας ενώ σε προϋπάρχουσα δημοσιευμένη έρευνα (Παπαδόπουλος, 2016), με χρήση μονάχα του φίλτρου για την ελάττωση του ρυπαντικού φορτίου των στραγγισμάτων, τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν ήταν ενθαρρυντικά. Έτσι είναι ενδιαφέρον να διερευνηθεί ο συνδυασμός των δύο προαναφερμένων μεθόδων.

Οι συνθήκες λειτουργίας του ΦΦ διαφοροποιήθηκαν στην πορεία των πειραμάτων λόγω μηχανικών προβλημάτων που παρουσίασε ο εξοπλισμός του, με συνέπεια από ένα σημείο και μετά, κατά την διάρκεια των δοκιμών, το ΦΦ να λειτουργεί σε μειωμένες στροφές. Έτσι για τις πρώτες δειγματοληψίες το ΦΦ λειτουργούσε στις 12000 rpm ενώ ακολούθως οι στροφές μειώθηκαν στις 3000 rpm.

Οι δοκιμές του Φυγοκεντρικού Φίλτρου πραγματοποιήθηκαν, αρχικά με κροκιδωμένα στραγγίσματα προερχόμενα από δεξαμενή εξισορρόπησης, στην συνέχεια με ανεπεξέργαστα, επίσης από δεξαμενή εξισορρόπησης και τέλος με επεξεργασμένα στραγγίσματα από την μονάδα Βιοαντιδραστήρων Μεμβρανών του Χ.Υ.Τ.Α. Πέρα Γαληνών. Εξετάστηκαν συνολικά 51 διαφορετικά δείγματα που αντιστοιχούσαν σε 17 ημέρες δειγματοληψιών και για κάθε ένα δείγματα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις τιμές των BOD, COD, pH, αγωγιμότητας, θολερότητας, Νιτρικών, Αμμωνιακών, Θεικών, Φωσφορικών, TSS, TN. Επίσης, σε επιλεγμένα δείγματα, μετρήθηκε η απόδοση της διεργασίας ως προς την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς το εύρος εφαρμογής της μεθόδου.

### **3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

#### ***3.1 Περιγραφή Πειραματικής Διάταξης***

Όπως προαναφέρθηκε λόγω προσαρμογών που πραγματοποιήθηκαν στην πειραματική διάταξη αλλά και τον εξοπλισμό μελετήθηκαν τρεις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας για το ΦΦ.

Αρχικά στο ΦΦ οδηγήθηκαν στραγγίσματα που πρώτα είχαν υποστεί κροκίδωση. Μετά από την συλλογή τους τα στραγγίσματα οδηγούνταν σε δεξαμενή εξισορρόπησης για την εξομάλυνση της διακύμανσης της ποιότητας αλλά και της ποσότητας τους. Ακολούθως εισάγονταν σε δεξαμενή κροκίδωσης για την δημιουργία και τον διαχωρισμό των συσσωματωμάτων και τελικά το υπερκείμενο κατέληγε στο ΦΦ όπου και πραγματοποιούνταν η κύρια επεξεργασία των στραγγισμάτων. Μέσω των φυγοκεντρικών δυνάμεων που προκαλούσαν οι περιστρεφόμενες μεταλλικές μεμβράνες, οι οποίες λειτουργούσαν στις 12000 rpm το λύμα χωρίζονταν στο ρεύμα της παραγόμενης λάσπης, η οποία συλλεγόταν και στο ρεύμα της επεξεργασμένης εξόδου.

Στην δεύτερη περίπτωση η είσοδος του φίλτρου προερχόταν από ανεπεξέργαστα στραγγίσματα. Αναλυτικότερα από την δεξαμενή συλλογής των στραγγισμάτων τα υγρά απόβλητα οδηγούνταν σε δεξαμενή εξισορρόπησης. Στην συνέχεια διέρχονταν από το Φυγοκεντρικό Φίλτρο όπου πραγματοποιούνταν η επεξεργασία τους. Τελικά μέσω της φυγοκέντρισης τα στραγγίσματα διαχωρίζονταν στο ρεύμα της παραγόμενης λάσπης, η οποία συλλεγόταν και στο ρεύμα της επεξεργασμένης εξόδου.

Στην τρίτη περίπτωση την είσοδο του φυγοκεντρικού φίλτρου αποτελούσε η επεξεργασμένη εκροή του υφιστάμενου συστήματος βιοαντιδραστήρων (MBR) βυθιζόμενων μεμβρανών Kubota UF. Συγκεκριμένα μετά την συλλογή τους από την δεξαμενή εξισορρόπησης τα στραγγίσματα οδηγούνταν μέσα από αυτοκαθαριζόμενο σύστημα λεπτής εσχάρωσης (άνοιγμα οπών 2 mm) και στην συνέχεια κατέληγαν στο MBR. Η εκροή των μεμβρανών συγκεντρωνόταν εκ νέου σε δεξαμενή εξισορρόπησης και κατέληγε στο Φυγοκεντρικό Φίλτρο όπου μέσω της φυγοκέντρισης τα στραγγίσματα χωρίζονταν στο ρεύμα της παραγόμενης λάσπης, η οποία επίσης συλλεγόταν και στο ρεύμα της επεξεργασμένης εξόδου.

### **3.2 Μεθοδολογία Πειραμάτων**

Μετρήθηκαν δείγματα 17 μερών από τα οποία τα πρώτα 8 αντιστοιχούν στην πρώτη μέθοδο δηλαδή κροκίδωση των στραγγισμάτων πριν την επεξεργασία τους από το ΦΦ στα 12000 rpm, τα επόμενα 6 αντιστοιχούν στην δεύτερη μέθοδο συνεπώς πέρασμα μονάχα από το ΦΦ στις 3000rpm, ενώ τα εναπομείναντα 3 ακολούθησαν την τρίτη μέθοδο άρα συνδυασμό MBR και ΦΦ στις 3000 rpm.

Εξαίρεση στα δείγματα της τρίτης μεθόδου αποτελεί η τελευταία μέρα δειγματοληψίας, στην οποία αφού τα στραγγίσματα πέρασαν από τις μεμβράνες υπέστηκαν κροκίδωση και στην συνέχεια οδηγήθηκαν στο ΦΦ στα 3000 rpm, με αποτέλεσμα τα δείγματα να αντιστοιχούν στην έξοδο του MBR, στην είσοδο του ΦΦ (κροκιδωμένη έξοδος MBR) και τέλος στην έξοδο του ΦΦ.

Οι περισσότερες ημέρες που μελετήθηκαν αναλύονταν δείγματα εισόδου, εξόδου και λάσπης ωστόσο για κάποιες ημέρες δεν αναλύθηκε δείγμα εισόδου, αφού αυτό προέρχονταν από διεργασίες όμοιες με αυτές που πραγματοποιήθηκαν τη προηγούμενη ημέρα και δεν υπήρχε διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά του δείγματος.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διαδικασία πλύσης του Φυγοκεντρικού Φίλτρου το έκπλυμα που δημιουργούταν κατέληγε, λόγω ατελούς σχεδιασμού, στην δεξαμενή συλλογής της λάσπης αραιώνοντας ουσιαστικά τα δείγματα που ελήφθησαν και κατέληξαν στο εργαστήριο για μελέτη. Συνεπώς δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές οι μετρημένες τιμές των μελετώμενων παραγόντων για την ποιότητα της λάσπης.

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων έγινε αρχικά κατάλληλος σχεδιασμός για το προβλεπόμενο φορτίο των στραγγισμάτων ώστε να επιλεχθεί ο κατάλληλος παράγοντας αραιώσης των δειγμάτων, τα κατάλληλα αντιδραστήρια αλλά και μέθοδος για την μέτρηση των pH, αγωγιμότητας, BOD, COD, TSS, ολικού φωσφόρου, αμμωνιακών  $\text{NH}_3\text{-N}$ , ολικού αζώτου, θειικών. Τέλος σε επιλεγμένα δείγματα μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις ιόντων χρωμίου, ψευδάργυρου, σιδήρου, χαλκού, μόλυβδου και νικελίου.

### 3.3 Λίστα Μετρημένων Δειγμάτων

Στον Πίνακα 3.1 παρατίθεται η λίστα των δειγμάτων που μετρήθηκαν καθώς και η περιγραφή τους

Πίνακας 3.1 Λίστα Δειγμάτων

Ημερομηνία Δειγματοληψίας	Είσοδος ΦΦ	Έξοδος ΦΦ	Λάσπη από ΦΦ	Έξοδος MBR
18/5/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
19/5/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
21/5/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
22/5/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
25/5/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
6/6/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
9/9/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
23/6/2015	Κροκιδωμένα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
8/2/2016	Ανεπεξέργαστα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
9/2/2016	Ανεπεξέργαστα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
17/2/2016	Ανεπεξέργαστα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
19/2/2016	Ανεπεξέργαστα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
23/2/2016	Ανεπεξέργαστα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
25/2/2016	Ανεπεξέργαστα Στραγγίσματα	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	-
9/3/2016	Ακροκίδωτη Έξοδος MBR	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	Ακροκίδωτη Έξοδος MBR
11/3/2016	Ακροκίδωτη Έξοδος MBR	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	Δεξαμενή Συλλογής Λάσπης	Ακροκίδωτη Έξοδος MBR
6/6/2016	Κροκιδωμένη Έξοδος MBR	Επεξεργασμένη Εκροή ΦΦ	-	Ακροκίδωτη Έξοδος MBR

### 3.4 Υλικά και Μέθοδοι

- pH

Η μέτρηση του pH πραγματοποιήθηκε με το φορητό πεχάμετρο Multi WTW χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο ηλεκτρόδιο

- Αγωγιμότητα

Για τον προσδιορισμό της αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή μέτρησης WTW Multi 3410

- BOD

Το BOD μετρήθηκε ακολουθώντας την standard method. Σύμφωνα με την συγκεκριμένη μέθοδο το δείγμα, με την απαιτούμενη αραίωση, εισάγεται σε κωνική φιάλη όπου και αυξάνεται η περιεκτικότητα του σε οξυγόνο με την χρήση ειδικού ακροφυσίου. Στην συνέχεια εμπλουτίζεται με θρεπτικά στοιχεία (από διάλυμα φωσφόρου, καλίου και ασβεστίου σύμφωνα με τα Standard Methods) και με το πέρας μερικών λεπτών, ώστε να επιτευχθεί επαρκής αερισμός και ανάμιξη, το διάλυμα μοιράζεται σε δύο μπουκάλια Robotic των 300 ml όπου και προσδιορίζεται το διαλυμένο οξυγόνο(DO<sub>1</sub>) χρησιμοποιώντας και για τις δύο φιάλες το οξυγονόμετρο WTW Multi 3410. Τα μπουκάλια φυλάσσονται για πέντε εικοσιτετράωρα σε θερμοστατούμενο θάλαμο BOD της WTW με σταθερή θερμοκρασία στους 20 ±0,5°C. Τέλος λαμβάνεται μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου στις πέντε ημέρες(DO<sub>5</sub>) με την τελική τιμή BOD να υπολογίζεται ως εξής :

$$BOD\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{\left[(DO_{1_1} - DO_{5_1})\frac{mg}{L} + (DO_{1_2} - DO_{5_2})\frac{mg}{L}\right] * \text{Παράγοντας Αραίωσης}}{2}$$

- COD

Για την μέτρηση του COD χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικούς LCK 514, LCK 314, LCK 114. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κάθε κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση του COD.

- TSS

Τα TSS προσδιορίστηκαν με την μέθοδο της διήθησης χρησιμοποιώντας φίλτρα Whatman glass microfiber filters, Grade 934 0,45μm - 47mm. Αναλυτικότερα το κάθε φίλτρο ξηράθηκε σε φούρνο Memmert 'UL50' Lab Oven στους 100°C, ζυγίστηκε (Ξηρό Βάρος<sub>1</sub>, gr) σε ζυγαριά ακριβείας μοντέλου Kern & Sohn ABJ-NM και έπειτα διήθησε το υπό εξέταση δείγμα. Τέλος επέστρεψε στον φούρνο για να ζυγιστεί(Ξηρό Βάρος<sub>2</sub>, gr) ξανά, με την συμπλήρωση 45 λεπτών από την είσοδο του. Η τελική τιμή TSS υπολογίστηκε ως εξής :

$$TSS\left(\frac{mg}{L}\right) = (\text{Ξηρό Βάρος}_1 - \text{Ξηρό Βάρος}_2) \text{ gr} * 1000 \frac{mgr}{gr} * \frac{1000 \frac{mL}{L}}{\text{όγκος διηθήματος mL}}$$

- Ολικός φώσφορος

Για την μέτρηση του ολικού φωσφόρου χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 349. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση του ολικού φωσφόρου.

- Αμμωνιακά  $\text{NH}_3\text{-N}$

Ο προσδιορισμός των Αμμωνιακών  $\text{NH}_3\text{-N}$  βασίστηκε στην μέθοδο Nessler της εταιρίας HACH. Αρχικά απαραίτητη ήταν η δημιουργία τυφλού διαλύματος, που περιείχε τα χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια και απιονισμένο νερό, για την βαθμονόμηση του φασματοφωτόμετρου HACH DR2800. Τέλος το αραιωμένο, αν ήταν αναγκαίο, δείγμα μετά την πρόσθεση των ίδιων αντιδραστηρίων μεταφέρεται σε ειδική κυψελίδα για την λήψη μέτρησης στο φασματοφωτόμετρο

- Ολικό άζωτο

Για την μέτρηση του ολικού αζώτου χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 339. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση του ολικού αζώτου.

- Θειικά

Για την μέτρηση των θειικών χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 353. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση των θειικών.

- Μέθοδος Cracking για την μέτρηση μετάλλων

Η μέτρηση ορισμένων μετάλλων απαιτούσε την κατάλληλη προετοιμασία του δείγματος πριν αυτό εισέλθει στα έτοιμα φιαλίδια για την διεξαγωγή της κατάλληλης επεξεργασίας και τελικά την λήψη μέτρησης. Η εν λόγω προετοιμασία, γνωστή ως cracking, πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες του Crack-Set της εταιρίας HACH, με κωδικό LCW 902, και με την χρήση των αντιδραστηρίων που περιέχονταν στο συγκεκριμένο σετ.

- Χρώμιο

Για την μέτρηση ιόντων χρωμίου χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 313, χωρίς να απαιτείται η διεξαγωγή της μεθόδου cracking . Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση χρωμίου.

- Ψευδάργυρος

Για την μέτρηση ιόντων ψευδάργυρου, μετά την πραγματοποίηση της απαραίτητης προετοιμασίας (cracking) του δείγματος, χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 360. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση ψευδάργυρου.

- Σίδηρος

Για την μέτρηση ιόντων σιδήρου, μετά την πραγματοποίηση της απαραίτητης προετοιμασίας (cracking) του δείγματος, χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 321. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα

αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση σιδήρου.

- Χαλκός

Για την μέτρηση ιόντων χαλκού, μετά την πραγματοποίηση της απαραίτητης προετοιμασίας (cracking) του δείγματος, χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 329. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση χαλκού.

- Μόλυβδος

Για την μέτρηση ιόντων μόλυβδου, μετά την πραγματοποίηση της απαραίτητης προετοιμασίας (cracking) του δείγματος, χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 306. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση μόλυβδου.

- Νικέλιο

Για την μέτρηση ιόντων νικελίου, μετά την πραγματοποίηση της απαραίτητης προετοιμασίας (cracking) του δείγματος, χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα φιαλίδια της εταιρίας HACH με κωδικό LCK 337. Η επεξεργασία ήταν τυποποιημένη και αναγραφόταν στο κουτί αντιδραστηρίων ενώ με το τέλος της, το κάθε φιαλίδιο τοποθετούνταν στο φασματοφωτόμετρο της HACH DR2800 το οποίο αυτόματα αναγνώριζε τον τύπο της απαιτούμενης μέτρησης και λάμβανε την εκάστοτε μέτρηση νικελίου.

#### **4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

Τα δείγματα των 18/5/2015, 19/5/2015, 21/5/2015, 22/5/2015, 25/5/2015, 6/6/2015, 9/9/2015, 23/6/2015, αντιστοιχούν στην πρώτη μέθοδο δηλαδή κροκίδωση των στραγγισμάτων πριν την επεξεργασία τους από το ΦΦ στα 12000 rpm

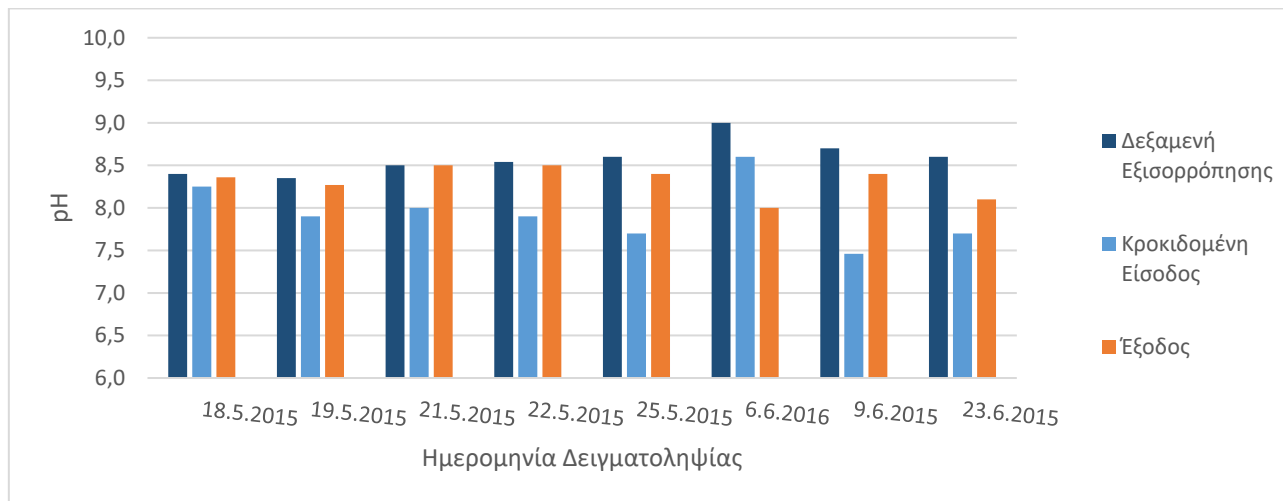
Τα δείγματα των 8/2/2016, 9/2/2016, 17/2/2016, 19/2/2016, 23/2/2016, 25/2/2016 αντιστοιχούν στην δεύτερη μέθοδο συνεπώς επεξεργασία μονάχα από το ΦΦ στις 3000rpm

Τα δείγματα των 9/3/2016, 11/3/2016, 6/6/2016 ακολούθησαν την τρίτη μέθοδο άρα αρχικά επεξεργασία με MBR και στη συνέχεια επεξεργασία με το ΦΦ στις 3000 rpm. Εξαίρεση στα δείγματα της τρίτης μεθόδου αποτελεί η τελευταία μέρα δειγματοληψίας 6/6/2016 στην οποία αφού τα στραγγίσματα πέρασαν από τις μεμβράνες υπέστηκαν κροκίδωση και στην συνέχεια οδηγήθηκαν στο ΦΦ στα 3000 rpm, με αποτέλεσμα τα δείγματα να αντιστοιχούν στην έξοδο του MBR, στην είσοδο του ΦΦ (κροκιδωμένη έξοδος MBR) και τέλος στην έξοδο του ΦΦ.

## 4.1 Αποτελέσματα Μετρήσεων

### 4.1.1 pH

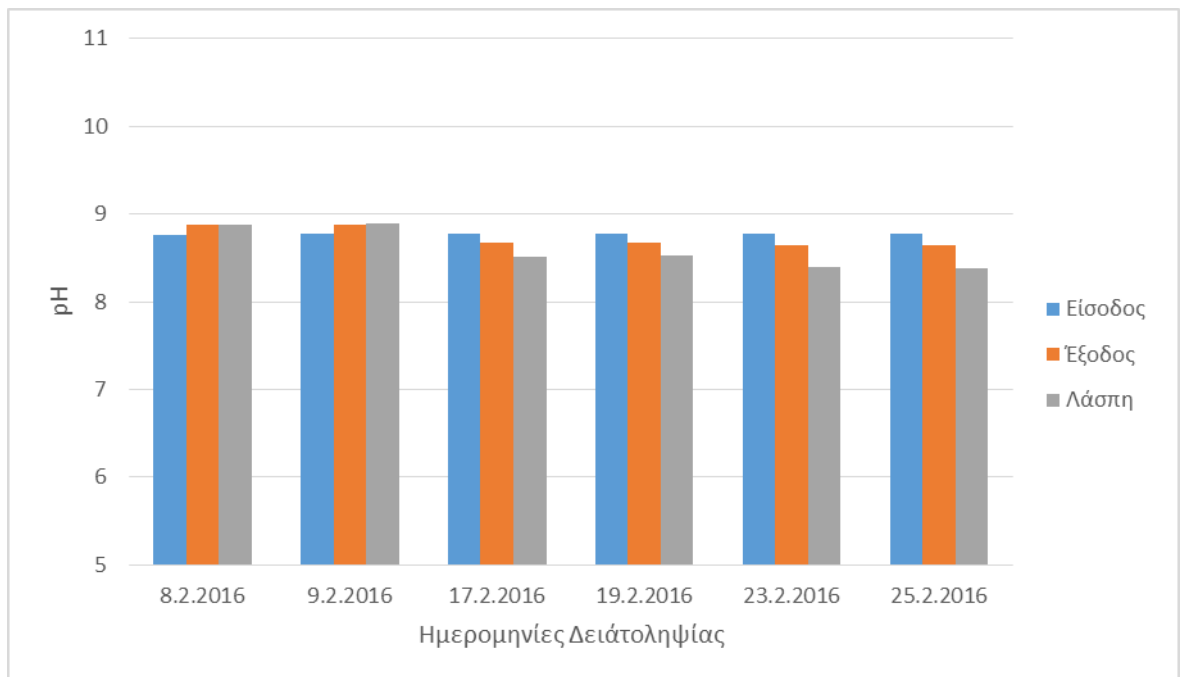
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.1 Πειραματικές Τιμές pH

Μελετώντας το Διάγραμμα 4.1 προκύπτει ότι οι τιμές του pH δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και βρίσκονται εντός των αναμενόμενων από την βιβλιογραφία τιμών. Η χαμηλότερη τιμή, από το σύνολο των μετρήσεων, είναι το 7.5 και η ανώτερη είναι το 9, δηλαδή τα στραγγίσματα βρίσκονται στην αλκαλική περιοχή.

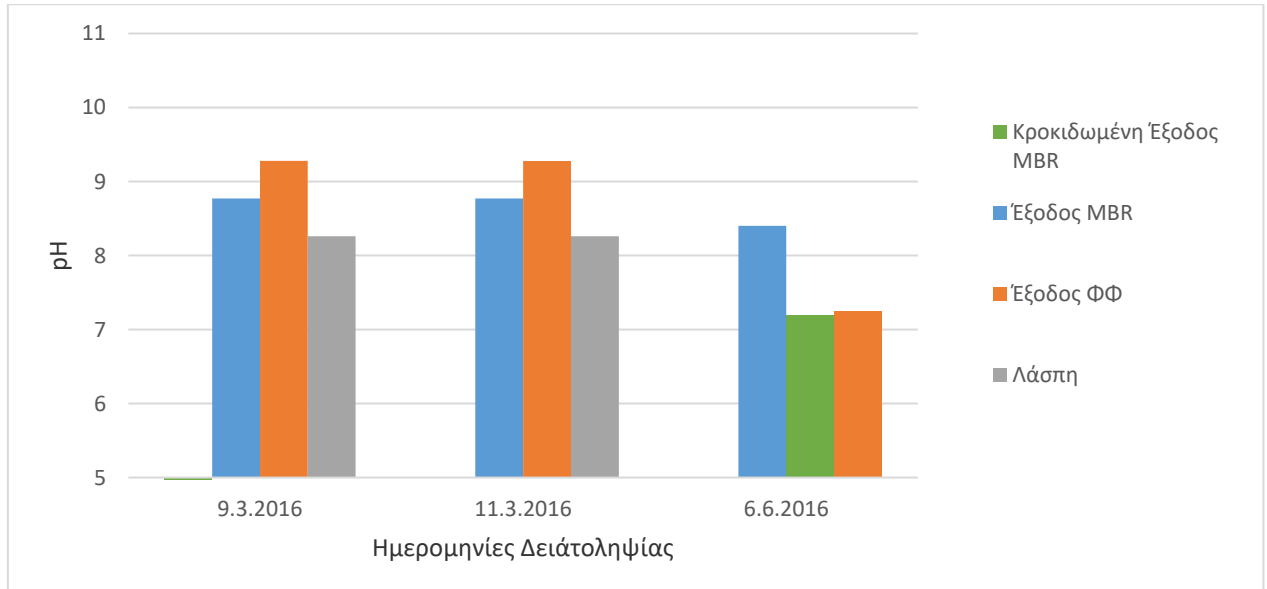
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.2 Πειραματικές τιμές pH

Δεν παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στις τιμές του pH, σύμφωνα με το Διάγραμμα 4,2, αφού όλες τις μετρήσεις να βρίσκονται μεταξύ των τιμών 8 και 9. Δεν παρατηρείται σαφής μεταβολή λόγω της επεξεργασίας που υπόκειται το λύμα αφού η εισροή του συστήματος σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές pH από την εκροή ενώ σε άλλες συμβαίνει το αντίθετο

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.3 Πειραματικές τιμές pH

Από την μελέτη του Διαγράμματος 4.3, στις 9 και 11 Μαρτίου παρατηρείται κοινή μεταβολή του pH ενώ οι τιμές του Ιουνίου βρίσκονται πιο κοντά στην ουδέτερη περιοχή. Το εύρος των τιμών είναι μεταξύ 7 και 9,3. Τέλος όπως και στην περίπτωση της χρήσης του ΦΦ δεν παρατηρείται σαφής μεταβολή λόγω της επεξεργασίας που υπόκειται το λύμα.

#### 4.1.2 Θειικά

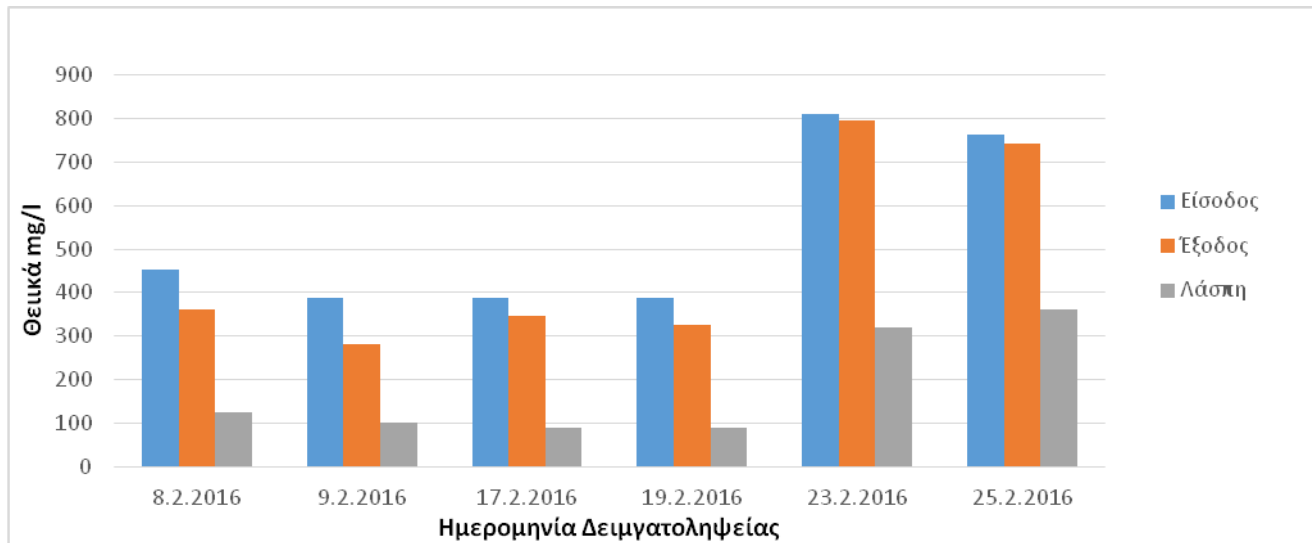
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.4 Πειραματικές τιμές Θεικών

Ο συνδυασμός της κροκίδωσης ανεπεξέργαστων στραγγισμάτων και του ΦΦ δείχνει να έχει σημαντικές απομακρύνσεις θεικών αν μελετηθεί συνολικά όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.4. Ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις, με μοναδική εξαίρεση στις 18/5/2015, η απόδοση της μεθόδου οφείλεται κυρίως στην κροκίδωση. Οι απομακρύνσεις θεικών από το ακροκίδωτο δείγμα στραγγισμάτων στην κροκιδωμένη είσοδο του ΦΦ να βρίσκεται μεταξύ των τιμών 88% και 99.8%, με μια διαφοροποίηση στο τελευταίο χρονικά δείγμα όπου όμως και εκεί η κροκίδωση αφαιρεί την πλειοψηφία των θεικών. Τέλος παρατηρείται ότι σε μερικές περιπτώσεις το πέρασμα του δείγματος από το ΦΦ προκάλεσε αύξηση στην συγκέντρωση των Θεικών η οποία ίσως να σχετίζεται με ενδεχόμενο ελλιπή καθαρισμό του φίλτρου.

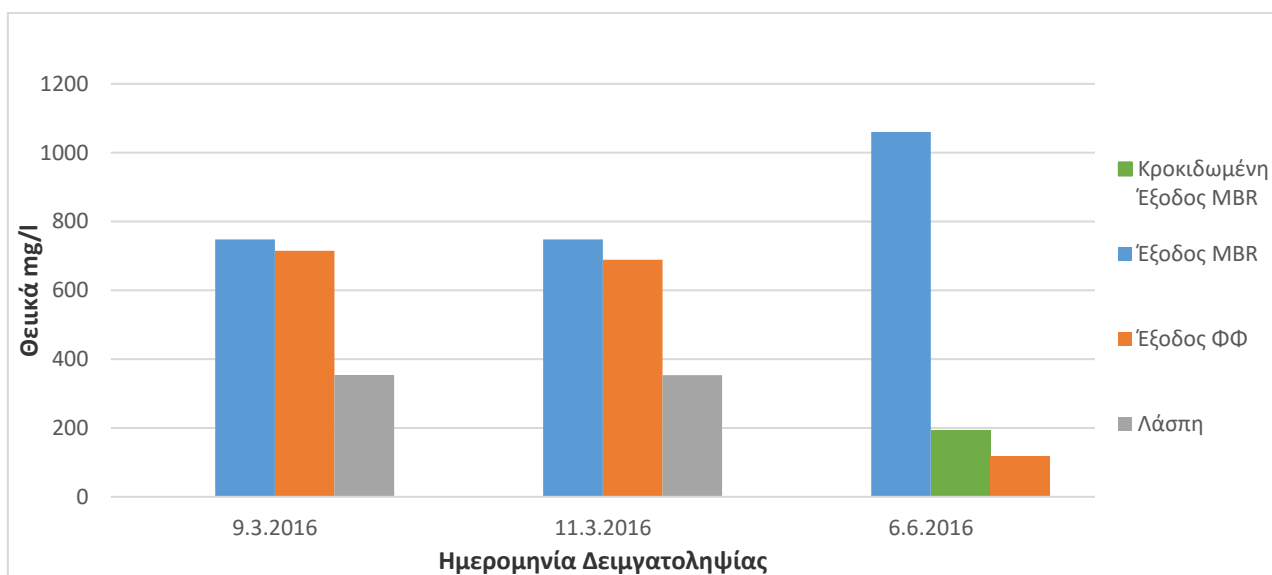
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.5 Πειραματικές τιμές Θεικών

Από το Διάγραμμα 4.5 προκύπτει ότι οι πρώτες τέσσερις μέρες δειγματοληψιών είχαν σχεδόν κοινή διακύμανση θεικών με την απομάκρυνση στις εξόδους να είναι μεταξύ των τιμών 10% και 20%. Ωστόσο στις 23 και 25 Φεβρουαρίου η απόδοση του φίλτρου μειώνεται σημαντικά αφού μονάχα 2% και 3% αντίστοιχα των αρχικών θεικών του δείγματος απομακρύνονται.

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000 rpm)

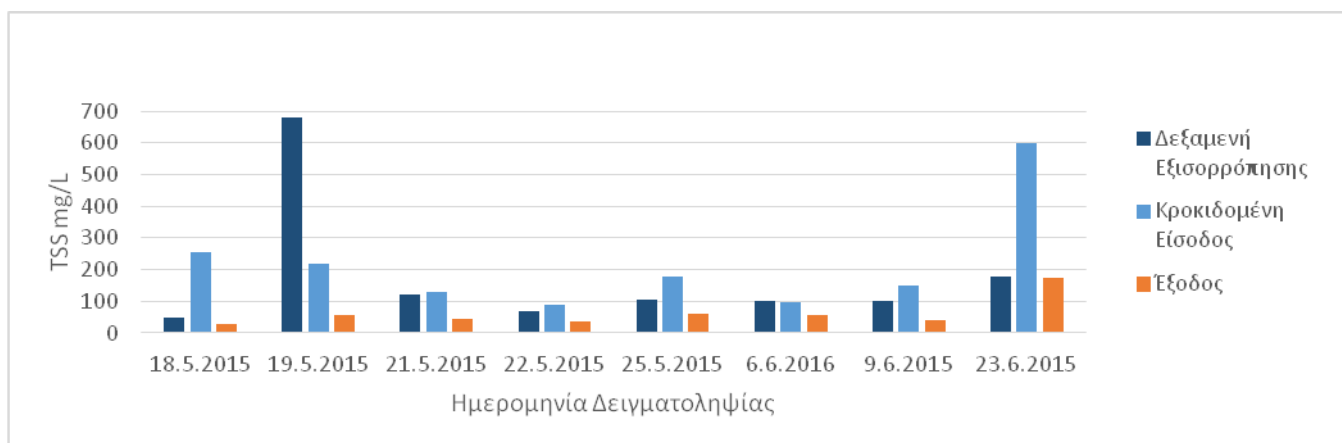


Διάγραμμα 4.6 Πειραματικές τιμές Θεικών

Στο Διάγραμμα 4.6 διακρίνεται μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα δείγματα των 9 και 11 Μαρτίου σε σχέση με το δείγμα του Ιουνίου. Τον μήνα Μάρτιο η απομάκρυνση δεν ξεπερνά το 8% και η απόδοση είναι ελάχιστη, αντίθετα οι τιμές του Ιούνιου παρουσιάζουν σημαντική μείωση των τιμών των θεικών στην έξοδο. Το ποσοστό της ολικής απομάκρυνσης, από την έξοδο του MBR στην εκροή του ΦΦ βρίσκεται κοντά στο 90% ωστόσο το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής επιτυγχάνεται με την κροκίδωση της εκροής του MBR πριν εκείνη εισέλθει στο ΦΦ.

### 4.1.3 TSS

- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



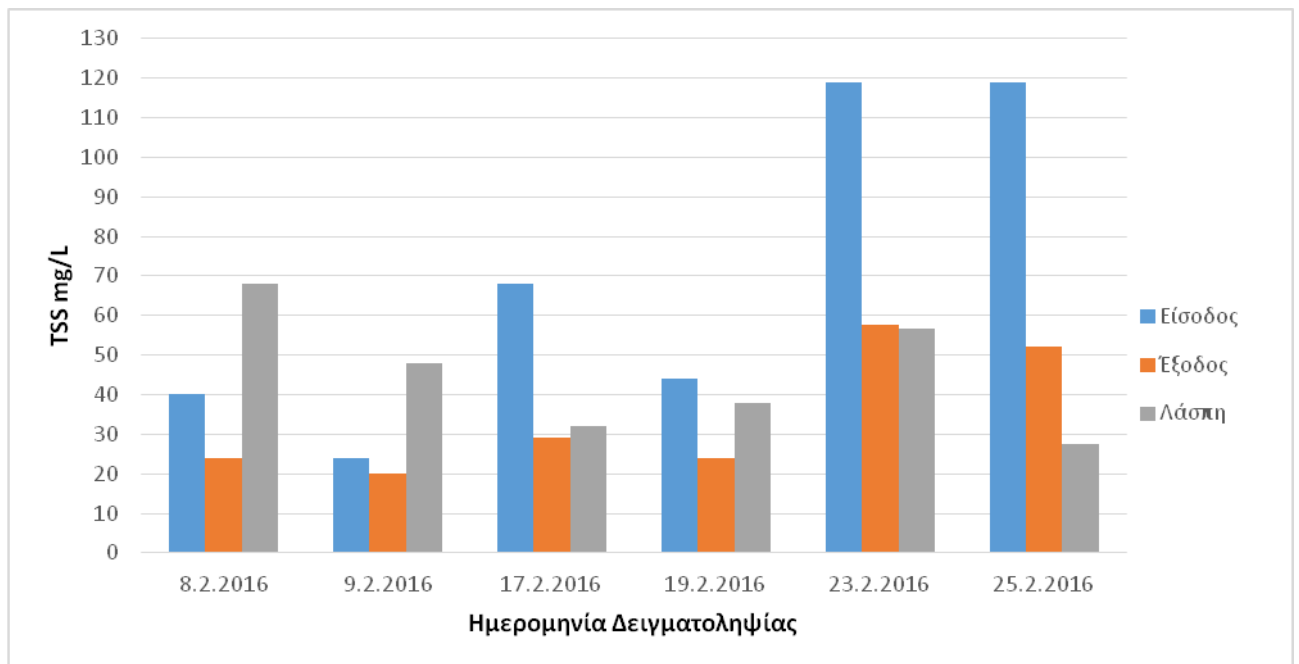
Διάγραμμα 4.7 Πειραματικές τιμές TSS

Ελέγχοντας το Διάγραμμα 4.7 προκύπτει ότι τα κροκιδωμένα στραγγίσματα δείχνουν να έχουν μεγαλύτερο φορτίο TSS από τα ανεπεξέργαστα, με εξαίρεση τα δείγματα 19/5/2015 και 6/6/2015. Είναι πιθανό να πρόκειται για λανθασμένη διαδικασία δειγματοληψίας ωστόσο έχει επίδραση στην υπολογιζόμενη απόδοση της μεθόδου. Παρά ταύτα το ΦΦ σε αρκετές περιπτώσεις φαίνεται ικανό να αφαιρέσει σημαντικό ποσοστό των

TSS με χαμηλότερα ποσοστά απομάκρυνσης, από την κροκιδωμένη είσοδο, αυτά των δειγμάτων 22/5/2016 και 6/6/2016 με 59% το πρώτο και 42% το τελευταίο.

Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν αντίστοιχη απομάκρυνση που είναι μεταξύ 65% και 89%. Σαν σύνολο η μέθοδος απομάκρυνε τις περισσότερες φορές ποσοστά κοντά στο 43% ενώ δυο περιπτώσεις έχουν απομάκρυνση κοντά στο 60% και ακόμα δύο έχουν ακραίες τιμές απομάκρυνσης με 91% και 4%

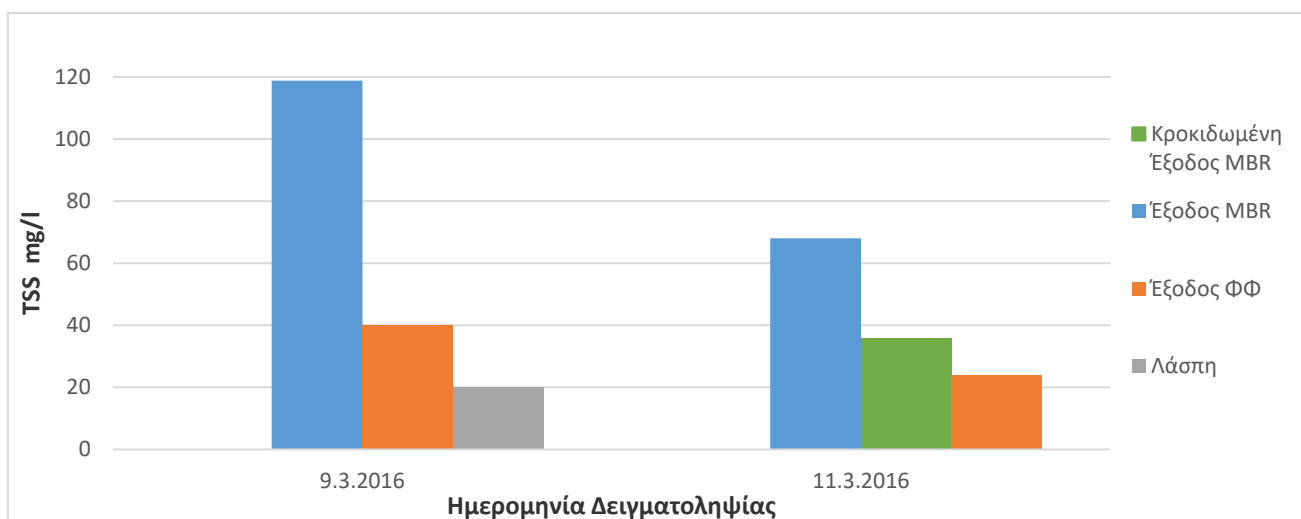
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000rpm)



Διάγραμμα 4.8 Πειραματικές τιμές TSS

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.8 δεν υπάρχει σταθερή απομάκρυνση των TSS τις πρώτες 4 μέρες, με τις τιμές να κυμαίνονται από 16% έως 58% , γεγονός που δύσκολα θα οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα. Αντίθετα στις 23 και 25 Φεβρουαρίου αφαιρείται αντίστοιχα το 51% και 56% των αρχικών στερεών εντοπίζοντας έτσι μια τάση σταθεροποίησης. Πρέπει να τονιστεί ότι σε τέσσερις περιπτώσεις, 8/2/2016, 9/2/2016, 17/2/2016, 19/2/2016 οι έξοδοι είχαν συγκέντρωση χαμηλότερη του νομοθετημένου ορίου (35 mg/L) για την συγκέντρωση των TSS στα ύδατα

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000 rpm)

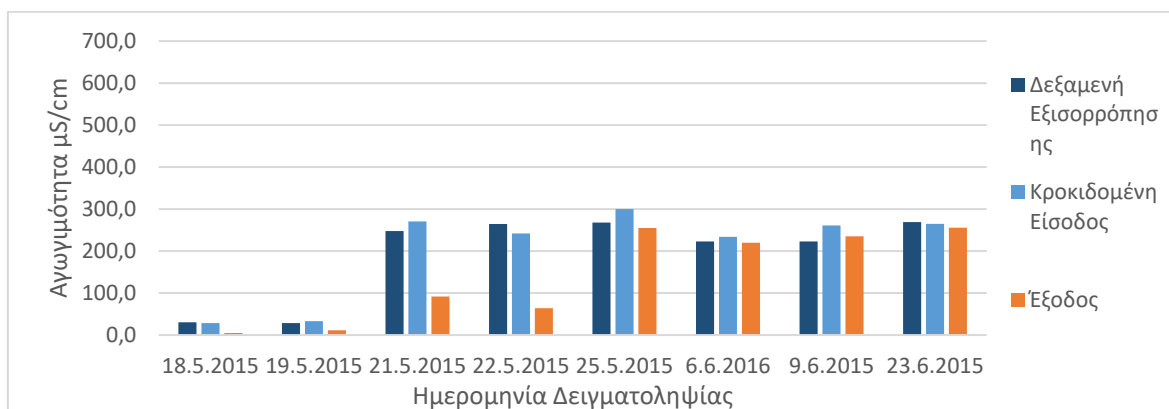


Διάγραμμα 4.9 Πειραματικές τιμές TSS

Το δείγμα που λήφθηκε στις 11/3/2016 δεν συμπεριλήφθηκε στο Διάγραμμα 4.9. Στα υπόλοιπα δύο δείγματα παρατηρούνται αρκετά υψηλές απομακρύνσεις, στο πρώτο 66% και στο τελευταίο 65%. Μάλιστα η τιμή εξόδου του δείγματος 6/6/2016 είναι 24mg/L, δηλαδή βρίσκεται εντός του νομοθετημένου ορίου που μπορεί να έχει μια επεξεργασμένη εκροή ώστε να μπορεί να διατεθεί στο περιβάλλον.

#### 4.1.4 Αγωγιμότητα

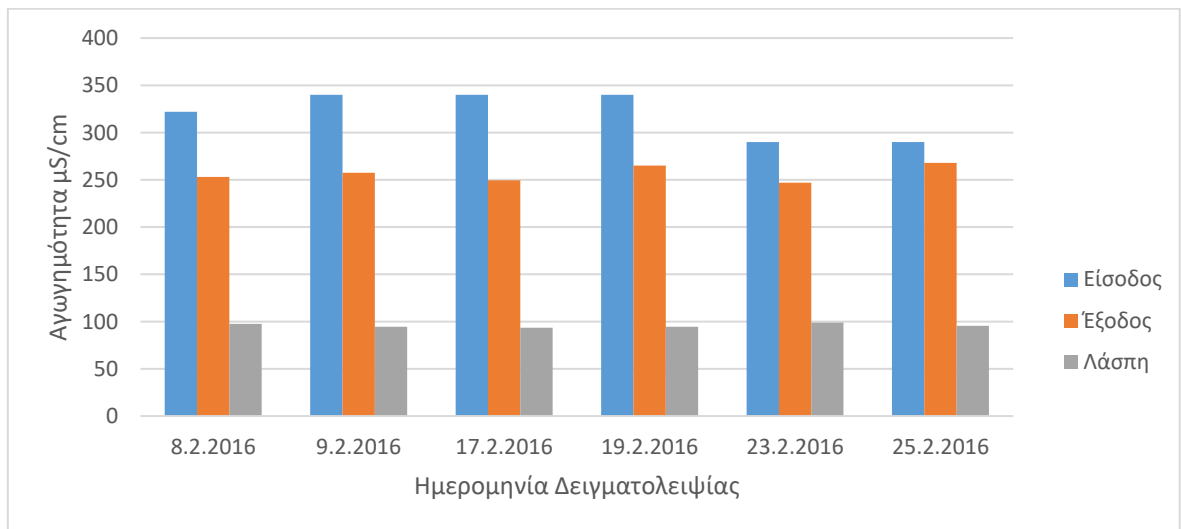
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.10 Πειραματικές τιμές Αγωγιμότητας

Στα περισσότερα δείγματα η κροκίδωση έδειξε να αυξάνει την αγωγιμότητα των στραγγισμάτων όπως δείχνει το Διάγραμμα 4.10, ωστόσο ιδιαίτερα στις τέσσερις πρώτες μέρες δειγματοληψίας το ΦΦ λειτούργησε θετικά και μείωσε σημαντικά της τιμές της. Αναλυτικά στα πρώτα τέσσερα δείγματα η μικρότερη παρατηρούμενη μείωση, από τα ανεπεξέργαστα στραγγίσματα στην έξοδο του ΦΦ, είναι 60% που καταγράφηκε στις 19/5/2015 και η μεγαλύτερη είναι 83% στις 18/5/2015. Ωστόσο τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται στις επόμενες ημέρες καθώς η ταυτόχρονη αύξηση της αγωγιμότητας από την κροκίδωση αλλά και η μειωμένη απόδοση του φίλτρου οδηγούν σε μικρές έως και ανύπαρκτες μειώσεις αγωγιμότητας.

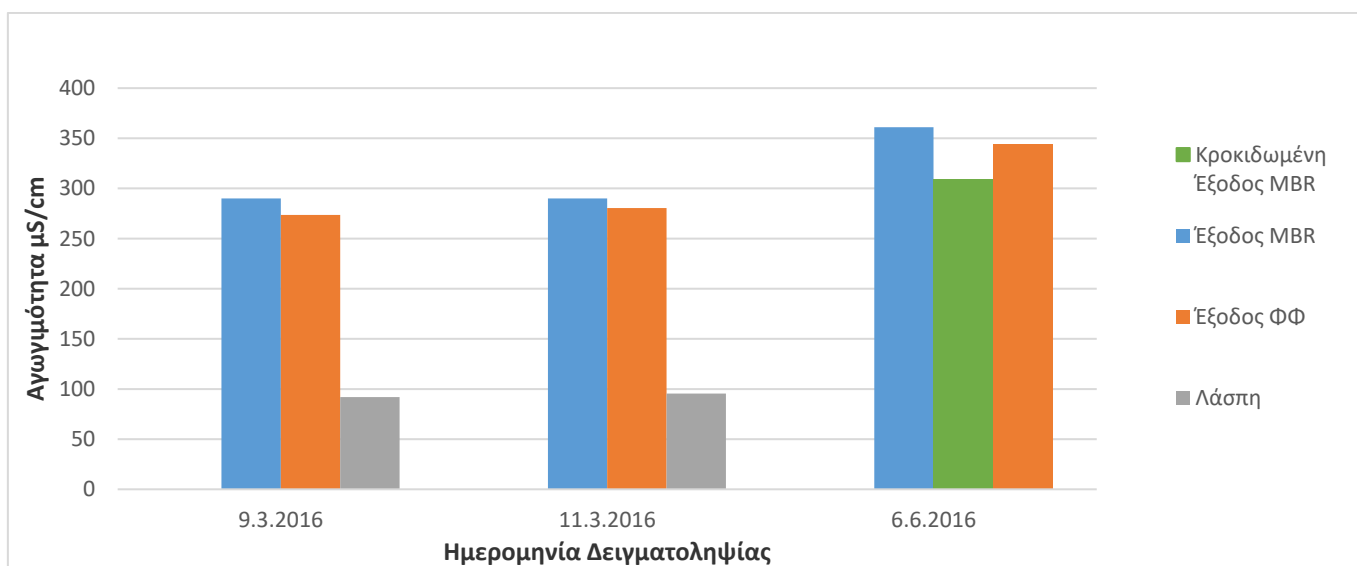
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.11 Πειραματικές τιμές Αγωγιμότητας

Μελετώντας το Διάγραμμα 4.11 συμπεραίνεται ότι οι τιμές της μείωσης της αγωγιμότητας των πρώτων τεσσάρων ημερών δεν διαφέρουν σημαντικά καθώς βρίσκονται μεταξύ 21 και 26%. Το σκηνικό αλλάζει στα δείγματα που ακολουθούν, όπου στις 23/2/2016 η απομάκρυνση είναι 14% ενώ αμέσως μετά στις 25/2/2016 φτάνει 7% , δηλαδή μειώνεται κατά το ήμισυ.

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000rpm)

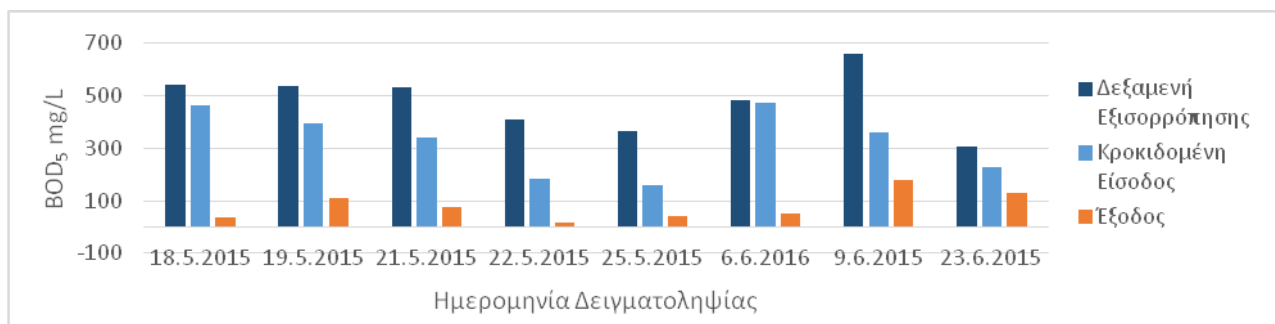


Διάγραμμα 4.11 Πειραματικές τιμές Αγωγιμότητας

Τα δείγματα παρουσιάζουν κοινή συμπεριφορά καθώς και εξίσου χαμηλές απομακρύνσεις που δεν υπερβαίνουν το 6%

#### 4.1.5 BOD<sub>5</sub>

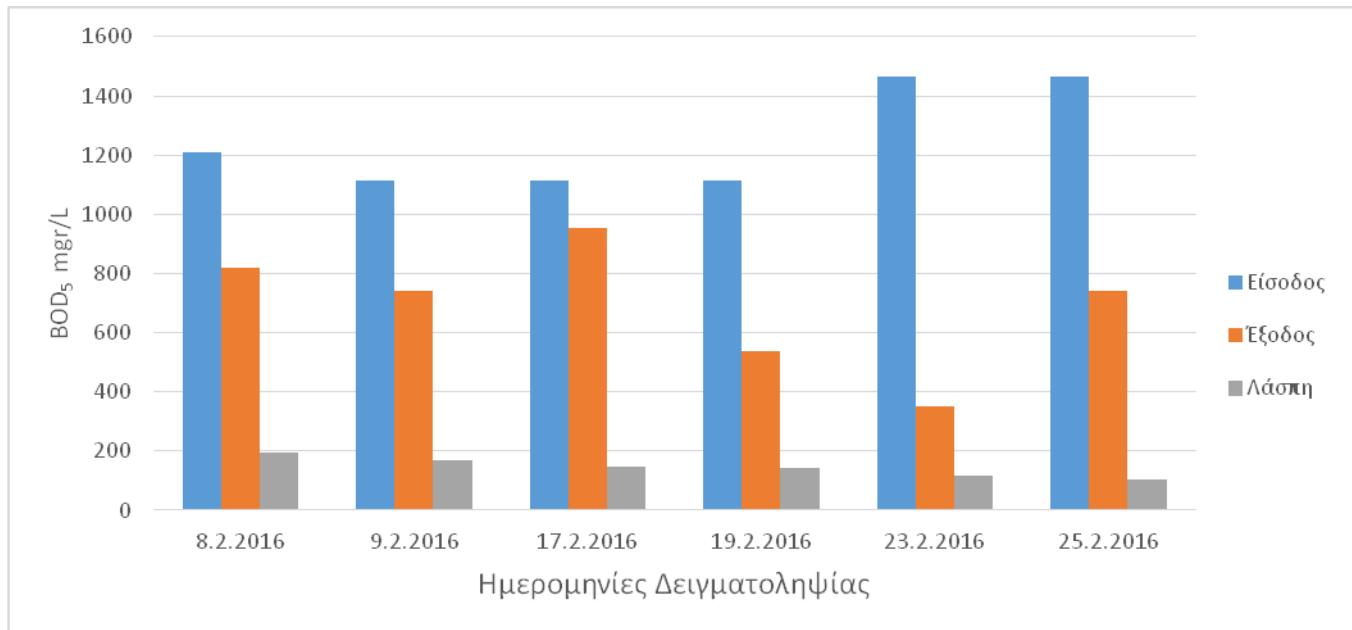
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.12 Πειραματικές τιμές BOD<sub>5</sub>

Ο συνδυασμός κροκίδωσης και ΦΦ δείχνει να έχει καλά αποτελέσματα αναφορικά με την μείωση του BOD<sub>5</sub>. Μελετώντας το Διάγραμμα 4.13 και με μοναδική εξαίρεση την τελευταία δειγματοληψία η ολική απομάκρυνση BOD του συστήματος βρίσκεται σε τιμές μεγαλύτερες του 72% ενώ φτάνει στις 22/5/2015 το υψηλότερο μετρημένο ποσοστό 96%. Η σημαντικότερη ελάττωση των τιμών BOD συμβαίνει με την έξοδο του λύματος από το ΦΦ, εκτός από τις 9/6/2015 όπου κροκίδωση και ΦΦ έχουν κοινή συμβολή.

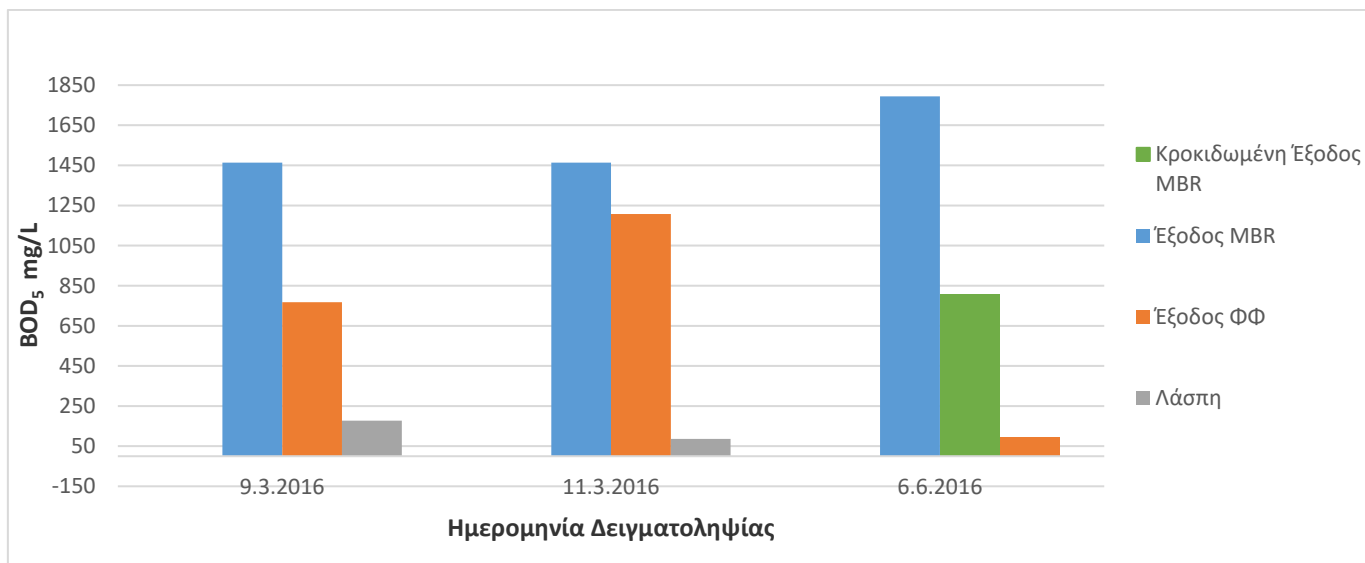
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.13 Πειραματικές τιμές BOD<sub>5</sub>

Από το Διάγραμμα παρατηρούνται όμοιες απομακρύνσεις, της τάξης του 33% μέχρι τις 17/2/2016 καθώς στην συγκεκριμένη δειγματοληψία η συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> στην έξοδο διαφέρει μόλις 10% από την είσοδο. Στην συνέχεια η απομάκρυνση του BOD<sub>5</sub> λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές, συγκριτικά με τις προηγούμενες μετρήσεις και κυμαίνεται προσεγγιστικά από 75% μέχρι και 50%.

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (12000 rpm)

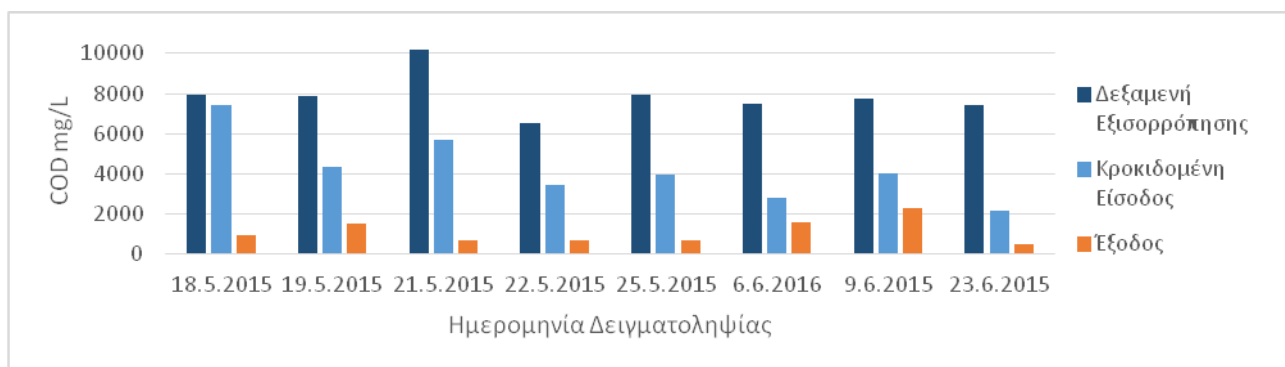


Διάγραμμα 4.14 Πειραματικές τιμές BOD<sub>5</sub>

Η απόδοση της μεθόδου για την αφαίρεση του BOD στις 9/3/2016 και στις 11/3/2016 διαφέρει αρκετά όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.15 καθώς στην πρώτη η απομάκρυνση αγγίζει το 48% ενώ στην τελευταία φτάνει μόλις το 18%. Στην τελική μέτρηση παρατηρείται σημαντική μείωση λόγω της κροκίδωσης 55% από το αρχικό φορτίο και το ΦΦ μειώνει επιπλέον το φορτίο κατά 88% έχοντας συνολική απόδοση, από την εισροή στην εκροή, 95% .

#### 4.1.6 COD

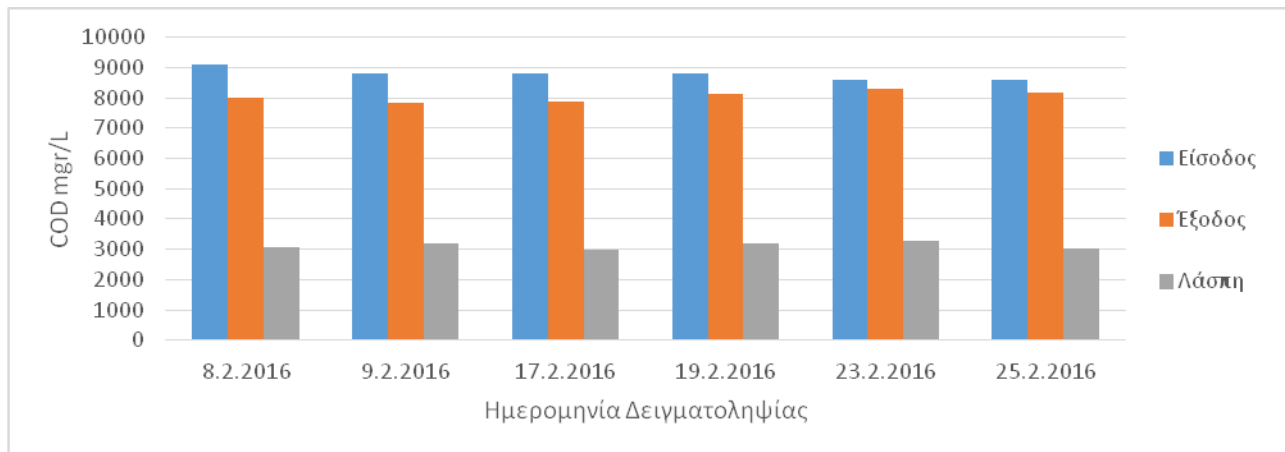
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.15 Πειραματικές τιμές COD

Αυξημένες απομακρύνσεις COD πετυχαίνει ο συνδυασμός κροκίδωσης-ΦΦ σε σχέση με τις προηγούμενες μελετώμενες παραμέτρους. Συγκεκριμένα κανένα από τα δείγματα δεν έχει μείωση μικρότερη του 70% ενώ το ανώτερο ποσοστό μείωσης είναι το 93%. Στις πρώτες πέντε δειγματοληψίες το ΦΦ διαδραματίζει σημαντικότερο ρόλο στην μελετώμενη απομάκρυνση ενώ στην συνέχεια και οι δύο μέθοδοι συμβάλουν κατά κοινό τρόπο στην απόδοση του συστήματος.

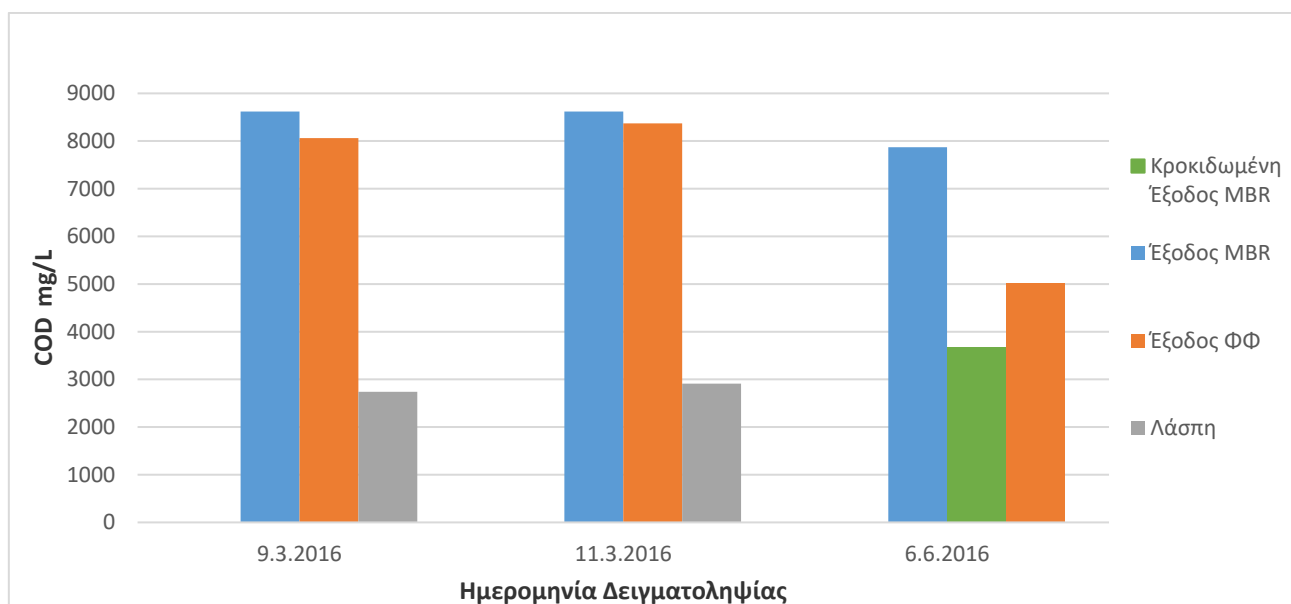
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.16 Πειραματικές τιμές COD

Χαμηλές απομακρύνσεις του COD διαπιστώνονται από την μελέτη του Διαγράμματος 4.17. Αναλυτικότερα κατά την εκκίνηση των πειραμάτων στις τρεις πρώτες δειγματοληψίες η απομάκρυνση κυμαίνεται ανάμεσα στο 11% και 12% ενώ στην συνέχεια μειώνεται έχοντας για τις 19/2/2016, τις 23/2/2016 και 25/2/2016 αντίστοιχα 8%, 4% και 5% .

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000 rpm)

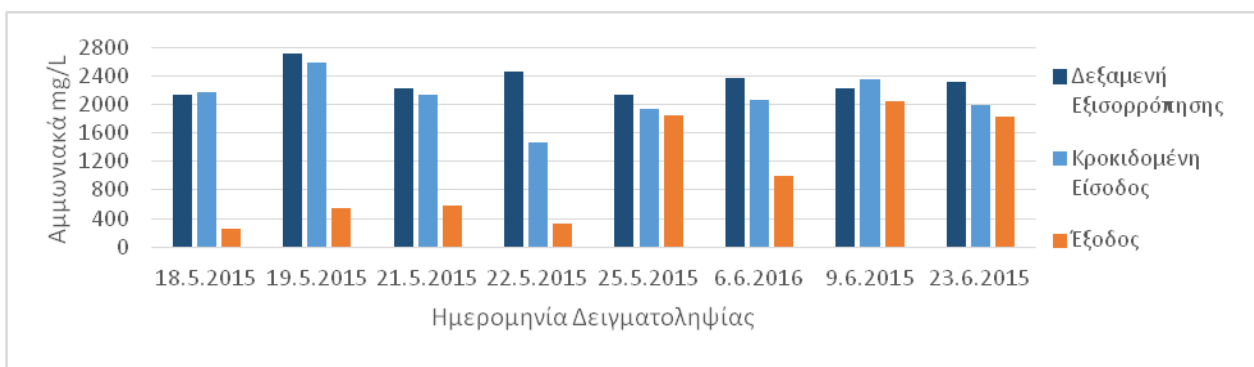


Διάγραμμα 4.17 Πειραματικές τιμές COD

Ο συνδυασμός των MBR και ΦΦ δεν δείχνει να βελτιώνει την απόδοση του συστήματος με μοναδική εξαίρεση την δειγματοληψία του Ιουνίου όπου χρησιμοποιήθηκε και κροκίδωση. Συγκεκριμένα από το Διάγραμμα 4.18 φαίνεται ότι στις δύο πρώτες μέρες συνεχίζονται οι μικρές απομακρύνσεις έχοντας 6% και 3% από την πρώτη στην δεύτερη. Στο τελικό δείγμα αν και η κροκιδωμένη έξοδος του MBR παρουσιάζει απομάκρυνση 53% , μετά το πέρασμα από το ΦΦ το φορτίο του COD φαίνεται να αυξάνεται μειώνοντας την ολική απόδοση του συστήματος σε 36%. Η παράλογη, υπό σωστές συνθήκες λειτουργίας, εξέλιξη ενδεχομένως να οφείλεται σε μη ορθή χρήση και συντήρηση του υφιστάμενου εξοπλισμού επεξεργασίας.

#### 4.1.7 Αμμωνιακά

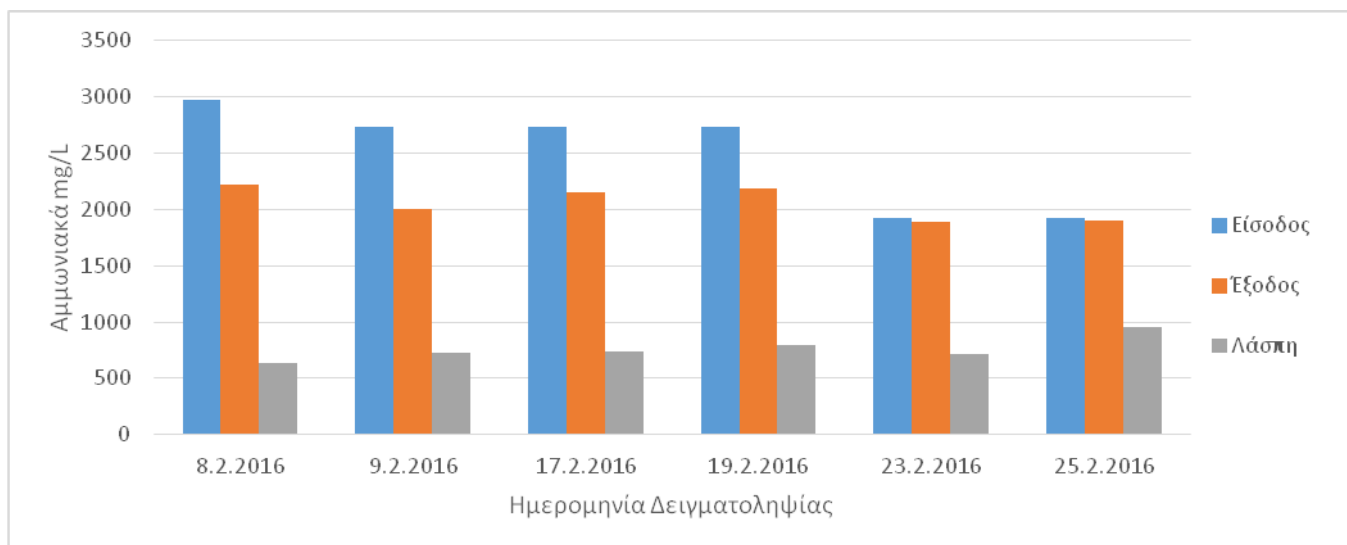
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.18 Πειραματικές τιμές Αμμωνιακών

Έντονη διακύμανση παρατηρείται στο Διάγραμμα 4.19 στην απόδοση του συστήματος σχετικά με την αφαίρεση αμμωνιακών. Οι πρώτες τέσσερις μέρες εμφανίζουν τις μεγαλύτερες ολικές απομακρύνσεις, ανάμεσα σε 74% με 88% από την αρχική συγκέντρωση, με το ΦΦ να συμβάλει καθοριστικά στην αφαίρεση των αμμωνιακών από το δείγμα. Συγκεκριμένα η έξοδος έχει συγκέντρωση μειωμένη κατά 73% με 88% από την κροκιδωμένη είσοδο. Στις δειγματοληψίες που ακολουθούν η απόδοση του φίλτρου ελαττώνεται αισθητά με αποτέλεσμα η ολική επίδοση του συστήματος να φθίνει. Χαρακτηριστικά, από τα αρχικά ποσοστά ολικής απομάκρυνσης που ήταν ανώτερα του 70% καταλήγει ο συνδυασμός των μεθόδων να αφαιρεί μονάχα τα 13%, 58%, 8% και 21% στις 25/5/2015, 6/6/2016, 9/6/2016 και 23/6/2015 αντίστοιχα

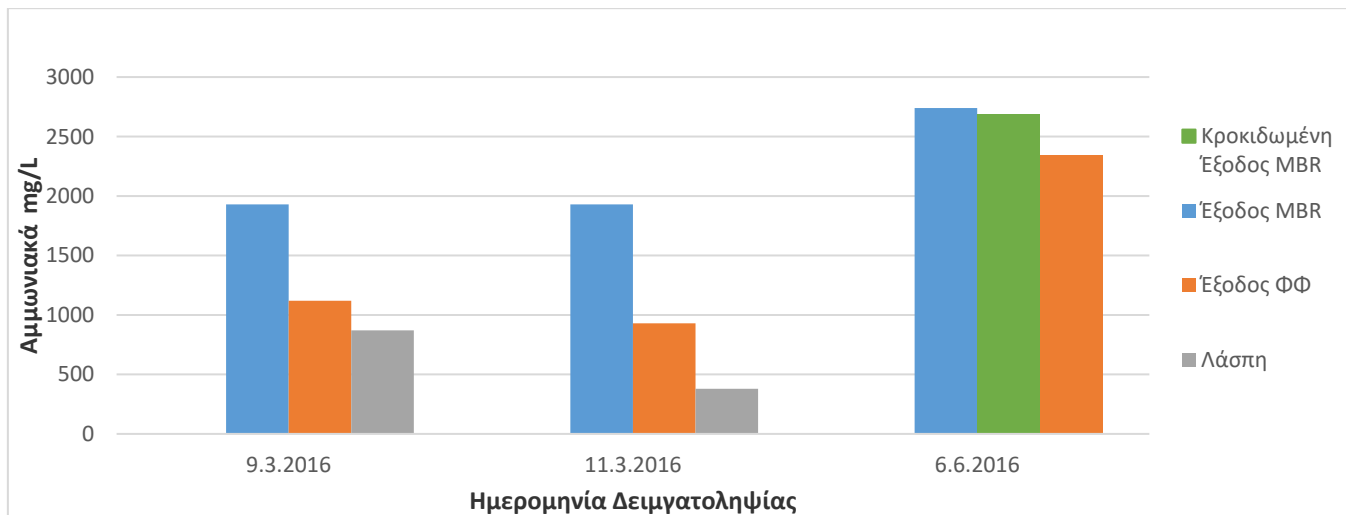
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.19 Πειραματικές τιμές Αμμωνιακών

Παρατηρείται σταδιακή μείωση της απόδοσης με το πέρασμα των ημερών. Το Διάγραμμα 4.20 δείχνει ότι το ποσοστό απομάκρυνσης από τις πρώτες δύο μέρες, που είναι κοντά στο 25%, καταλήγει να είναι κοντά 20% στις δύο επόμενες. Τέλικά στις 23/2/2016 και 25/2/2016 η απομάκρυνση αγγίζει μόλις το 2%

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000 rpm)

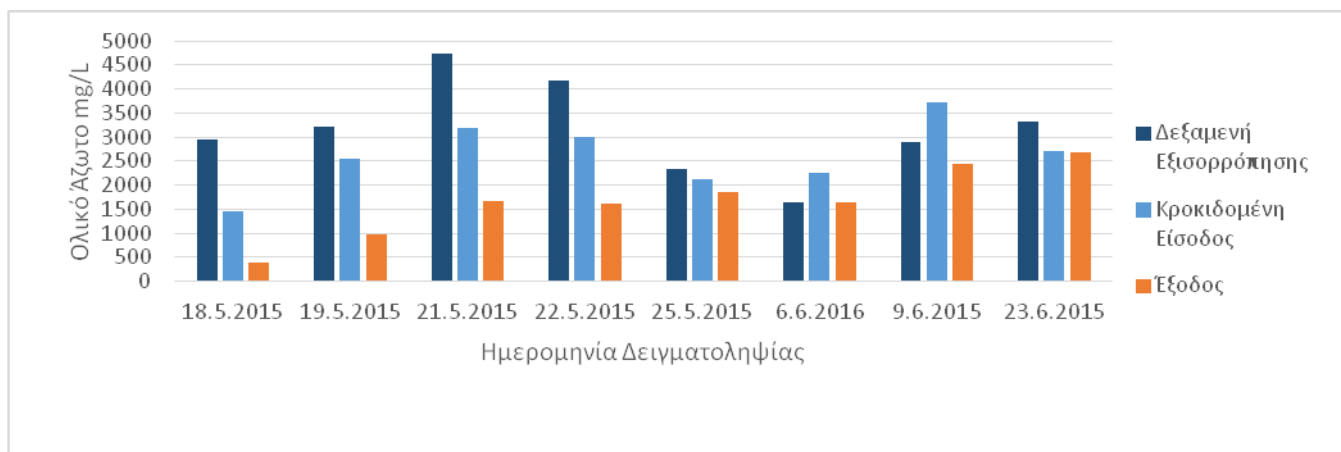


Διάγραμμα 4.20 Πειραματικές τιμές Αμμωνιακών

Έντονη διακύμανση στην απομάκρυνση των αμμωνιακών παρατηρείται στο Διάγραμμα 4.21 καθώς οι τιμές διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό και στα τρία μετρημένα δείγματα. Αναλυτικά στην πρώτη δειγματοληψία απαντάται απομάκρυνση της τάξης του 42% ενώ στην αμέσως επόμενη, με δύο μέρες χρονολογική διαφορά, συναντάται 52%. Ωστόσο η μεγαλύτερη διαφοροποίηση εντοπίζεται στο τελευταίο δείγμα όπου το σχετικό ποσοστό φτάνει μόλις το 15%.

#### 4.1.8 Ολικό Άζωτο

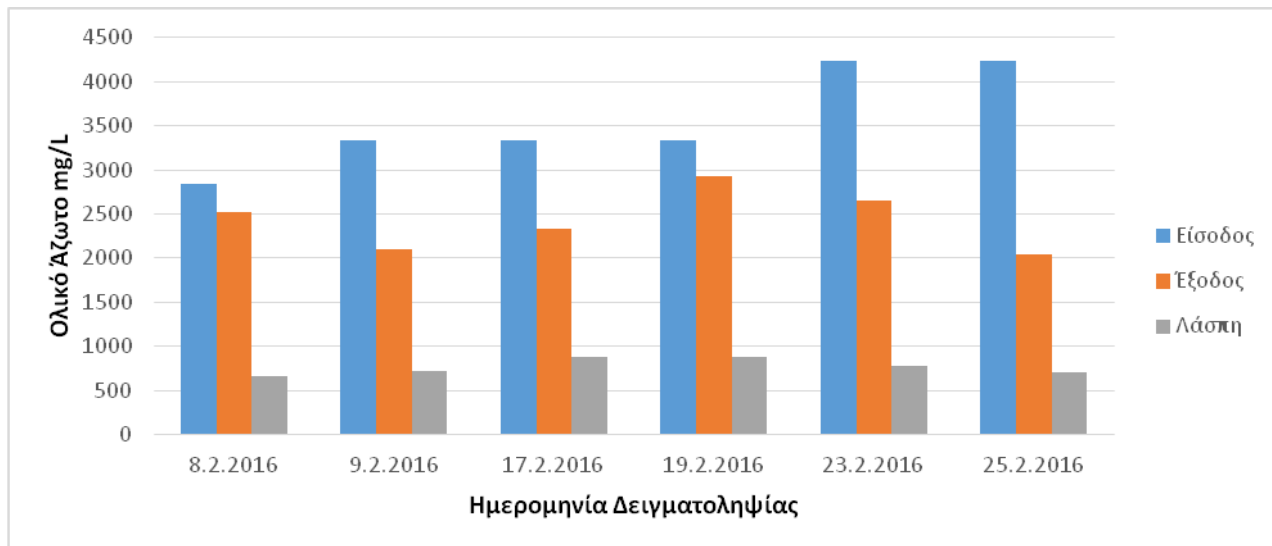
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.21 Πειραματικές τιμές Ολικού Αζώτου

Είναι εμφανές, από το Διάγραμμα 4.22, ότι και στην περίπτωση της απομάκρυνσης του ολικού αζώτου οι πρώτες τέσσερις μέρες δειγματοληψίας είναι εκείνες με τα καλύτερα αποτελέσματα. Η απομάκρυνση της 18/5/2015 είναι η μεγαλύτερη με 87% και ακόμα και αν μειώνεται στις υπόλοιπες 3 ημέρες οι τιμές τους δεν συγκρίνονται με τις ακόλουθες δειγματοληψίες. Αναλυτικά στις 19/5/2015, 21/5/2015 και 22/5/2015 η ολική απομάκρυνση είναι 69%, 64%, και 61% αντίστοιχα ενώ στην συνέχεια η τιμή της πέφτει κάτω του 20% και με το δείγμα της 6/6/2015 να παρουσιάζει μηδενική μείωση. Σχετικά με τον συνδυασμό κροκίδωσης και ΦΦ η απόδοση του συστήματος δείχνει να εξαρτάται από κοινού και από τις δυο μεθόδους.

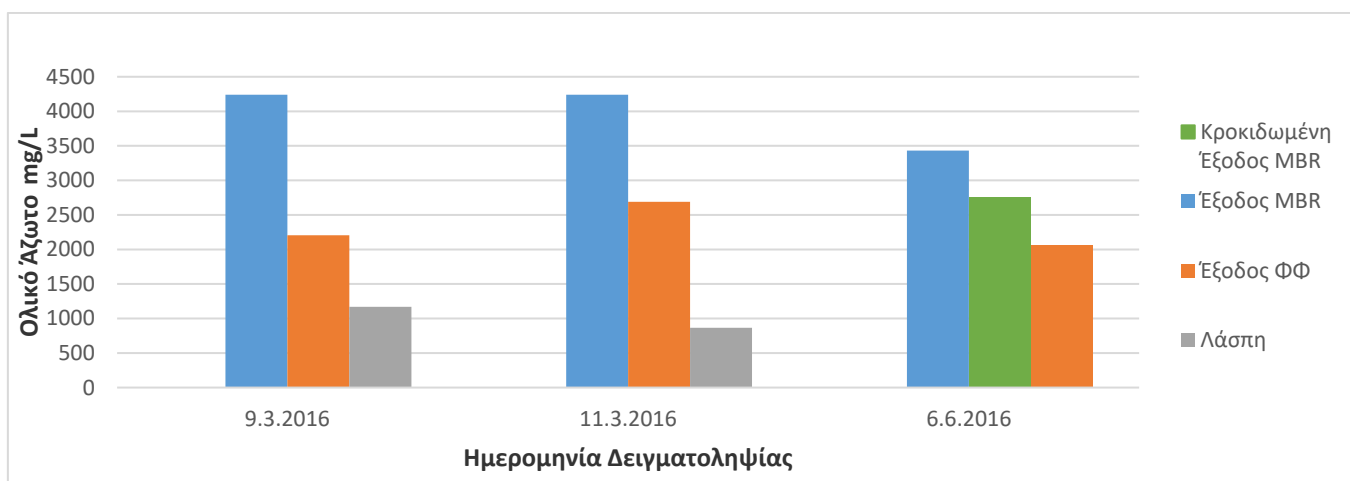
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.22 Πειραματικές τιμές Ολικού Αζώτου

Δεν παρατηρούνται σταθερές απομακρύνσεις ολικού αζώτου στο Διάγραμμα 4.23. Το δείγμα 8/2/2016 έχει την μικρότερη απομάκρυνση με 11% και αμέσως μετά βρίσκεται το δείγμα 19/2/2016 με απομάκρυνση 12%. Τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες του 30%, συγκεκριμένα στις 9/2/2016 και στις 23/2/2016 η απομάκρυνση είναι 37% ,στις 17/2/2016 είναι 30% ενώ το δείγμα 25/2/2016 παρουσιάζει το ανώτερο παρατηρούμενο ποσοστό 51%.

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000 rpm)

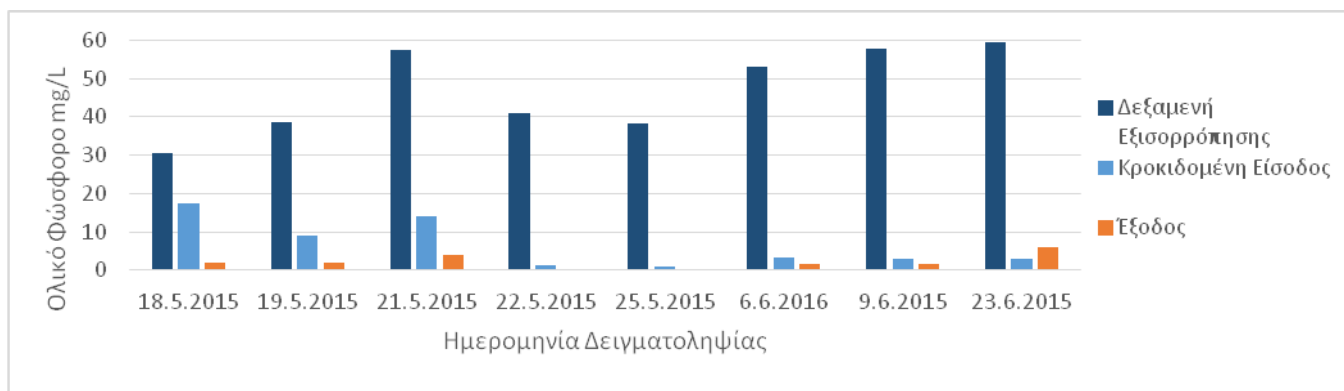


Διάγραμμα 4.23 Πειραματικές τιμές Ολικού Αζώτου

Η απομάκρυνση του ολικού αζώτου παρουσιάζει μια σταδιακή μείωση στο Διάγραμμα 4.24. Αν και στις 9/3/2016 υπάρχει μια από τις μεγαλύτερες απομακρύνσεις, φτάνει τα 48%, η αμέσως επόμενη μέτρηση στις 11/3/2016 δείχνει μείωση 37% για να καταλήξει στις 6/6/2016 η απομάκρυνση να είναι το 20% του αρχικού ολικού αζώτου.

#### 4.1.9 Ολικός Φώσφορος

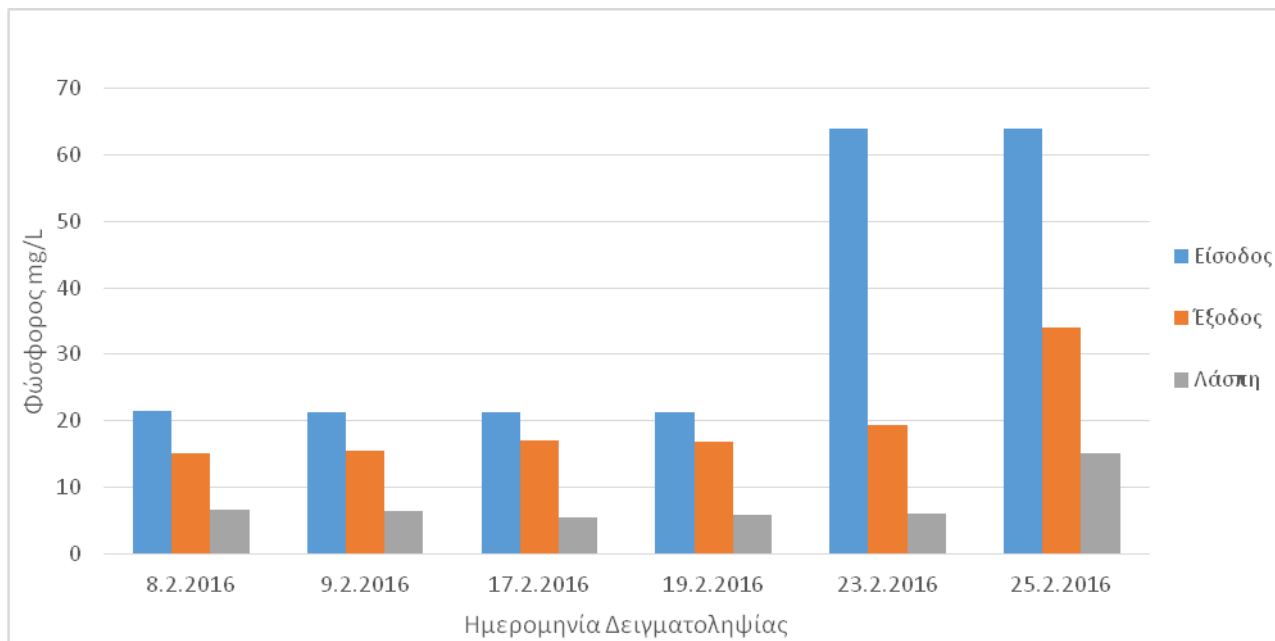
- Κροκίδωση-Φυγοκεντρικό Φίλτρο (12000 rpm)



Διάγραμμα 4.24 Πειραματικές τιμές Ολικού Φωσφόρου

Ο συνδυασμός κροκίδωσης και ΦΦ δείχνει να έχει σημαντικά ποσοστά αφαίρεσης ολικού φωσφόρου από τα μελετούμενα δείγματα στο Διάγραμμα 4.25. Η μικρότερη παρατηρούμενη τιμή απομάκρυνσης είναι εκείνη της 23/6/2015 και είναι 90% της αρχικής συγκέντρωσης ενώ υπόλοιπες κυμαίνονται από 93% μέχρι 99%. Η κροκίδωση έχει σημαντική συμβολή στην μείωση του αρχικού φορτίου με υψηλές απομακρύνσεις ενώ το φίλτρο με αντίστοιχα υψηλές μειώσεις του φορτίου της κροκιδωμένης εισόδου συντελεί στην περαιτέρω αύξηση της απόδοσης του συνδυασμού των δύο μεθόδων

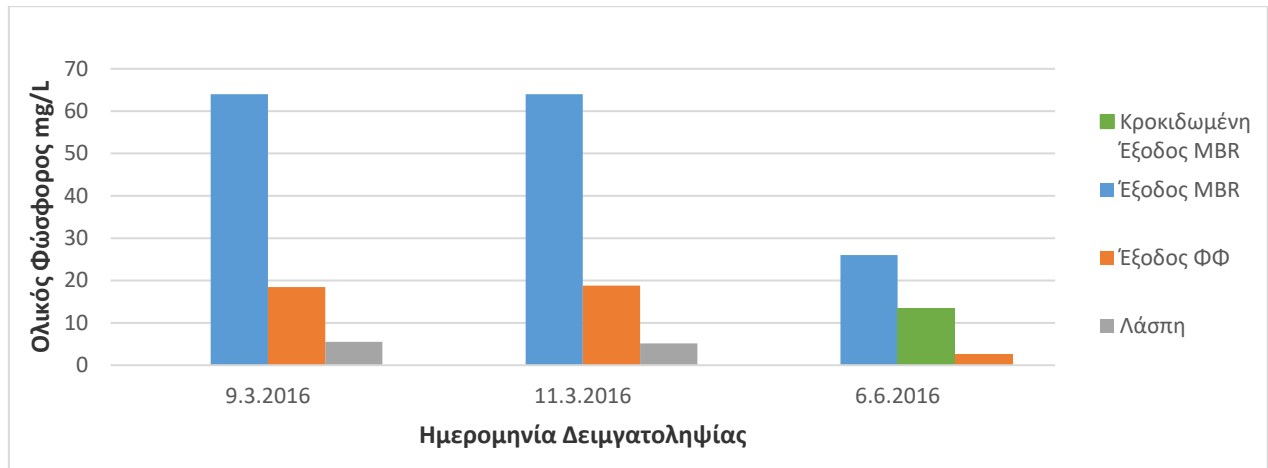
- Φυγοκεντρικό Φίλτρο (3000 rpm)



Διάγραμμα 4.25 Πειραματικές τιμές Φωσφόρου

Συγκρίνοντας τα πρώτα τέσσερα δείγματα εντοπίζεται ένα κοινό μοτίβο στο Διάγραμμα 4.26, με μοναδικό δείγμα με απομάκρυνση κάτω του 20% να είναι αυτό της 17/2/2016 και τα υπόλοιπα να βρίσκονται μεταξύ 20% και 30%. Η κατάσταση αλλάζει στα δείγματα των 23 και 25 Φεβρουαρίου όπου εντοπίζεται είσοδος με πολύ υψηλότερη συγκέντρωση φωσφόρου συγκριτικά με τα πρώτα δείγματα και παράλληλα αυξημένες απομακρύνσεις στην έξοδο, 70% και 47% αντίστοιχα.

- Συνδυασμός Φυγοκεντρικού Φίλτρου-Βιοαντιδραστήρα Βυθιζόμενων Μembranών UF Kubota (3000 rpm)

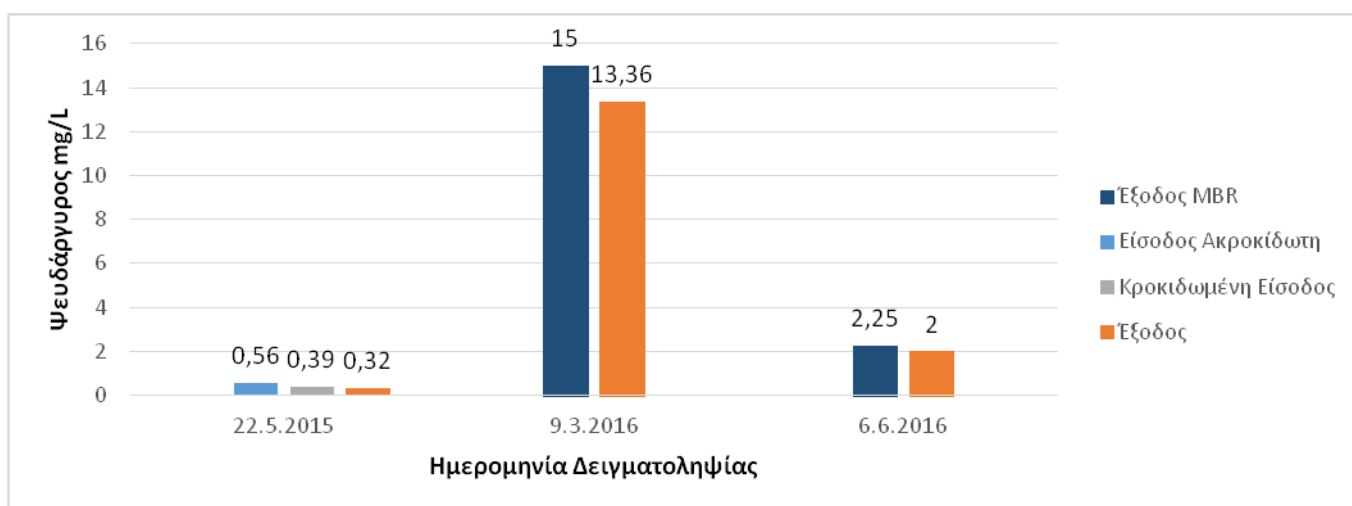


Διάγραμμα 4.26 Πειραματικές τιμές Ολικού Φωσφόρου

Αυξημένη απομάκρυνση παρατηρείται στα δείγματα του Μαρτίου, κοντά στο 71%, ενώ το δείγμα του Ιουνίου, με την κροκιδωμένη εκροή MBR έχει απομάκρυνση 90%.

## 4.2 Αποτελέσματα Μετρήσεων Μετάλλων

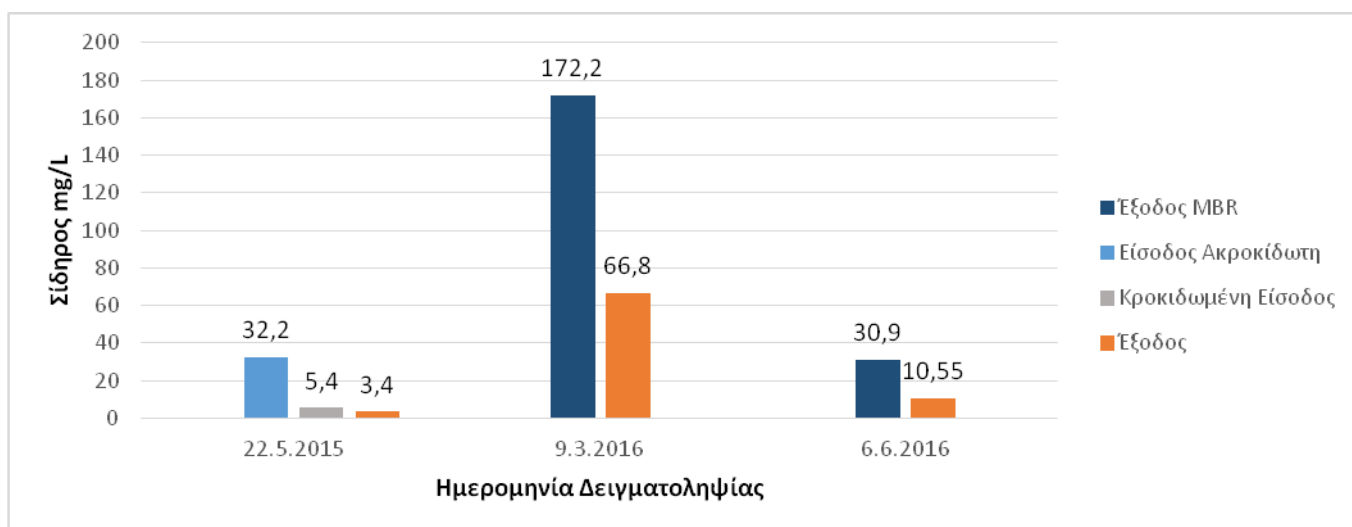
### 4.2.1 Ψευδάργυρος



Διάγραμμα 4.27 Πειραματικές τιμές Ψευδαργύρου

Οι τιμές των εισόδων διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.28, συνεπώς ασφαλέστερη είναι η μελέτη των απομακρύνσεων για το κάθε δείγμα. Αρχικά στο δείγμα 22/5/2015 που αντιπροσωπεύει την μέθοδο κροκίδωσης-ΦΦ στα 12000rpm, η κροκίδωση ευθύνεται για το μεγαλύτερο μέρος της απομάκρυνσης του ψευδαργύρου, μειώνοντας το αρχικό φορτίο των στραγγισμάτων 30% ενώ η ολική απομάκρυνση είναι 43%. Το ΦΦ απομακρύνει το 18% του ψευδαργύρου που περιέχεται στην κροκιδωμένη εισροή του. Ακολουθώντας μελετώντας το δείγμα των 9/3/2016 όπου το ΦΦ επεξεργάστηκε ακροκίδωτη εκροή MBR λειτουργώντας στις 3000 rpm προκύπτει ότι το ΦΦ μείωσε την αρχική συγκέντρωση ψευδαργύρου. Όμοια απόδοση παρατηρείται και στις 6/6/6 από το ΦΦ στην επεξεργασία της κροκιδωμένης εκροής του MBR.

#### 4.2.2 Σίδηρος

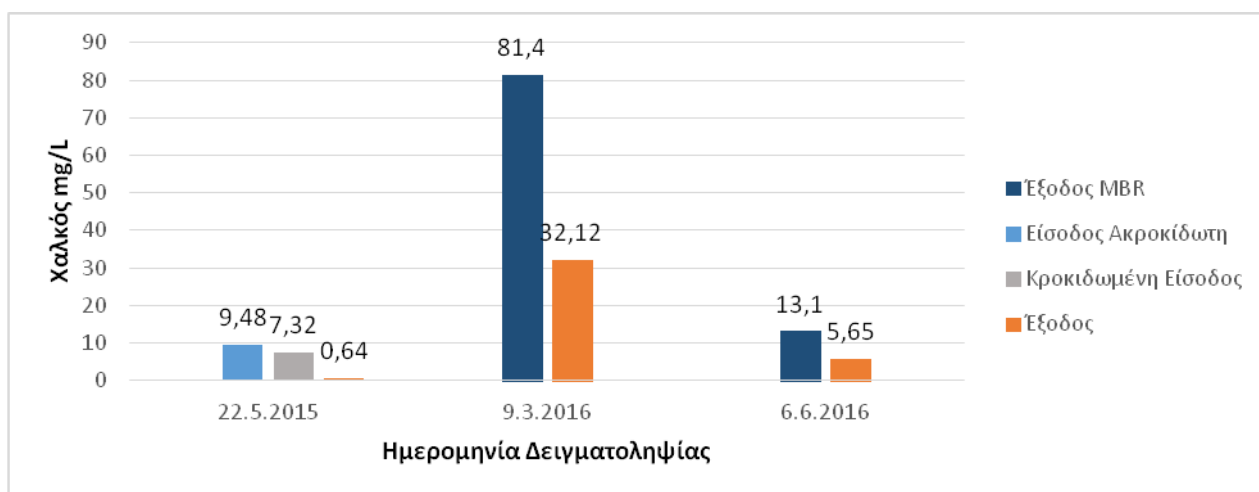


Διάγραμμα 4.28 Πειραματικές τιμές Σιδήρου

Ελέγχοντας το Διάγραμμα 4.29 προκύπτει ότι το πρώτο δείγμα παρουσιάζει ολική απομάκρυνση σιδήρου 89% με την κροκίδωση να συντελεί σε ποσοστό 83%. Το ΦΦ μειώνει το φορτίο της κροκιδωμένης εισροής κατά 37%. Στο δεύτερο δείγμα το ΦΦ είναι αποτελεσματικότερο και μειώνει το αρχικό φορτίο της ακροκίδωτης εκροής MBR κατά 61%. Τέλος στο τρίτο δείγμα το ΦΦ έχει απομακρύνει το 66% της συγκέντρωσης του σιδήρου που εμφανίζεται στην εκροή του MBR δείχνοντας πολύ μικρή βελτίωση στην απόδοση του συστήματος με την χρήση κροκίδωσης.

Η αύξηση της αποτελεσματικότητας του ΦΦ στις δυο τελευταίες περιπτώσεις ίσως να οφείλεται στις τιμές της συγκέντρωσης των εισροών του, που ενώ στις περιπτώσεις των 9/3/2016 και 6/6/2016 ήταν 172 mg/L και 31 mg/L αντίστοιχα στην πρώτη ήταν μόλις 5 mg/L. Έτσι λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων ενδέχεται να κατέστη δυνατή απομάκρυνση υψηλότερου ποσοστού σιδήρου ενώ στην επεξεργασία της χαμηλά φορτισμένης εισροής το σύστημα ενδεχομένως να έφτασε πιο κοντά στο κατώτατο όριο εξόδου που δύναται να παράγει.

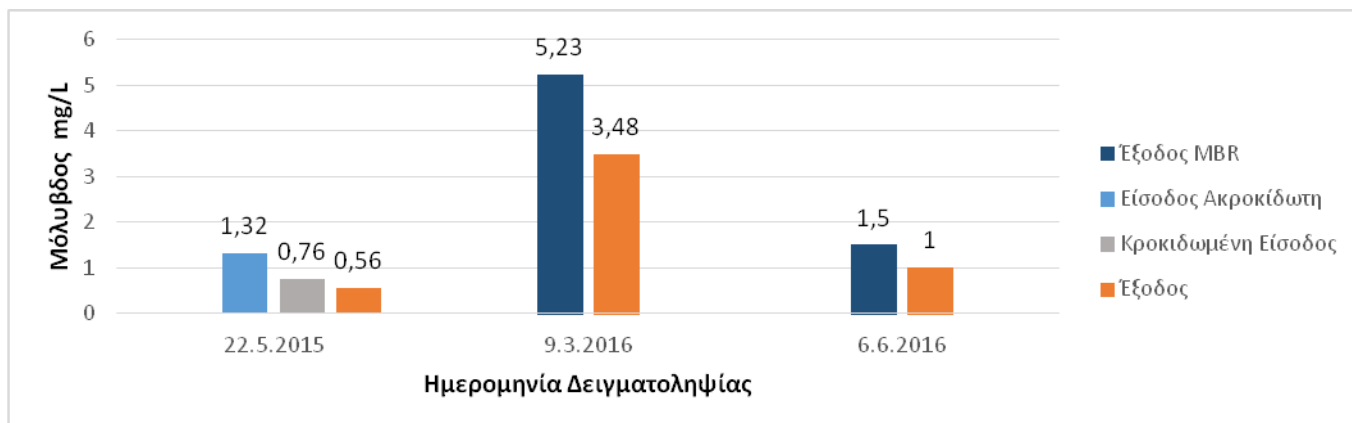
### 4.2.3 Χαλκός



Διάγραμμα 4.29 Πειραματικές τιμές Χαλκού

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.30 οι απομακρύνσεις του χαλκού έχουν κοντινές τιμές με αυτές του σιδήρου ωστόσο το ΦΦ δείχνει να λειτουργεί καλύτερα με το κροκιδωμένο δείγμα. Αναλυτικά στη πρώτη δειγματοληψία, από την διεργασία της κροκίδωσης προκύπτει απομάκρυνση 23% από την αρχική συγκέντρωση χαλκού ενώ η ολική απομάκρυνση του συστήματος είναι 93%. Αυτό σημαίνει ότι το ΦΦ έχει την μεγαλύτερη συμβολή στην μείωση του φορτίου και πράγματι καταφέρνει να ελαττώσει την συγκέντρωση της κροκιδωμένης εισροής κατά 91%. Το επόμενο δείγμα που αντιστοιχεί στην επεξεργασία της ακροκίδωτης εκροής MBR έχει μείωση της αρχικής συγκέντρωσης χαλκού 61% ενώ σε κοντινή τιμή βρίσκεται και η ολική απομάκρυνση του τελευταίου δείγματος κροκιδωμένης εξόδου MBR όπου αφαιρείται το 57%

#### 4.2.4 Μόλυβδος

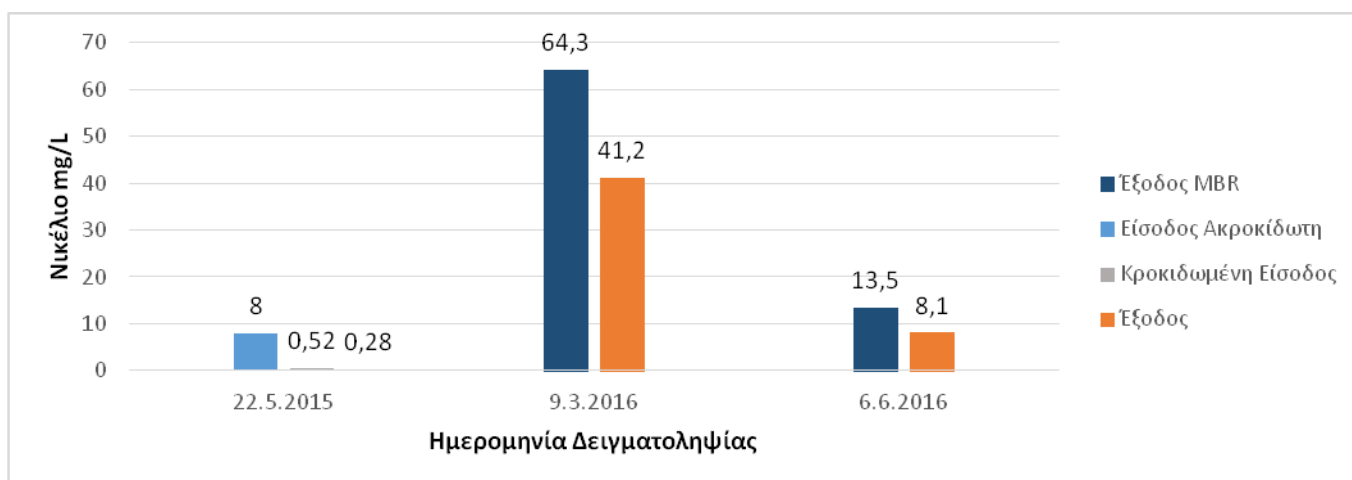


Διάγραμμα 4.30 Πειραματικές τιμές Μόλυβδου

Από την μελέτη του Διαγράμματος 4.31, για το πρώτο δείγμα προκύπτει ότι σημαντικότερη συμβολή στην απομάκρυνση του μόλυβδου έχει η κροκίδωση που απομακρύνει το 42% της αρχικής συγκέντρωσης. Η ολική μείωση του φορτίου είναι 57% και το ΦΦ συμβάλει μειώνοντας την συγκέντρωση της κροκιδωμένης εισροής κατά 26%.

Στην επεξεργασία της εξόδου του MBR το ΦΦ δείχνει να έχει καλύτερη απόδοση αφαιρώντας το 33% στο δείγμα των 9/3/2016 ενώ ίδια είναι και η τιμή της απομάκρυνσής στο τελευταίο δείγμα παρόλο που μετά την αρχική επεξεργασία με MBR ακολούθησε και κροκίδωση του λύματος πριν εισέλθει στο ΦΦ.

#### 4.2.5 Νικέλιο

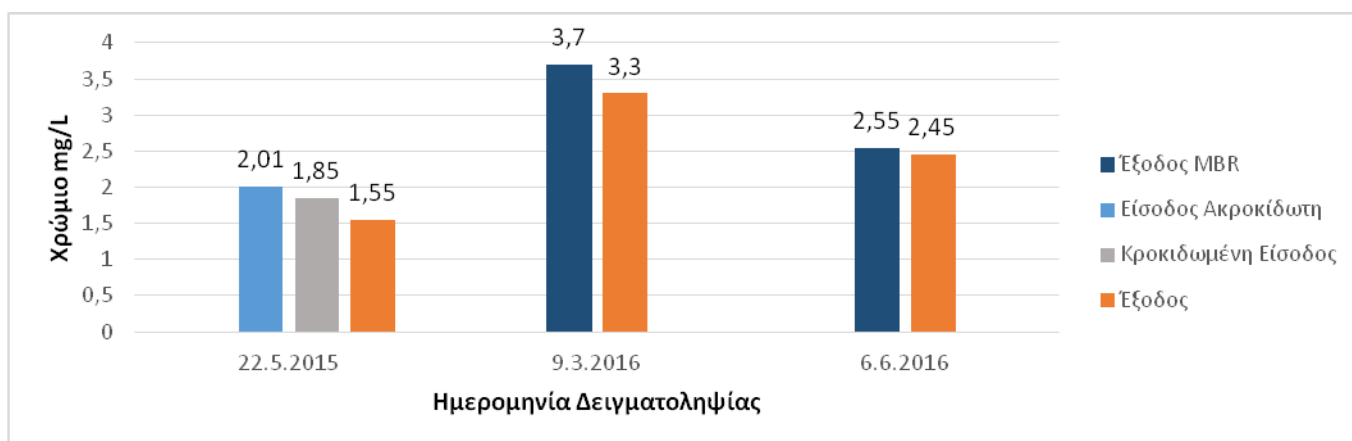


Διάγραμμα 4.31 Πειραματικές τιμές Νικελίου

Μελετώντας το Διάγραμμα 4.32 γίνεται αντιληπτό ότι για την απομάκρυνση του νικελίου από το δείγμα της 22/5/2015 ευθύνεται σε μεγαλύτερο ποσοστό η κροκίδωση μειώνοντας την αρχική συγκέντρωση κατά 93% ενώ η ολική απομάκρυνση της μεθόδου είναι 96%. Το ΦΦ στην συγκεκριμένη περίπτωση ελαττώνει το φορτίο της κροκίδωσης κατά 46%

Στην συνέχεια στο δείγμα 9/3/2016 το ΦΦ μειώνει σε ποσοστό 36% την συγκέντρωση νικελίου στη έξοδο του MBR ενώ μικρή είναι η βελτίωση της απόδοσης της μεθόδου, όπως δείχνει το δείγμα 6/6/2016, όταν κροκιδώνεται η εκροή του MBR πριν εισέλθει στο ΦΦ αφού η ολική μείωση του νικελίου στο λύμα είναι 40%.

#### 4.2.6 Χρώμιο



Διάγραμμα 4.32 Πειραματικές τιμές Χρωμίου

Από την μελέτη του Διαγράμματος 4.33 προκύπτει ότι το χρώμιο έχει χαμηλότερες απομακρύνσεις από τα υπόλοιπα μέταλλα με μόνες κοντινές αυτές του ψευδαργύρου.

Συγκεκριμένα στο δείγμα 22/5/2016 η ελάττωση της συγκέντρωσης του χρωμίου από την κροκίδωση ανέρχεται στο 8% ενώ η ολική απομάκρυνση του από το σύστημα είναι 23%. Συνεπώς το ΦΦ συμβάλει σε μεγαλύτερο βαθμό από την κροκίδωση στην αφαίρεση χρωμίου και απομακρύνει το 16% του φορτίου της κροκιδώσεις εισροής.

Στο δείγμα 9/3/2016 η τιμή της συγκέντρωσης του χρωμίου στην έξοδο του MBR μειώνεται κατά 11% ενώ στο δείγμα 6/6/2016 όπου

το ΦΦ επεξεργάστηκε την κροκιδωμένη εκροή του MBR η ολική μείωση του αρχικού φορτίου ήταν μόλις 4%

### 4.3 Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Πίνακας 4.1 Μέσοι Όροι Απομακρύνσεων %

	ΜΕΘΟΔΟΣ 1η		ΜΕΘΟΔΟΣ 2η	ΜΕΘΟΔΟΣ 3η	ΔΕΙΓΜΑ 6/6/2016
	Απομάκρυνση ΦΦ	Ολική	Ολική	Ολική	Ολική
Θειικά mg/L	40	91	13	6	82
TSS mg/L	60	49	45	66	47
Αγωγιμότητα μS/m <sup>2</sup>	40	36	19	4	14
BOD mg/L	73	83	43	33	55
COD mg/L	71	86	8	5	53
Αμμωνιακά mg/L	49	54	16	47	2
Ολικό Άζωτο mg/L	38	42	30	42	20
Ολικός Φώσφορος mg/L	45	95	36	71	49

Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται οι μέσοι όροι των τιμών των υπολογισμένων, από τις πειραματικές τιμές, απομακρύνσεων για τις τρεις μεθόδους καθώς και το δείγμα 6/6/2016. Στόχος της σχεδίασης του συγκεκριμένου πίνακα είναι η αξιολόγηση της ολικής απόδοσης των μελετώμενων μεθόδων αλλά και της απόδοσης του ΦΦ σε κάθε μια από τις περιπτώσεις. Συγκρίνοντας τις ολικές αποδόσεις των μεθόδων η πιο αποδοτική μέθοδος είναι η πρώτη, σε αρκετές περιπτώσεις με μεγάλη διαφορά. Τόσο η κροκίδωση όσο και το ΦΦ ευθύνονται για τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην πρώτη μέθοδο. Το φίλτρο δείχνει να έχει καλύτερη απόδοση κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες ενώ ακόμα και στις λίγες παράμετρούς που δεν ισχύει αυτό, οι τιμές των

απομακρύνσεων δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό. Αντιθέτως στις παραμέτρους όπου το ΦΦ έχει καλύτερη απόδοση οι διαφορές είναι σημαντικές και πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψιν για την μελλοντική βελτίωση του συστήματος.

Για τη τρίτη μέθοδο και την τροποποίηση της στο δείγμα 6/6/2016 τα αποτελέσματα δεν διευκολύνουν την εξαγωγή συμπερασμάτων για το ποια είναι αποτελεσματικότερη καθώς ανάλογα με την παράμετρο υπερισχύει και άλλη μέθοδος, για παράδειγμα ενώ στην μείωση του ολικού φωσφόρου και στην ελάττωση των TSS η τρίτη μέθοδος εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα δεν συμβαίνει το ίδιο με το BOD και το COD όπου τα ποσοστά αφαίρεσης του δείγματος 6/6/2016 είναι ανώτερα. Έτσι δεν είναι δυνατόν με ασφάλεια να κριθεί η χρησιμότητα της κροκίδωσης της εκροής του συστήματος MBR. Ωστόσο πραγματοποιώντας μια γενικότερη σύγκριση της τρίτης μεθόδου και του δείγματος 6/6/2016 με την δεύτερη μέθοδο φαίνεται ότι οι δύο πρώτες είναι ικανότερες στην επεξεργασία στραγγισμάτων και θα μπορούσαν να αποτελέσουν εκ νέου την βάση για μελλοντική έρευνα.

*Πίνακας 4.2 Μέσες Τιμές Μετρημένων Παραμέτρων (Οι στήλες Είσοδος αναφέρονται σε ακατέργαστα στραγγίσματα στην Μέθοδο 1&2 ενώ στην Μέθοδο 3 και στο δείγμα 6/6/2016 αναφέρονται στην έξοδο του MBR)*

	ΜΕΘΟΔΟΣ 1η		ΜΕΘΟΔΟΣ 2η		ΜΕΘΟΔΟΣ 3η		ΤΙΜΕΣ 6/6/2016	
	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος	Είσοδος	Έξοδος
<b>pH</b>	9	8	9	9	9	9	8	7
<b>Θειικά mg/L</b>	719	69	531	475	748	702	1060	192
<b>TSS mg/L</b>	175	62	69	34	119	40	68	36
<b>Αγωγιμότητα μS/m<sup>2</sup></b>	194	142	320	257	290	277	361	310
<b>BOD mg/L</b>	480	81	1247	691	1464	988	1794	806
<b>COD mg/L</b>	7898	1107	8790	8057	8620	8215	7870	3670
<b>Αμμωνιακά mg/L</b>	2350	1167	2503	2058	1930	1025	2740	2690
<b>Ολικό Άζωτο mg/L</b>	3156	1659	3553	2428	4240	2448	3430	2760
<b>Ολικός Φώσφορος mg/L</b>	47	2	36	20	64	19	26	13

Στον Πίνακα 4.2 φαίνονται οι μέσοι όροι των τιμών των μετρημένων παραμέτρων για τις τρεις μεθόδους καθώς και το δείγμα 6/6/2016. Το pH είναι η παράμετρος που δεν επηρεάστηκε σχεδόν καθόλου από το σύνολο των διεργασιών και των μεταβολών που έλαβαν χώρα αφού όπως δείχνουν οι μέσοι όροι των τιμών του, υπάρχει μικρή διακύμανση και βρίσκονται όλες στην αλκαλική περιοχή. Το ίδιο δεν μπορεί να ειπωθεί για τις υπόλοιπες παραμέτρους όπου παρατηρούνται διαφορές ακόμα και στην σύσταση των ακατέργαστων στραγγισμάτων.

Η κυριότερες διαφορές στο δείγμα της εισόδου παρατηρούνται ανάμεσα στα δείγματα που ελήφθησαν το 2015 και το 2016 συγκεκριμένα μεταξύ των εισροών της πρώτης μεθόδου και των εισροών της δεύτερης και της τρίτης.

Ανάμεσα στα δείγματα που αναλύθηκαν υπήρχαν διαφοροποιήσεις στις εισόδους ακόμα και όταν αναφέρονταν σε κοντινές ημερομηνίες δειγματοληψίας οπότε παρατηρείται αστάθεια στην ποιότητα των στραγγισμάτων και έτσι είναι αναμενόμενο να υπάρχουν διαφορές και στους γενικότερους μέσους όρους. Ωστόσο αυτό που προβληματίζει είναι το πόσο κοντά βρίσκονται οι τιμές των εισόδων της δεύτερης και της τρίτης μεθόδου καθώς οι εισροές τους είναι ακατέργαστα στραγγίσματα και επεξεργασμένα με MBR στραγγίσματα αντίστοιχα. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποτελεί ένδειξη προβληματικής λειτουργίας του συστήματος βιοαντιδραστήρων μεμβρανών και ενδεχομένως να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως λανθασμένος χειρισμός, αναποτελεσματικότητα μηχανικού και χημικού καθαρισμού κλπ. Ότι και να προκαλεί την συγκεκριμένη δυσλειτουργία, έχει άμεσες συνέπιες στην απόδοση του συστήματος και αν εξασφαλιζόταν η διόρθωση του είναι πιθανό να παράγονταν εκροές καλύτερης ποιότητας.

Ελέγχοντας τις μέσες τιμές των εξόδων φαίνεται ότι η καλύτερη ποιότητα εκροής επιτυγχάνεται στην πρώτη μέθοδο αφού στις περισσότερες παραμέτρους το φορτίο είναι χαμηλότερο. Σημαντική συμβολή έχει η πραγματοποιούμενη κροκίδωση αλλά και οι στροφές λειτουργίας του φίλτρου που είναι τετραπλάσιες σε σχέση με τις στροφές των μεθόδων 2 και 3.

## **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

### **5.1 Συμπεράσματα**

Από το σύνολο των αποτελεσμάτων και των γραφημάτων τελικά αποδεικνύεται ότι η κροκίδωση των στραγγισμάτων και η ακόλουθη επεξεργασία τους από το Φυγοκεντρικό Φίλτρο σε στροφές λειτουργίας 12000 rpm είναι αποδοτικότερη από τις υπόλοιπες μεθόδους που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Τόσο η κροκίδωση όσο και το ΦΦ ευθύνονται για τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην πρώτη μέθοδο αφού η κροκίδωση μειώνει σε μεγάλο βαθμό τα αρχικά φορτία των μελετώμενων παραμέτρων και το φίλτρο δείχνει να έχει καλύτερη απόδοση κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες βελτιώνοντας την απόδοση του συστήματος.

Αναφορικά με την δεύτερη και την τρίτη μέθοδο δεν είναι δυνατή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων τόσο σχετικά με την συνολική απόδοσή τους όσο και με την επιμέρους. Τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν αλλά και αυτά που διαπιστώθηκαν στην πορεία της έρευνας είχαν ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της απόδοσης του φίλτρου το οποίο λειτουργούσε πλέον σε 3000 rpm. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι το σύστημα MBR δεν λειτουργεί όπως αναμενόταν και ουσιαστικά δεν προσέφερε στην προσπάθεια εξυγίανσης των στραγγισμάτων διαδραματίζοντας ουδέτερο ρόλο στην όλη διαδικασία ενώ αποτελούσε κομβικό σημείο της επεξεργασίας.

Τελικά προκύπτει και από τον έλεγχο των μέσων τιμών των εξόδων ότι η καλύτερη ποιότητα εκροής επιτυγχάνεται στην πρώτη μέθοδο αφού στις περισσότερες παραμέτρους το φορτίο είναι χαμηλότερο. Σημαντική συμβολή έχει η πραγματοποιούμενη κροκίδωση αλλά και οι στροφές λειτουργίας του φίλτρου που είναι τετραπλάσιες σε σχέση με τις στροφές των μεθόδων 2 και 3. Ωστόσο καμία από τις εξεταζόμενες μεθόδους δεν επιτυγχάνει αποτελέσματα ικανά να καταστήσουν οποιαδήποτε εκροή ασφαλή για απόρριψη στο περιβάλλον και κατά συνέπεια πρέπει να εξεταστούν νέες συνθήκες και συνδυασμοί επεξεργασίας για την επίτευξη καλύτερης ποιότητας εκροών και την αύξηση της απόδοσης

## 5.2 Προτάσεις

Οι προτάσεις αφορούν πολλά κομμάτια της εργασίας και επικεντρώνονται στην εξεύρεση λύσεων για την αύξηση της απόδοσης της κάθε διεργασίας που λαμβάνει μέρος στην επεξεργασία των στραγγισμάτων αλλά και του συστήματος επεξεργασίας ως σύνολο.

Αρχικά προτείνεται η μηχανική αναβάθμιση του Φυγοκεντρικού φίλτρου ώστε να είναι δυνατόν να λειτουργεί σε υψηλές στροφές καθώς η μείωση τους επηρέασε αρνητικά, όπως φάνηκε από την μελέτη, την απόδοση του συστήματος. Επίσης επιβάλλεται να διευθετηθεί το σχεδιαστικό πρόβλημα που επιτρέπει στο νερό που χρησιμοποιείται για την πλύση του ΦΦ να καταλήγει στην δεξαμενή συλλογής της λάσπης. Έτσι θα μπορούν να ληφθούν μετρήσεις των παραμέτρων της παραγόμενης ιλύος που θα είναι αντιπροσωπευτικές της ποιότητας της, θα είναι ευκολότερο να καθοριστεί ο κατάλληλος τρόπος για την διαχείριση της και θα είναι δυνατόν να υπάρχει σφαιρικότερη αντίληψη της λειτουργίας του φίλτρου.

Επιπλέον είναι επιτακτική ανάγκη να καθοριστεί η αιτία που το υφιστάμενο σύστημα μεμβρανών του ΧΥΤΑ έχει τόσο χαμηλή απόδοση καθώς όπως φάνηκε από τις πειραματικές μετρήσεις οι τιμές των παραμέτρων της εκροής του ήταν όμοιες με εκείνες των ανεπεξέργαστων στραγγισμάτων. Αυτό δεν μπορεί παρά να εγείρει ερωτηματικά για το κατά πόσο χρησιμοποιούνται και συντηρούνται ορθά τα τμήματα που απαρτίζουν το εν λόγω σύστημα του οποίου η χαμηλή απόδοση συμβάλει δραστικά στην μείωση της αποτελεσματικότητας της πιλοτικής μονάδας Φυγοκεντρικού Φίλτρου που μελετήθηκε.

## **6. Βιβλιογραφία**

Ahmed, Farah Naz, and Christopher Q. Lan. "Treatment of Landfill Leachate Using Membrane Bioreactors: A Review." *Desalination* 287 (2012): 41–54.

Amokrane, A., C. Comel, and J. Veron. "Landfill Leachates Pretreatment by Coagulation-Flocculation." *Water Research* 31.11 (1997): 2775–2782.

Aziz, Hamidi Abdul et al. "Colour Removal from Landfill Leachate by Coagulation and Flocculation Processes." *Bioresource Technology* 98.1 (2007): 218–220.

Chianese, Angelo, Rolando Ranauro, and Nicola Verdone. "Treatment of Landfill Leachate by Reverse Osmosis." *Water Research* 33.3 (1999): 647–652.

Fernandes, A. et al. "Review on the Electrochemical Processes for the Treatment of Sanitary Landfill Leachates: Present and Future." *Applied Catalysis B: Environmental* 176–177 (2015): 183–200.

Foo, K. Y., and B. H. Hameed. "An Overview of Landfill Leachate Treatment via Activated Carbon Adsorption Process." *Journal of Hazardous Materials* 171.1–3 (2009): 54–60.

Hashisho, J. et al. "Hollow Fiber vs. Flat Sheet MBR for the Treatment of High Strength Stabilized Landfill Leachate." *Waste Management* 55 (2015): 249–256.

Kurniawan, Tonni Agustiono, Wai Hung Lo, and Gilbert Y S Chan. "Physico-Chemical Treatments for Removal of Recalcitrant Contaminants from Landfill Leachate." *Journal of Hazardous Materials* 129.1–3 (2006): 80–100.

Laitinen, Niina, Antero Luonsi, and Jari Vilen. "Landfill Leachate Treatment with Sequencing Batch Reactor and Membrane Bioreactor." *Desalination* 191.1–3 (2006): 86–91.

Linde, Kristina, Ann sofi Jönsson, and Roland Wimmerstedt. "Treatment of Three Types of Landfill Leachate with Reverse Osmosis." *Desalination* 101.1 (1995): 21–30.

Marttinen, S K, and J a Rintala. "Screening of Physical – Chemical Methods for Removal of Organic Material , Nitrogen and Toxicity from Low Strength Landfill Leachates." *Changes* 46 (2002): 851–858.

Peters, Thomas A. "Purification of Landfill Leachate with Reverse Osmosis and Nanofiltration." *Desalination* 119.1–3 (1998): 289–293.

- Renou, S. et al. "Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity." *Journal of Hazardous Materials* 150.3 (2008): 468–493.
- Rubio, J, M L Souza, and R W Smith. "Overview of Flotation as a Wastewater Treatment Technique." 15 (2002): 139–155.
- Tatsi, A. A. et al. "Coagulation-Flocculation Pretreatment of Sanitary Landfill Leachates." *Chemosphere* 53.7 (2003): 737–744.
- Wiszniewski, J. et al. "Landfill Leachate Treatment Methods: A Review." *Environmental Chemistry Letters* 4.1 (2006): 51–61.
- Zouboulis, Anastasios I., Wu Jun, and Ioannis A. Katsoyiannis. "Removal of Humic Acids by Flotation." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 231.1–3 (2003): 181–193.
- Dorota Kulikowska, Tomasz Jóźwiak, Przemysław Kowal, Sławomir Ciesielski. "Municipal landfill leachate nitrification in RBC biofilm – Process efficiency and molecular analysis of microbial structure" *Bioresource Technology*
- Edward J. Opatken, James J. Bond. "RBC nitrification of high ammonia leachates" *Environmental Progress & Sustainable Energy*
- J. P. Henderson , D. A. Besler , J. A. Atwater & D. S. Mavinic. "Treatment of Methanogenic Landfill Leachate to Remove Ammonia Using a Rotating Biological Contactor (RBC) and a Sequencing Batch Reactor (SBR)" *Environmental Technology*
- Σάββας Παπαδόπουλος, (2016), Επεξεργασία στραγγιδίων Χ.Υ.Τ.Α. με Φυγοκεντρικό φίλτρο, Πτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος.
- Νταρακάς Ε. (2014), Διαχείριση στερεών αποβλήτων , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής & Τεχνικής Περιβάλλοντος
- Ευάγγελος Γιδαράκος(2015), Στερεά Απόβλητα: Διαχείριση και Επεξεργασία, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Βασιλείου Σταύρου Ηλίας, Βιολογικός Καθαρισμός Υγρών αποβλήτων Γαλακτοβιομηχανιών, Αριθμός Αίτησης Δ.Ε. : 20050100483, Διεθνής Ταξινόμηση : IPC8: C02F 3/00.
- Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης (2016) ,"Καταγραφή Υφιστάμενης Κατάστασης- Εκτίμηση της Παραγωγής Βιοαερίου και του Δυναμικού Ηλεκτροπαραγωγής με Χρήση Υπολογιστικών Μοντέλων"

<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=tsdpc240&language=en&toolbox=sort>

[itia.ntua.gr/nikos/oikologia/asa\\_anak.ppt](http://itia.ntua.gr/nikos/oikologia/asa_anak.ppt)

## Παράρτημα

Στο παράρτημα παρατίθενται οι πίνακες με τις πειραματικές τιμές των μετρήσεων που μετρήθηκαν.

### pH

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	8,4	8,4	8,5	8,54	8,6	9	8,7	8,6
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	8,3	7,9	8,0	7,9	7,7	8,6	7,5	7,7
Έξοδος ΦΦ	8,4	8,3	8,5	8,5	8,4	8	8,4	8,1
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	8,76	8,77	8,77	8,77	8,77	8,77		
Έξοδος ΦΦ	8,88	8,88	8,68	8,68	8,64	8,65		
Ιλύς	8,88	8,89	8,52	8,53	8,39	8,38		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	8,77	8,77	8,4					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	7,2					
Έξοδος ΦΦ	9,28	9,278	7,25					
Ιλύς	8,26	8,26						

### Θειικά (mg/L)

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	438	683	753	813	928	551	662,5	921
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	446	60	86,5	6,2	24,65	1	62	291,5
Έξοδος ΦΦ	51,5	36,6	37,4	0,248	22,9	30,2	21,65	354
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	454	387	387	387	811	762		
Έξοδος ΦΦ	360,5	281,5	346	325	796	741		
Ιλύς	124	102,5	91,5	91	320	360		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	748	748	1060					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	192					
Έξοδος ΦΦ	715	689	117					
Ιλύς	354	353,5						

## TSS (mg/L)

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	48	680	120	67	104	100	100	180
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	256	220	128	88	180	96	148	600
Έξοδος ΦΦ	28	56	44	36	60	56	40	173
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	40	24	68	44	118,8	40		
Έξοδος ΦΦ	24	20	29	24	57,6	24		
Ιλύς	68	48	32	38	56,8	68		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	118,8	118,8	68					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	36					
Έξοδος ΦΦ	52	40	24					
Ιλύς	27,6	20						

## Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	30,5	28,5	247,5	264,5	268,0	223,0	223,0	269,2
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	28,4	33,0	270,5	242,0	300,0	234,0	261,0	264,8
Έξοδος ΦΦ	5,1	11,5	91,8	64,0	255,0	220,0	235,0	255,6
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	322	340	340	340	290,0	290,0		
Έξοδος ΦΦ	253	257,5	249,5	265,0	247,0	268,0		
Ιλύς	97,5	94,5	93,5	94,5	99,0	95,5		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	290,0	290,0	361,0					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	309,5					
Έξοδος ΦΦ	273,5	280,5	344,5					
Ιλύς	92,0	95,5						

## BOD<sub>5</sub> (mg/L)

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	542	537	533	410	366	483	662	309
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	465	395	341	186	158	475	360	229
Έξοδος ΦΦ	39	112	74	16	44	53,7	180	128
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	1207,5	1116	1116	1116	1464	1464		
Έξοδος ΦΦ	820,5	739,5	953	539	353	741		
Ιλύς	196,05	170,85	148	143	116	103		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	1464	1464	1794					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	806					
Έξοδος ΦΦ	768	1208	93					
Ιλύς	177	87						

## COD (mg/L)

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	7942	7890	10200	6550	7950	7501	7752	7400,0
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	7442	4342	5720	3420	3940	2825	3990	2128,0
Έξοδος ΦΦ	958	1490	692	676	680	1572	2307	480,0
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	9100	8800	8800	8800	8620	8620		
Έξοδος ΦΦ	8000	7850	7870	8120	8300	8200		
Ιλύς	3070	3180	2970	3190	3260	3030		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	8620	8620	7870					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	3670					
Έξοδος ΦΦ	8060	8370	5030					
Ιλύς	2740	2910						

## Αμμωνιακά (mg/L)

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	2130	2720	2220	2470	2130	2370	2230	2310
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	2170	2590	2140	1470	1940	2060	2350	1990
Έξοδος ΦΦ	260	540	580	330	1850	1000	2040	1830
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	2970	2730	2730	2730	1930	1930		
Έξοδος ΦΦ	2220	2000	2150	2190	1890	1900		
Ιλύς	640	730	740	790	720	960		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	1930	1930	2740					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	2690					
Έξοδος ΦΦ	1120	930	2340					
Ιλύς	870	380						

## Ολικό Άζωτο (mg/L)

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	2940	3220	4730	4170	2325	1635	2890	3335
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	1457	2550	3176	3000	2110	2242	3725	2700
Έξοδος ΦΦ	392	982	1677	1602,5	1847	1650	2442	2675
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	2835	3335	3335	3335	4240	4240		
Έξοδος ΦΦ	2520	2095	2330	2925	2655	2045		
Ιλύς	660	720	885	875	780	710		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	4240	4240	3430					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	2760					
Έξοδος ΦΦ	2205	2690	2065					
Ιλύς	1170	865						

## Ολικό Φώσφορο (mg/L)

	1 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	18/5/2015	19/5/2015	21/5/2015	22/5/2015	25/5/2015	6/6/2016	9/6/2015	23/6/2015
Στραγγίσματα	30,4	38,8	57,5	40,9	38,3	53,0	57,6	59,5
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	17,5	9,1	14,1	1,3	1,1	3,2	3,0	2,9
Έξοδος ΦΦ	1,9	1,8	3,9	0,4	0,4	1,6	1,8	6,0
	2 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	8/2/2016	9/2/2016	17/2/2016	19/2/2016	23/2/2016	25/2/2016		
Στραγγίσματα	21,5	21,3	21,3	21,3	64,0	64,0		
Έξοδος ΦΦ	15,1	15,6	17,2	16,8	19,4	34,0		
Ιλύς	6,6	6,6	5,5	5,9	6,1	15,1		
	3 <sup>η</sup> Μέθοδος							
Δείγματα / Ημέρες	9/3/2016	11/3/2016	6/6/2016					
Έξοδος MBR	64,0	64,0	26,0					
Κροκιδωμένη έξοδος MBR	Χωρίς Κροκίδωση	Χωρίς Κροκίδωση	13,4					
Έξοδος ΦΦ	18,5	18,8	2,7					
Ιλύς	5,5	5,2						

**Ψευδάργυρος (mg/L)**

1 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος με Κροκίδωση	
Ημερομηνία Δείγματος					
22/5/2015		9/3/2016		6/6/2016	
Στραγγίσματα	0,56	Έξοδος MBR	15	Έξοδος MBR	2,25
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	0,39	Έξοδος ΦΦ	13,36	Έξοδος ΦΦ	2
Έξοδος ΦΦ	0,32				

**Σίδηρος (mg/L)**

1 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος με Κροκίδωση	
Ημερομηνία Δείγματος					
22/5/2015		9/3/2016		6/6/2016	
Στραγγίσματα	32,2	Έξοδος MBR	172,2	Έξοδος MBR	30,9
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	5,4	Έξοδος ΦΦ	66,8	Έξοδος ΦΦ	10,55
Έξοδος ΦΦ	3,4				

### Χαλκός (mg/L)

1 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος με Κροκίδωση	
Ημερομηνία Δείγματος					
22/5/2015		9/3/2016		6/6/2016	
Στραγγίσματα	9,48	Έξοδος MBR	81,4	Έξοδος MBR	13,1
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	7,32	Έξοδος ΦΦ	32,12	Έξοδος ΦΦ	5,65
Έξοδος ΦΦ	0,64				

### Μόλυβδος (mg/L)

1 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος με Κροκίδωση	
Ημερομηνία Δείγματος					
22/5/2015		9/3/2016		6/6/2016	
Στραγγίσματα	1,32	Έξοδος MBR	5,23	Έξοδος MBR	1,5
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	0,76	Έξοδος ΦΦ	3,48	Έξοδος ΦΦ	1
Έξοδος ΦΦ	0,56				

### Νικέλιο (mg/L)

1 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος με Κροκίδωση	
Ημερομηνία Δείγματος					
22/5/2015		9/3/2016		6/6/2016	
Στραγγίσματα	8	Έξοδος MBR	64,3	Έξοδος MBR	13,5
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	0,52	Έξοδος ΦΦ	41,2	Έξοδος ΦΦ	8,1
Έξοδος ΦΦ	0,28				

### Χρώμιο (mg/L)

1 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος		3 <sup>η</sup> Μέθοδος με Κροκίδωση	
Ημερομηνία Δείγματος					
22/5/2015		9/3/2016		6/6/2016	
Στραγγίσματα	2,01	Έξοδος MBR	3,7	Έξοδος MBR	2,55
Κροκιδωμένα στραγγίσματα	1,85	Έξοδος ΦΦ	3,3	Έξοδος ΦΦ	2,45
Έξοδος ΦΦ	1,55				

