



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ 1: ΧΗΜΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΜΕΙΩΣΗΣ ΡΥΠΑΝΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ**

ΛΙΑΚΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΟΪΖΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ



ΑΘΗΝΑ, 2011

Στους γονείς μου και

στην πολυαγαπημένη μου Βιβή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στην υλοποίησή της.

Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., του Τομέα Χημικών Επιστημών κυρία Λοϊζίδου Μαρία για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος.

Ευχαριστώ επίσης θερμά την υποψήφια διδάκτορα Παπαδασκαλοπούλου Χριστίνα για την ανεκτίμητη βοήθεια που μου προσέφερε και την καθοδήγησή της, τόσο κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων όσο και για τη συγγραφή και παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής.

Οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π, τόσο για το φιλικό κλίμα εντός του εργαστηρίου όσο και για τη συνεργασία και τη συμπαράστασή τους.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους καλούς μου φίλους για την υπομονή και την κατανόηση που έδειξαν καθ' όλο το διάστημα της εκπόνησης της εργασίας μου και φυσικά, την οικογένειά μου που με στήριξε σε αυτή την προσπάθειά μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η παρακολούθηση της λειτουργίας μιας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων που εξυπηρετεί το προσωπικό βιομηχανίας εγκατεστημένης στο Νομό Βοιωτίας καθώς και η διερεύνηση της δυνατότητας περαιτέρω μείωσης του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων με τη χρήση συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβρανών με στόχο την επαναχρησιμοποίηση τους. Στη συνέχεια τα δείγματα εμπλουτίστηκαν με μέταλλα προκειμένου να εξεταστεί η δυνατότητα κατακράτησης μετάλλων από τη βιομάζα σε συνδυασμό με τη χρήση μεμβρανών.

Για τη διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων λυμάτων και τη μελέτη της λειτουργίας της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων του προσωπικού της βιομηχανίας συλλέχθηκαν συνολικά εβδομήντα οχτώ (78) δείγματα από τα διάφορα στάδια της μονάδας σε δεκαεννιά (19) ημέρες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τις ακόλουθες παραμέτρους: pH, αγωγιμότητα, TDS, TSS, VSS, COD, BOD, NO_x, NH₄, φαινόλες, Cl₂ και CN ενώ για τις ανάγκες των πειραμάτων μετρήθηκαν επίσης οι συγκεντρώσεις των ακόλουθων μετάλλων: Cd, Cr, Ni, Zn, Cu, Fe, Mn, Pb.

Γενικά παρατηρήθηκε ότι η εκροή της υπό μελέτη μονάδας πληρούσε τα όρια διάθεσης λυμάτων σε υδάτινο αποδέκτη που ισχύουν για την ευρύτερη περιοχή για τις περισσότερες των περιπτώσεων, ωστόσο ορισμένες φορές οι συγκεντρώσεις TSS και NO_x υπερέβαιναν τα εν λόγω όρια. Επίσης, η εκροή δεν ικανοποιούσε τα προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης για τις παραμέτρους που εξετάστηκαν (BOD, TSS).

Η εφαρμογή συστήματος μεμβρανών στα δείγματα της εκροής μείωσε περαιτέρω το ρυπαντικό φορτίο, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των υπό εξέταση παραμέτρων να ικανοποιούν τόσο τα όρια διάθεσης όσο και τα όρια επαναχρησιμοποίησης. Η εφαρμογή μεμβρανών στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού, είχε ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλες απομακρύνσεις του ρυπαντικού φορτίου (έως 99%), με ταυτόχρονη ικανοποίηση των ορίων διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης.

Τέλος, παρατηρήθηκε ολοκληρωτική απομάκρυνση μετάλλων (100%) από το διήθημα της βιομάζας με τη χρήση μεμβρανών, με εξαίρεση μόνο δύο μέταλλα τα οποία παρουσίασαν απομάκρυνση της τάξης του 97%. Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων μειώθηκαν σε τέτοιο βαθμό ώστε να ικανοποιούν τα όρια διάθεσης αλλά και τα όρια άρδευσης για γεωργία.

ABSTRACT

The object of the present postgraduate thesis is to monitor a wastewater treatment plant which serves the personnel of an industry installed in the Prefecture of Viotia as well as the investigation of the possibility of further reduction of the organic load of the wastewater with the use of membrane bioreactor system in order to re-use the wastewater. Then the samples were enriched with metals in order to examine the possibility of retention of metals from the biomass in combination with the use of membranes.

For the investigation of the quality characteristics of produced wastewater and the study of the operation of the plant biological treatment of wastewater from the personnel of industry were collected in total seventy-eight (78) samples from different stages of the plant in nineteen (19) days. Then were carried out measurements for the following parameters: pH, conductivity, TDS, TSS, VSS, COD, BOD, NO_x, NH₄, phenols, Cl₂ and CN while for the needs of experiments were also measured concentrations of the following metals: Cd, Cr, Ni, Zn, Cu, Fe, Mn, Pb.

General it was observed that the outflow of the study unit filled the limits of waste disposal in the receiving water applied to the wider region for most of cases, however sometimes the concentrations of TSS and NO_x were measured above those limits. Also, the outflow did not satisfy the proposed limits of re-use for the parameters that were examined (BOD, TSS).

The application of membrane bioreactor system in the samples of the outflow decreased further the organic load, with result the concentrations of the relevant parameters to satisfy not only the limits of disposal but also the limits of re-use. The application of membranes in the samples from the stage of ventilation had as a result very high removals of the organic load (up to 99%), with simultaneous satisfaction of the levels of both disposal and reuse.

Finally, it was observed absolute removal of metals (100%) from the filtrate of biomass with the use of membranes, with the exception of only two metals which presented removal of about 97%. The concentrations of metals were decreased to such an extent as to satisfy not only the limits of disposal but also the limits of irrigation for agriculture.

Πίνακας περιεχομένων

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2.	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	3
2.1.	ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	3
2.2.	ΟΡΙΣΜΟΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	10
2.2.1.	Στερεά.....	10
2.2.2.	Απαιτήση οξυγόνου για την επεξεργασία των λυμάτων	11
2.2.3.	Σύνολο Διαλυτού Αζώτου.....	12
2.3.	ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΥΡΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	13
2.3.1.	Χρόνος παραμονής.....	13
2.3.2.	Τροφή: Μικροοργανισμοί (F:M).....	13
2.3.3.	Βιολογική απομάκρυνση οργανικού φορτίου	14
2.3.4.	Βιολογική απομάκρυνση αζώτου	14
2.3.5.	Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου.....	15
2.4.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ	17
2.5.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ (MBR)	19
2.5.1.	Αρχή λειτουργίας Συστήματος Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών.....	19
2.5.2.	Λειτουργικές παράμετροι συστημάτων MBR	22
2.5.3.	Διεργασίες μεμβρανών	25
2.5.4.	Μονάδες μεμβρανών	25
2.5.5.	Έμφραξη μεμβρανών.....	26
3.	ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	27
3.1.	Εναλλακτικές δυνατότητες αξιοποίησης των υγρών απόβλητων.....	27
3.2.	Τεχνικές απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	30
3.3.	Ανασκόπηση θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων.....	30
3.4.	Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα.....	34
3.5.	Νομοθετικό πλαίσιο για τη διάθεση των λυμάτων	37
4.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	38
5.	ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	42

5.1.	ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	42
5.2.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	45
5.2.1.	Προσδιορισμός φυσικών παραμέτρων.....	47
5.2.2.	Προσδιορισμός οργανικών παραμέτρων.....	48
5.2.3.	Προσδιορισμός ανόργανων παραμέτρων.....	54
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.....	71
6.1.	Αποτελέσματα αναλύσεων από τα σημεία συλλογής των λυμάτων.....	71
6.2.	Αποτελέσματα αναλύσεων από το στάδιο του βιοεπιλογέα	80
6.3.	Αποτελέσματα αναλύσεων από τη δεξαμενή αερισμού	88
6.4.	Αποτελέσματα αναλύσεων από σημείο εκροής ΜΕΛ (εντός βιομηχανίας)	96
6.5.	Αποτελέσματα αναλύσεων από τον 24ωρο δειγματολήπτη στην έξοδο	104
6.6.	Αποτελέσματα αναλύσεων από το σημείο διάθεσης της επεξεργασμένης εκροής στον ποταμό	113
7.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MBR ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ ΕΚΡΟΗΣ.....	122
7.1.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MBR	123
7.2.	Α΄ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ	126
7.3.	Β΄ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	136
7.3.1.	Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το στάδιο του αερισμού της ΜΕΛ ύστερα από επεξεργασία με τη μεμβράνη και την προσθήκη μετάλλων	136
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	138
9.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	139

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1:Συσχέτιση του λόγου BOD/COD με το είδος του υγρού.....	12
Πίνακας 2: Προτεινόμενα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο ανακτημένο	34
Πίνακας 3: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα	35
Πίνακας 4: Προβλεπόμενες οριακές τιμές εκπομπών φυσικοχημικών παραμέτρων βάσει της ανωτέρω ισχύουσας νομοθεσίας.....	37
Πίνακας 5: Ημερολόγιο διεξαγωγής δειγματοληψιών	43
Πίνακας 6: Περιγραφή των δειγμάτων που ελήφθησαν ανά ημέρα και σημείο δειγματοληψίας	44
Πίνακας 7: Όργανα μέτρησης και όρια ανίχνευσης παραμέτρων.....	46
Πίνακας 8: Ποσοστιαία αραιώση σχετικά με την τιμή BOD	51
Πίνακας 9: Έτοιμα αντιδραστήρια Merck που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του COD .	53
Πίνακας 10: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Nitrate Test.....	54
Πίνακας 11 :Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Nitrite Test.....	55
Πίνακας 12: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Ammonium Test	56
Πίνακας 13: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant CN Test	58
Πίνακας 14: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant CN Test	60
Πίνακας 15: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Phenol Test.....	61
Πίνακας 16Υπολογισμοί	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 17: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από την είσοδο 1.....	72
Πίνακας 18: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από την είσοδο 2.....	72
Πίνακας 19:Μετρήσεις BOD/COD στις εισόδους 1 και 2.....	73
Πίνακας 20: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από τη δεξαμενή του βιοεπιλογέα στη ΜΕΛ	81
Πίνακας 21:Μετρήσεις BOD/COD στο στάδιο του βιοεπιλογέα	81
Πίνακας 22:Μετρήσεις DO στο στάδιο του βιοεπιλογέα	82
Πίνακας 23:Μετρήσεις DO στα στάδια του αερισμού.....	89
Πίνακας 24: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από τη δεξαμενή του αερισμού στη ΜΕΛ	89
Πίνακας 25: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από σημείο τελικής εκροής εντός της ΜΕΛ	97
Πίνακας 26: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από τον 24ωρο δειγματολήπτη στην έξοδο	105

Πίνακας 27: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το σημείο διάθεσης της επεξεργασμένης εκροής στον ποταμό.....	114
Πίνακας 28:Μετρήσεις BOD/COD στην τελική εκροή της Μ.ΕΛ.....	115
Πίνακας 29: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το στάδιο του αερισμού της ΜΕΛ ύστερα από επεξεργασία με τη μεμβράνη	127
Πίνακας 30: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το στάδιο εκροής της ΜΕΛ ύστερα από επεξεργασία με τη μεμβράνη	128
Πίνακας 31: Ποσοστιαία απομάκρυνση ρυπαντικού φορτίου δειγμάτων ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη	128
Πίνακας 32: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από στάδιο αερισμού με προσθήκη μετάλλων και επεξεργασία με μεμβράνη, όρια διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης	137

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση σταδίων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	9
Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος	18
Σχήμα 3: Στάδια Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων (Μ.Ε.Λ.)	39
Σχήμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων	41
Σχήμα 5: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων	73
Σχήμα 6: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων	74
Σχήμα 7: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	74
Σχήμα 8: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων	75
Σχήμα 9: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων	75
Σχήμα 10: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	76
Σχήμα 11: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	76
Σχήμα 12: Συγκεντρώσεις NO ₂ -N στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	77
Σχήμα 13: Συγκεντρώσεις NO ₃ -N στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	77
Σχήμα 14: Συγκεντρώσεις NH ₄ στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	78
Σχήμα 15: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	78
Σχήμα 16: Συγκεντρώσεις Cl ₂ στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων.....	79
Σχήμα 17: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων	79
Σχήμα 18: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα.....	82
Σχήμα 19: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	83
Σχήμα 20: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	83
Σχήμα 21: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα.....	84
Σχήμα 22: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	84

Σχήμα 23: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	85
Σχήμα 24: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	85
Σχήμα 25: Συγκεντρώσεις NO ₂ -N στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	86
Σχήμα 26: Συγκεντρώσεις NH ₄ στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	86
Σχήμα 27: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	87
Σχήμα 28: Συγκεντρώσεις Cl ₂ στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	87
Σχήμα 29: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα	88
Σχήμα 30: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	90
Σχήμα 31: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού.....	90
Σχήμα 32: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	91
Σχήμα 33: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	91
Σχήμα 34: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού.....	92
Σχήμα 35: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	92
Σχήμα 36: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	93
Σχήμα 37: Συγκεντρώσεις NO ₂ -N στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	93
Σχήμα 38: Συγκεντρώσεις NO ₃ -N στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	94
Σχήμα 39: Συγκεντρώσεις NH ₄ στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	94
Σχήμα 40: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	95
Σχήμα 41: Συγκεντρώσεις Cl ₂ στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού	95
Σχήμα 42: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού.....	96
Σχήμα 43: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όρια διάθεσης.....	97
Σχήμα 44: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ	98
Σχήμα 45: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης.....	98
Σχήμα 46: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης	99
Σχήμα 47: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ.....	99
Σχήμα 48: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	100
Σχήμα 49: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όρια επαναχρησιμοποίησης	100
Σχήμα 50: Συγκεντρώσεις NO ₂ -N στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	101

Σχήμα 51: Συγκεντρώσεις NO_3 -Νοσα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	101
Σχήμα 52: Συγκεντρώσεις NH_4 στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης.....	102
Σχήμα 53: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	102
Σχήμα 54: Συγκεντρώσεις Cl_2 στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης.....	103
Σχήμα 55: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης.....	103
Σχήμα 56: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης.....	106
Σχήμα 57: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ	106
Σχήμα 58: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	107
Σχήμα 59: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης.....	107
Σχήμα 60: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ	108
Σχήμα 61: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	108
Σχήμα 62: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όρια επαναχρησιμοποίησης	109
Σχήμα 63: Συγκεντρώσεις NO_2 στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	109
Σχήμα 64: Συγκεντρώσεις NO_3 στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	110
Σχήμα 65: Συγκεντρώσεις NH_4 στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	110
Σχήμα 66: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης	111
Σχήμα 67: Συγκεντρώσεις Cl_2 στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης.....	111
Σχήμα 68: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης.....	112

Σχήμα 69: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης.....	115
Σχήμα 70: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό	116
Σχήμα 71: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης.....	116
Σχήμα 72: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης	117
Σχήμα 73: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό.....	117
Σχήμα 74: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης.....	118
Σχήμα 75: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης	118
Σχήμα 76: Συγκεντρώσεις NO ₂ –N στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης	119
Σχήμα 77: Συγκεντρώσεις NO ₃ -N στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης	119
Σχήμα 78: Συγκεντρώσεις NH ₄ στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης.....	120
Σχήμα 79: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης	120
Σχήμα 80: Συγκεντρώσεις Cl ₂ στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης.....	121
Σχήμα 81: Συγκεντρώσεις στα CN δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης.....	121
Σχήμα 82: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης	129
Σχήμα 83: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη	130
Σχήμα 84: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όριο διάθεσης.....	131
Σχήμα 85: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης	132
Σχήμα 86: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης	133

Σχήμα 87: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη	134
Σχήμα 88: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όριο διάθεσης	134
Σχήμα 89: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια επαναχρησιμοποίησης	135

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2 Βασικά στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	4
Εικόνα 3: Ειδική διάταξη για την πραγματοποίηση της χώνευσης	66
Εικόνα 4: Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε	125
Εικόνα 5: Η μεμβράνη με τριχοειδής κοίλες ίνες που χρησιμοποιήθηκε	125

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος λύματα αναφέρεται στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (*οικιακά λύματα*) και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθεις δραστηριότητες μιας πόλης (*αστικά λύματα*). Όταν τα υγρά απόβλητα μιας πόλης περιέχουν και σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε ονομάζονται υγρά αστικά απόβλητα. Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων όπως η αφόδευση, η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού κ.α. Κατά μέσο όρο παράγονται 180-300 λίτρα κατά άτομο κάθε μέρα. Η επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί ένα σημαντικό και αναγκαίο μέτρο, για τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεών τους στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον από τη διάθεση τους σε διάφορους αποδέκτες.

Υπάρχει πλήθος φυσικών, χημικών και βιολογικών μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που όμως δεν επαρκούν, αν λάβει υπόψιν κανείς τις ανάγκες του σύγχρονου κόσμου, για εισαγωγή νέων, καθαρών τεχνολογιών οι οποίες δεν θα επιβαρύνουν το ήδη ρυπασμένο, με διάφορα ήδη αποβλήτων φυσικό περιβάλλον.

Σήμερα η αποτελεσματική αφαίρεση των ρύπων είναι εφικτή για τρεις βασικούς λόγους:

1. Καλύτερη κατανόηση και ερμηνεία βιοχημικών διεργασιών στους αντιδραστήρες βιολογικής επεξεργασίας.
2. Τεχνολογική πρόοδος, ειδικά στην κατασκευή συστημάτων αερισμού, μίξης και ελέγχου ποιότητας αποβλήτων.
3. Ραγδαία ανάπτυξη πληροφορικής που επιτρέπει τον έλεγχο και την αυτόματη λειτουργία των συστημάτων.

Οι μέθοδοι βιολογικής επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων έχουν κερδίσει έδαφος σε σχέση με τις φυσικοχημικές μεθόδους λόγω του χαμηλού κόστους τους σε συνδυασμό με την αποτελεσματική επεξεργασία. Οι βιολογικές μέθοδοι χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: τις μεθόδους της αιωρούμενης βιομάζας (*suspended growth*) και τις μεθόδους της προσκολλημένης βιομάζας (*attached growth* ή *biofilm*). Το πιο διαδεδομένο σύστημα αιωρούμενης βιομάζας είναι αυτό της ενεργού ιλύος, το οποίο εφαρμόζεται κατά κόρον στην επεξεργασία των λυμάτων. Ωστόσο έχει αρχίσει να εφαρμόζεται η χρήση μιας νέας τεχνολογίας, η οποία είναι πιο αποδοτική και σαφώς πιο εξελιγμένη και πλεονεκτεί σημαντικά σε σχέση με τα κλασικά συστήματα ενεργού ιλύος. Πρόκειται για τα συστήματα βιοαντιδραστήρα μεμβράνης (MBR) τα οποία αποτελούν για ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας, το μέλλον στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων.

Το σύστημα Βιοαντιδραστήρα Μεμβράνης (Membrane Bioreactor) ευρέως γνωστό με τον όρο MBR, είναι μία ραγδαίως αναπτυσσόμενη τεχνολογία, όσον αφορά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Προέκυψε από το συνδυασμό της βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με το σύστημα μεμβρανών. Το κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι ότι ο διαχωρισμός των στερεών από τα υγρά πραγματοποιείται μέσω της μεμβράνης χωρίς να χρειάζεται η ύπαρξη δεξαμενής τελικής καθίζησης. Επιπλέον το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στερεών στους βιοαντιδραστήρες (συνήθως 8000-14000 mg/l) με αποτέλεσμα να μειώνονται οι απαιτούμενοι όγκοι των αντιδραστήρων. Οι μεμβράνες δεν επιτρέπουν τη διαφυγή στερεών στην τελική εκροή, με αποτέλεσμα η τελική εκροή να έχει πολύ υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Το σύστημα βιοαντιδραστήρα μεμβράνης αναλύεται εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

2.1. ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι μέθοδοι επεξεργασίας όπου κυριαρχούν οι φυσικές δυνάμεις είναι γνωστές ως φυσικές διεργασίες. Οι μέθοδοι επεξεργασίας κατά τις οποίες η απομάκρυνση των ρυπογόνων ουσιών επιτυγχάνεται με χημικές ή βιολογικές αντιδράσεις είναι γνωστές ως χημικές ή βιολογικές διεργασίες. Σήμερα, οι φυσικές διεργασίες και οι χημικές και βιολογικές διεργασίες ομαδοποιούνται σε στάδια ώστε να παρέχουν διάφορους βαθμούς επεξεργασίας γνωστά ως προεπεξεργασία (προκαταρτική επεξεργασία), πρωτοβάθμια, προχωρημένη πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια (με ή χωρίς απομάκρυνση θρεπτικών συστατικών) και προχωρημένη ή τριτοβάθμια επεξεργασία.(1)

Το συνολικό σύστημα επεξεργασίας ενδέχεται να περιλαμβάνει συνοπτικά τις εξής επιμέρους διεργασίες:

Πρωτοβάθμια επεξεργασία

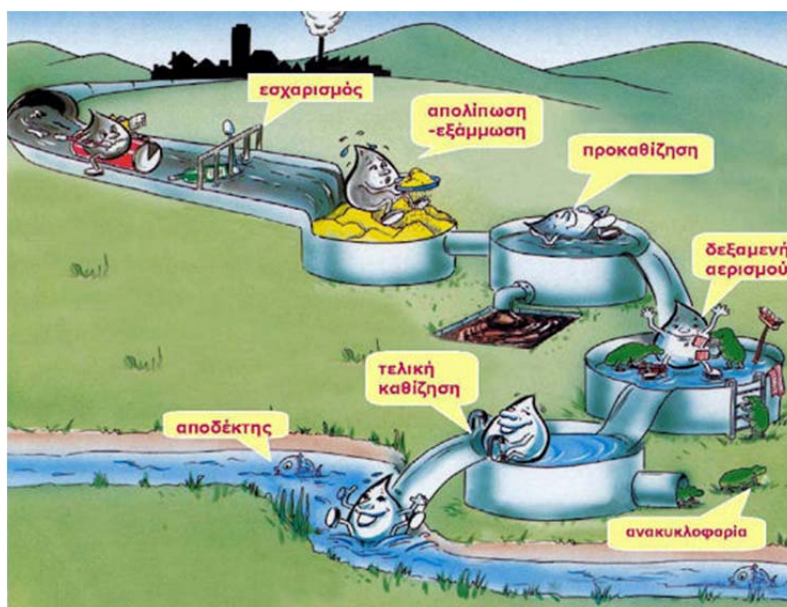
1. Εσχάρωση
2. Εξάμμωση –Λιποσυλλογή
3. Εξισορρόπηση – Ομογενοποίηση
4. Κροκίδωση
5. Πρωτοβάθμια καθίζηση
6. Επίπλευση

Δευτεροβάθμια επεξεργασία

7. Αερόβια επεξεργασία (ενεργός ιλύς, βιολογικά φίλτρα, περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι, βιοαντιδραστήρες μεμβρανών)
8. Αναερόβια επεξεργασία (σηπτικές δεξαμενές, δεξαμενές καθίζησης Imhoff, λίμνες και δεξαμενές σταθεροποίησης)
9. Δευτεροβάθμια καθίζηση

Τριτοβάθμια επεξεργασία

10. Φίλτραυση (αμμόφιльтра, φίλτρα ενεργού άνθρακα)
11. Αντίστροφη ώσμωση
12. Ιοντοεναλλαγή
13. Απολύμανση(χλωρίωση, υπεριώδης ακτινοβολία, οζόνωση)
14. Εξάτμιση



Εικόνα 1 Βασικά στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Πρωτοβάθμια Επεξεργασία

Κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων λαμβάνει χώρα η απομάκρυνση ογκωδών στερεών που επιτυγχάνεται με εσχάρωση της άμμου και των επιπλεόντων υλικών που επιτυγχάνεται με εξάμμιση, η αφαίρεση λιπών και ελαίων που επιτυγχάνεται με φυσικοχημική επεξεργασία (κροκίδωση και επίπλευση) και η απομάκρυνση ιλύος που επιτυγχάνεται με πρωτοβάθμια καθίζηση. Σημειώνεται ότι στην παρούσα μελέτη τα στάδια που συνήθως εντάσσονται στην προεπεξεργασία (εσχάρωση, εξάμμιση, λιποσυλλογή) έχουν ενταχθεί στην πρωτοβάθμια επεξεργασία.

Αναλυτικά, τα διάφορα στάδια επεξεργασίας για τη μείωση των ρυπαντικών φορτίων που εφαρμόζονται στα υγρά απόβλητα ανάλογα με τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά κατά σειρά προτεραιότητας είναι τα εξής:

- Εσχάρωση:** Επιτυγχάνει τη συγκράτηση ογκώδων αντικειμένων για να αποφευχθούν προβλήματα δυσλειτουργίας και να προστατευτούν ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας από μηχανικές εμφράξεις και φθορές. Διακρίνεται σε δυο είδη, την εσχάρωση αδρομερών που επιτυγχάνει συγκράτηση σχετικά ευμεγεθών στερεών με χρήση σταθερών εσχάρων τριών κατηγοριών (χονδρές, μεσαίες και λεπτές εσχάρες) και την εσχάρωση λεπτοφυών στερεών (κοσκίνισμα) που επιτυγχάνει συγκράτηση μικρότερων στερεών με χρήση κόσκινου μορφής κεκλιμένου δίσκου ή τυμπάνου το οποίο αποτελείται από ανοξείδωτο πλέγμα από σύρμα ή νήμα με ανοίγματα 0.23 mm -3.3 mm.
- Εξάμμωση:** Στοχεύει στη συγκράτηση παρασυρόμενων υλικών μεγάλου ειδικού βάρους διαμετρήματος (συνήθως πάνω από 0,15mm -0,2mm), κυρίως ανόργανων (χαλίκια, άμμος) για την προστασία των εγκαταστάσεων που ακολουθούν από μηχανικές φθορές (π.χ. φθορά αντλιών) ή εμφράξεις (π.χ. φθορά σωληνώσεων) και κυρίως την αποφυγή του συχνού καθαρισμού της δεξαμενής χώνευσης ύψους από αδρανή ιζήματα. Η διάταξη εξάμμωσης έχει τη μορφή της καθίζησης και λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο, όπως και η καθίζηση διακεκριμένων στερεών.
- Λιποσυλλογή:** Στην τεχνολογία καθαρισμού υγρών βιομηχανικών αποβλήτων, η ύπαρξη σταδίου λιποσυλλογής είναι απαραίτητη, στην περίπτωση ύπαρξης λιπαρών ή ελαιωδών προσμίξεων, για αποφυγή εμφράξεων του μηχανολογικού εξοπλισμού. Τα ελεύθερα και επιπλέοντα λιπαρά διαχωρίζονται από τα απόβλητα με διαύγαση βαρύτητας. Τα λιπαρά συστατικά που έχουν ειδικό βάρος μικρότερο από αυτό του νερού, επιπλέουν στην επιφάνεια του διαχωριστή, ξαφρίζονται με ξέστρο και οδηγούνται για περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση. Εάν τα λιπαρά συστατικά είναι υπό μορφή κολλοειδών, χρειάζεται ειδική επεξεργασία για να απελευθερωθούν από το κολλοειδές διάλυμα και να διαχωριστούν με βαρύτητα, χημική κροκίδωση ή επίπλευση με αέρα, με αποτέλεσμα τα εφαρμοζόμενα συστήματα να διαφέρουν ανά περίπτωση. Γενικότερα, ο λιποσυλλέκτης είναι ένας θάλαμος διαρρυθμισμένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η επιπλέουσα ύλη να παραμένει στην επιφάνεια των αποβλήτων έως ότου απομακρυνθεί, ενώ το υγρό να ρέει συνεχώς διαμέσου βαθιών στομιών εκροής. Αυτή η διεργασία μπορεί να λάβει χώρα σε ξεχωριστή δεξαμενή ή σε συνδυασμό με πρωτογενή καθίζηση, ανάλογα με τη φύση των αποβλήτων.

- **Εξισορρόπηση - Ομογενοποίηση:** Η εξισορρόπηση ροής, ομογενοποίηση παροχής υγρών βιομηχανικών αποβλήτων είναι αναγκαία προϋπόθεση για την αποδοτική λειτουργία των συστημάτων επεξεργασίας. Η εξισορρόπηση ροής μπορεί να αφορά σύνολο παροχών διαφορετικών παραγωγικών διαδικασιών ή επιλεγμένες ροές που προέρχονται από ορισμένα στάδια της ίδιας παραγωγικής διαδικασίας. Συνήθως πραγματοποιείται σε δεξαμενές κατάλληλου όγκου έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο απαραίτητος υδραυλικός χρόνος παραμονής (συνήθης χρόνος παραμονής 3–10 ώρες).
- **Κροκίδωση:** Σκοπός της κροκίδωσης είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών που δεν απομακρύνονται με απλή καθίζηση. Η διαδικασία σκοπεύει στη μείωση των ολικών στερεών (TS), στη βελτίωση της απόδοσης της πρωτοβάθμιας καθίζησης και στην απομάκρυνση του φωσφόρου. Η χημική επεξεργασία γίνεται με προσθήκη χημικών ουσιών στα απόβλητα, που προκαλούν συνένωση των αιωρούμενων και κολλοειδών στερεών και των λεπτομερών στερεών σε μεγαλύτερα που μπορούν να απομακρυνθούν εύκολα με καθίζηση, είτε στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης είτε σε ξεχωριστή δεξαμενή (ειδική για αυτό το σκοπό). Οι ουσίες που προστίθενται, για να διευκολύνουν την καταβύθιση των στερεών στα απόβλητα ονομάζονται κροκιδωτικά μέσα και τα συνηθέστερα από αυτά είναι το διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου Ca(OH)_2 , τα ανόργανα κροκιδωτικά αντιδραστήρια (όπως χλωριούχα, θειικά ή μικτά άλατα σιδήρου (Fe^{3+}) ή αργιλίου (Al^{3+}), το διάλυμα χλωριούχου πολυαργιλίου (PAC) και οι πολυηλεκτρολύτες (οργανικά κροκιδωτικά).
- **Καθίζηση:** Η καθίζηση είναι μια διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων που επιτυγχάνει αφαίρεση σωματιδίων ειδικού βάρους μεγαλύτερου του ειδικού βάρους του νερού και βασίζεται στο γεγονός ότι τα σωματίδια αυτά, εάν αφεθούν σε ηρεμία, θα αρχίσουν να καθιζάνουν λόγω βαρύτητας. Έτσι μετά από κάποιο χρόνο σχηματίζεται ίζημα (ιλύς) στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης, το οποίο αφαιρείται συνήθως με αντλία και συλλέγεται. Η αφαίρεση της ιλύος μπορεί να γίνει και με αντλία στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Η διαδικασία είναι αρκετά αποδοτική και η απομάκρυνση των σωματιδίων εξαρτάται από το χρόνο παραμονής. Η διεργασία μπορεί να είναι καθαρά φυσική (απλή καθίζηση) ή να συνοδεύεται από χρήση χημικών (προσθήκη κροκιδωτικών) για την κροκίδωση και συσσωμάτωση με στόχο την αποδοτικότερη και ταχύτερη καθίζηση. Ο σχεδιασμός

των δεξαμενών καθίζησης ποικίλει και διακρίνονται σε κυκλικές, ορθογωνικές, κυλινδρικές ή στατικές με κεκλιμένα επίπεδα ή ξέστρο ιλύος.

- **Επίπλευση:** Η επίπλευση επιτυγχάνει τον καθαρισμό των υγρών βιομηχανικών αποβλήτων από ελαιώδη συστατικά, ίνες και γενικά υλικά ελαφρύτερα του νερού, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις εφαρμόζεται για αιωρούμενα στερεά με βάρος μεγαλύτερο του 1,0 gr. Από τις μεθόδους επίπλευσης που αναπτύχθηκαν, πρακτική εφαρμογή στην τεχνολογία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων έχει η Επίπλευση με Διαλυμένο Αέρα (DAF, Dissolved Air Flotation). Το πλεονέκτημα της μεθόδου DAF είναι ότι επιτυγχάνει γρήγορη απομάκρυνση αιωρούμενων σωματίδιων μικρού ειδικού βάρους σε σχέση με την καθίζηση. Ειδικότερα, κατά την επίπλευση με διαλυμένο αέρα, μικρές φυσαλίδες αέρα εκλύονται από το υπό πίεση νερό λόγω πτώσης της πίεσης με αποτέλεσμα να προσκολλώνται στα συσσωματώματα της ιλύος. Τα συσσωματώματα «φυσαλίδα – στερεό» ανέρχονται στην επιφάνεια της δεξαμενής επίπλευσης όπου συμπυκνώνεται η ιλύς και στη συνέχεια απομακρύνεται.

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία αποβλέπει κυρίως στην επεξεργασία και απομάκρυνση της οργανικής ιλύος. Στα συστήματα βιολογικής επεξεργασίας, οι ρύποι βιοαποδομούνται με τη βοήθεια μικροοργανισμών, υπό κατάλληλες συνθήκες.

Τα συστήματα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας διακρίνονται σε αερόβια και αναερόβια, ανάλογα με το εάν η αποδόμηση γίνεται παρουσία ή απουσία οξυγόνου αντίστοιχα. Μετά την απαιτούμενη καλλιέργεια των μικροοργανισμών και της βιομάζας (ιλύς), γίνεται απομάκρυνση αυτών με καθίζηση. Ανάλογα με την τεχνολογία που εφαρμόζεται, η ποιότητα και η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος είναι διαφορετική. Για παράδειγμα η τεχνολογία παρατεταμένου αερισμού έχει χαμηλότερο συντελεστή παραγωγής ιλύος σε σχέση με τις άλλες αερόβιες επεξεργασίες και παράγει μικρότερη ποσότητα ιλύος, ενώ ο χαμηλότερος συντελεστής παραγωγής ιλύος από όλες τις βιολογικές επεξεργασίες απαντάται στην αναερόβια επεξεργασία.

- **Αερόβια Επεξεργασία:** Οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε κάθε αερόβιο βιολογικό καθαρισμό οδηγούν στη βιολογική σταθεροποίηση ή οξειδωση του οργανικού φορτίου των αποβλήτων. Οι μέθοδοι αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας συνοψίζονται ως εξής:

- Ενεργός ιλύς (activated sludge)
 - Βιολογικά φίλτρα (trickling filters)
 - Περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (rotating biological discs)
 - Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών (MBR)
- **Αναερόβια Επεξεργασία:** Κατά την αναερόβια επεξεργασία η αποδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται απουσία στοιχειακού οξυγόνου. Η κυριότερη εφαρμογή της επεξεργασίας αυτής γίνεται για να επιτευχθεί χώνευση της παραγόμενης από τα συστήματα καθίζησης ιλύος και για επεξεργασία ορισμένων πυκνών βιομηχανικών ή άλλων αποβλήτων σε αναερόβιες δεξαμενές. Η διαδικασία είναι βραδύρυθμη και ο χρόνος παραμονής κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 30 μέρες ή και περισσότερο.
 - **Καθίζηση:** Στις δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης γίνεται καθίζηση της ιλύος με τη μορφή βιοκροκίδων (λάσπης). Μέρος της ιλύος επανακυκλοφορείται στη δεξαμενή αερισμού για την ενίσχυση των μικροοργανισμών, ενώ το υπόλοιπο της ιλύος (δευτεροβάθμια ή βιολογική ιλύς) αφαιρείται ως περίσσεια.

Τριτοβάθμια Επεξεργασία

Η τριτοβάθμια επεξεργασία αποσκοπεί στην περαιτέρω αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου αλλά και χρώματος. Η τριτοβάθμια επεξεργασία περιλαμβάνει και την απολύμανση των επεξεργασμένων αποβλήτων με προσθήκη ισχυρών οξειδωτικών παραγόντων ή με υπεριώδη ακτινοβολία. Αναλυτικότερα η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει τις ακόλουθες μεθόδους:

- Διήθηση σε αμμόφιλτρα
- Προσρόφηση σε φίλτρα ενεργού άνθρακα:
- Αντίστροφη ώσμωση
- Ιοντοεναλλαγή
- Χλωρίωση
- Οζόνωση
- Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)
- Εξάτμιση



Εισροή - Εσχάρωση



Εξάμμωση - Λιποσυλλογή



Πρωτοβάθμια καθίζηση



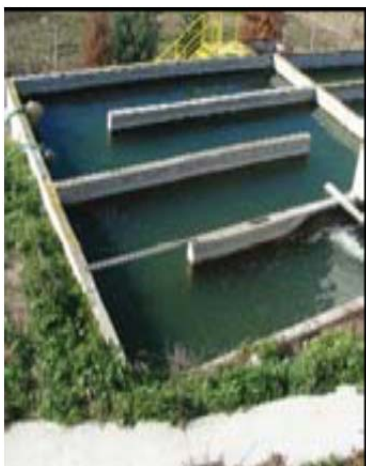
Βιολογικός αντιδραστήρας



Δευτεροβάθμια καθίζηση



Φίλτραση



Χλωρίωση



Απολύμανση

Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση σταδίων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

2.2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Ο στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των βασικών παραμέτρων και εννοιών, των βασικών διεργασιών ενός συστήματος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.(2)

2.2.1. Στερεά

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

Συνθετικές οργανικές ύλες (όπως πτητικές ενώσεις, όξινα, βασικά ή ουδέτερα μικροβιοκτόνα, και PCBs, χουμικά οξέα, θρεπτικές ύλες (ενώσεις αζώτου και φωσφόρου), χλωροφύλλες, υδρογονάνθρακες (π.χ. γλυκόζες, φρουκτόζες κ.λπ.), πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες, βιταμίνες, λιπαρά οξέα, ιοί, βακτήρια και φλόκοι βακτηρίων, άλγη, πρωτόζωα, οργανικά υπολείμματα (π.χ. Υπολείμματα τροφών, ανθρώπινης προέλευσης απόβλητα κ.λπ.

Η κατηγοριοποίηση των ολικών στερεών συνοψίζεται παρακάτω.

Κατηγοριοποίηση ολικών στερεών

Ολικά Στερεά (TS): η ποσότητα της ύλης που παραμένει ως υπόλειμμα μετά από διαδικασία εξάτμισης στους 103-105°C.

1. **Μη διηθούμενα - Αιωρούμενα (SS):** η ποσότητα των στερεών που παραμένουν σε φίλτρο με μέγεθος πόρων της τάξης των 1,2 μm.
 - **Καθιζάνοντα (Settleable):**Καθιζάνουν σε κώνο Imhoff σε διάρκεια 60 λεπτών.
 - **Μη Καθιζάνοντα (Non settleable):**Δεν καθιζάνουν σε κώνο Imhoff σε διάρκεια 60 λεπτών.
2. **Διηθούμενα (FS):** Η ποσότητα των στερεών που διέρχονται από φίλτρο με μέγεθος πόρων της τάξης των 1,2 μm.
 - **Κολλοειδή (Colloidal) μέγεθος 0,001 - 1μm:** Για την απομάκρυνσή τους απαιτείται να προηγηθεί βιολογική οξείδωση ή διεργασία θρόμβωσης (coagulation).

- **Διαλυμένα (Dissolved) μέγεθος < 0,001 μm:** Οργανικά και ανόργανα μόρια και ιόντα διαλυμένα 550 ± 50oC

3. Πτητικά (Volatile): Το οργανικό περιεχόμενο που διαφεύγει ως αέριο

4. Μη Πτητικά (Fixed): Το ανόργανο περιεχόμενο που παραμένει ως στάχτη

Στερεά ανάμικτου υγρού: Κατά τον ίδιο τρόπο κατηγοριοποίησης με τα ολικά στερεά, πραγματοποιείται κατηγοριοποίηση και των στερεών που περιέχονται στο ανάμικτο υγρό, οπότε και δημιουργούνται παράμετροι παρακολούθησης της βιολογικής διεργασίας. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες παράμετροι, που αφορούν σε αυτήν την κατηγορία είναι:

Αιωρούμενα Στερεά Ανάμικτου Υγρού (Mixed Liquor Suspended Solids - MLSS), τα οποία αποτελούν τη συγκέντρωση (mg/L) των αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό.

Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά Ανάμικτου Υγρού (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids – MLVSS), τα οποία αποτελούν το οργανικό κλάσμα των αιωρούμενων στερεών του ανάμικτου υγρού, το οποίο όπως σημειώθηκε και προηγουμένως, αποτελείται από στερεά τα οποία διαφεύγουν ως αέρια σε θερμοκρασίες της τάξης των 550oC.

2.2.2. Απαίτηση οξυγόνου για την επεξεργασία των λυμάτων

BOD (Βιολογικός απαιτούμενο οξυγόνο - Biological Oxygen Demand)

Η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς, για να πραγματοποιηθεί η βιολογική οξείδωση (ή «μεταβολισμός») της εισερχόμενης ρυπαντικής ύλης.

CBOD (οργανικό BOD - carbonaceous BOD)

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για το μεταβολισμό του οργανικού ρυπαντικού φορτίου.

NBOD (αζωτούχο BOD - nitrogenous BOD)

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους νιτροποιητικούς μικροοργανισμούς για το μεταβολισμό του αζωτούχου ρυπαντικού φορτίου.

TBOD (ολικό BOD - total BOD)

Το ολικό οξυγόνο που απαιτείται για τη μείωση του οργανικού και αζωτούχου ρυπαντικού φορτίου COD(Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο- Chemical Oxygen Demand)

COD (Χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο- Chemical Oxygen Demand)

Η απαραίτητη ποσότητα οξυγόνου για τη χημική οξείδωση της εισερχόμενης οργανικής ύλης.

BOD/COD

Ο λόγος BOD/COD είναι πάντα μικρότερος από τη μονάδα και όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι τόσο βιοααποδομήσιμα είναι τα απόβλητα.

Η τιμή του COD είναι υψηλότερη από την τιμή του BOD, αφού περισσότερες ουσίες μπορούν να οξειδωθούν χημικά, παρά βιολογικά.

Για την τυπική περίπτωση των ανεπεξέργαστων οικιακών λυμάτων η σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων BOD₅/COD ποικίλλει μεταξύ των τιμών 0,4 - 0,8.

Πίνακας 1:Συσχέτιση του λόγου BOD/COD με το είδος του υγρού

Είδος υγρού	BOD/COD αποβλήτου
Ανεπεξέργαστα	0,3-0,8
Μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία	0,4-0,6
Τελική εκροή	0,1-0,3

2.2.3. Σύνολο Διαλυτού Αζώτου

Το άζωτο περιέχεται στα λύματα σε μια ποικιλία μορφών, από την αμμωνία έως την πιο οξειδωμένη μορφή του, που είναι τα νιτρικά ιόντα. Το επίπεδο των συγκεντρώσεων κάθε μορφής, εξαρτάται κυρίως από το pH και τη θερμοκρασία (αυξημένο pH και T, ευνοούν τη δημιουργία μοριακής αμμωνίας). Η μοριακή μορφή της αμμωνίας αποτελεί ουσιαστικά την τοξική της μορφή.

Το άζωτο διακρίνεται σε οργανικό (σύνθετα μόρια, όπως αμινοξέα, πρωτεΐνες, νουκλεοτίδια και ουρία) και ανόργανο.

Ο συνδυασμός της αμμωνίας (η οποία ανήκει στην κατηγορία του ανόργανου αζώτου) με το σύνολο του οργανικού αζώτου αποτελεί το συνολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN).

Εισερχόμενα λύματα: Η μορφή του αζώτου που κυριαρχεί είναι το αμμωνιακό άζωτο (NH_4^+) σε ποσοστό 60-65%, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αποτελείται κυρίως από οργανικό άζωτο, σε επίπεδα της τάξης του 40%. Η ποσότητα του αζώτου στη μορφή των νιτρικών και νιτρικών ιόντων, στα εισερχόμενα στην εγκατάσταση λύματα είναι εξαιρετικά μικρή, οπότε και η εύρεση του TKN είναι συνήθως ενδεικτική του συνολικού αζώτου για τα αστικά λύματα.

2.3. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΥΡΙΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Οι λειτουργικές παράμετροι έχουν άμεση σχέση με την αποτύπωση της ποιότητας λειτουργίας μιας μονάδας επεξεργασίας, οπότε και είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην πρόβλεψη και αντιμετώπιση ενδεχόμενων προβλημάτων.

2.3.1. Χρόνος παραμονής

MCRT - Mean Cell Residence Time ή SRT - Solids Residence Time ή Θ_c

$$\text{MCRT} = \left(M_{\text{στερεών στο σύστημα επεξεργασίας}} [\text{kg}] \right) / \left(M_{\text{στερεών που απομακρύνονται από το σύστημα}} [\text{kg/d}] \right)$$

Εκφράζεται ως η μάζα των στερεών που παραμένουν στο σύστημα επεξεργασίας, προς τη μάζα των στερεών που απομακρύνονται από το σύστημα επεξεργασίας ημερησίως. Η μονάδα μέτρησης είναι χρόνος, συνήθως ημέρες (d).

2.3.2. Τροφή: Μικροοργανισμοί (F:M)

$$F: M = \text{BOD} [\text{kg/d}] : \text{MLVSS} [\text{kg}]$$

Μέσω του λόγου αυτού επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της βέλτιστης ποσότητας μικροοργανισμών που απαιτείται (MLVSS-οργανικό κλάσμα στερεών στο ανάμικτο υγρό) για την απομάκρυνση του BOD (οργανικό ρυπαντικό φορτίο) από τα εισερχόμενα λύματα.

Η μονάδα μέτρησης είναι d^{-1} . Η παράμετρος F αποτελεί την τροφή (ρυπαντικό φορτίο εισερχομένων λυμάτων) που διατίθεται στους αναπτυσσόμενους μικροοργανισμούς και εκφράζεται ουσιαστικά μέσω της μέτρησης του BOD. Η παράμετρος M αποτελεί την

ποσότητα των μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο σύστημα με σκοπό την αφομοίωση της τροφής.

Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι κύριες βιολογικές διεργασίες, που μπορούν να λάβουν χώρα σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος, σε συνδυασμό πάντα με το σχεδιασμό του συστήματος.

2.3.3. Βιολογική απομάκρυνση οργανικού φορτίου

Αερόβια, βιολογική διεργασία κατά την οποία παρατηρείται ανάπτυξη μικροοργανισμών σε αιώρημα. Μέσω του φυσικού μεταβολισμού των μικροοργανισμών, επιτυγχάνεται αφομοίωση (assimilation) της οργανικής ύλης (COHNS – διαλυμένα και κολλοειδή οργανικά καθώς και οργανικά στη μορφή σωματιδίων) με στόχο την αναπαραγωγή τους. Συνοπτικά η διεργασία αποτυπώνεται ως εξής:

(1) Οργανικά (COHNS) + θρεπτικά + μικροοργανισμοί + O₂ + αδρανής ύλη →

CO₂ + NH₃ + νέοι μικροοργανισμοί (C₅H₇NO₂) + επιπλέον αδρανής ύλη

(2) Νέοι μικροοργανισμοί (C₅H₇NO₂) + 5 O₂ → 5CO₂ + 2H₂O + NH₃ + Ενέργεια

2.3.4. Βιολογική απομάκρυνση αζώτου

Πραγματοποιείται μέσω των διεργασιών της νιτροποίησης και απονιτροποίησης, μέσω συγκεκριμένων βακτηριδίων.

Νιτροποίηση: NH₄⁺ + 1,5 O₂ → NO₂⁻ + H₂O + 2H⁺ (μέσω των Nitrosomonas)

NO₂⁻ + 0,5 O₂ → NO₃⁻ (μέσω των Nitrobacter)

Συνθήκες οξειδωτικές: παρουσία διαλυμένου οξυγόνου

Πηγή οξυγόνου: διαλυμένο οξυγόνο λυμάτων

Πηγή άνθρακα: CO₂ των εισερχομένων αποβλήτων (αυτότροφα βακτήρια)

Απονιτροποίηση : NO₃⁻ + 6 H⁺ → 0,5N₂ + 3H₂O

Συνθήκες ανοξικές: απουσία διαλυμένου οξυγόνου

Πηγή οξυγόνου: νιτρώδη (NO₂⁻) και νιτρικά (NO₃⁻) ιόντα

Πηγή άνθρακα: οργανικές ενώσεις λυμάτων (ετερότροφα βακτήρια)

Συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις:

Χωριστές δεξαμενές νιτροποίησης - απονιτροποίησης

Η ανοξική δεξαμενή προηγείται της δεξαμενής αερισμού γιατί:

- Χρησιμοποιείται το οργανικό υπόστρωμα που περιέχεται στα εισερχόμενα λύματα, το οποίο αποτελεί την τροφή των ετερότροφων βακτηριδίων που αναπτύσσονται στις ανοξικές συνθήκες.
- Τα νιτρικά ιόντα που περιέχονται στη γραμμή ανακυκλοφορίας RAS, αναμιγνύονται με τα εισερχόμενα λύματα και ανάγονται σε άζωτο στην ανοξική δεξαμενή. Με αυτόν τον τρόπο, η συνολική απόδοση που αφορά στην απομάκρυνση του αζώτου από το σύστημα, εξαρτάται πλήρως από την ποσότητα των νιτρικών ιόντων στη γραμμή RAS. Για να αποφευχθεί αυτός ο περιορισμός, προστίθεται και μια εσωτερική γραμμή ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού από τη δεξαμενή αερισμού, προς την είσοδο της ανοξικής δεξαμενής.

Οξειδωτική τάφρος

Αναπτύσσονται συγκεκριμένες ζώνες ανοξικές και συγκεκριμένες αερόβιες, οπότε και δεν απαιτείται εσωτερική ανακυκλοφορία.

2.3.5. Βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου

Στηρίζεται στην ανάπτυξη και λειτουργία συγκεκριμένων μικροοργανισμών, των PAO (Phosphate Accumulating Organisms).

Αναερόβιες συνθήκες:

Δράση: Μετατροπή της άμεσα διαθέσιμης οργανικής ύλης σε πολυμερή και αποθήκευσή τους ως πηγή ενέργειας.

Λήψη Ενέργειας για τη δράση: Μέσω της αποσύνθεσης των πολυφωσφορικών μορίων και της αποσύνθεσης των γλυκογόνων ουσιών.

Επισήμανση: Παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των λυμάτων σε φωσφορικά ιόντα (λόγω της αποσύνθεσης των πολυφωσφορικών οξέων). Επίσης σε αυτό το στάδιο, εκλύονται ιόντα μαγνησίου και καλίου.

Αερόβιες ή ανοξικές συνθήκες:

Δράση: Οι ΡΑΟ, οξειδώνουν τις αποθηκευμένες πολυμερείς ενώσεις για την πρόσληψη ενέργειας με σκοπό την ανάπτυξη και συντήρησή τους και ανανέωση της αποθήκης των γλυκογόνων ουσιών.

Λήψη Ενέργειας: Μέσω της πρόσληψης των φωσφορικών ιόντων που είχαν εκλυθεί κατά το πρώτο στάδιο (απαραίτητη η παρουσία ιόντων καλίου και μαγνησίου για επίτευξη της πρόσληψης).

Επισήμανση: Η εκροή από τους αντιδραστήρες της συγκεκριμένης διεργασίας περιέχει πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου, αφού η μεγαλύτερη ποσότητά του είναι πλέον αποθηκευμένη στη βιομάζα. Επίσης εφαρμόζεται εσωτερική ανακυκλοφορία προς τη δεξαμενή αναερόβιων συνθηκών, για την ανανέωσή της σε γλυκογόνες ουσίες.

2.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ

Στην παρούσα ενότητα αναλύεται περαιτέρω η επεξεργασία υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος η οποία εφαρμόζεται στην υπό μελέτη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων.

Η ενεργός ιλύς μπορεί να οριστεί ως αιώρημα από συσσωματωμένες κροκίδες μικροοργανισμών, νερό, αδρανή στερεά, βιοδιασπάσιμα και μη βιοδιασπάσιμα, διαλυμένα, αιωρούμενα και κολλοειδή συστατικά. Το οργανικό αυτό τμήμα, μπορεί να παρασταθεί με τον τύπο $C_5H_7NO_2$. Επίσης, αποτελείται από ανόργανα στερεά όπως Κ (κάλιο), Να (νάτριο), Mg (μαγνήσιο), S (θείο), Ca (ασβέστιο), Fe (σίδηρο) και άλλα ιχνοστοιχεία.

Ο πρωταρχικός στόχος ενός συστήματος ενεργού ιλύος είναι η διάσπαση και στη συνέχεια η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των λυμάτων με μηχανισμούς βιολογικής οξειδωσης και σύνθεσης, ενώ στην απομάκρυνση τόσο των οργανικών (βιοδιασπάσιμων και μη) όσο και των ανόργανων ουσιών, συμβάλλουν και οι μηχανισμοί βιοπροσρόφησης. Στις διάφορες παραλλαγές του, το σύστημα ενεργού ιλύος έχει τη δυνατότητα για σχεδόν πλήρη βιολογική απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών των λυμάτων, δηλαδή του αζώτου και του φωσφόρου καθώς και για τη παραγωγή σταθεροποιημένης ιλύος. Η βασική διάταξη σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος (Σχήμα 2) περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

(1). Έναν αντιδραστήρα μέσα στον οποίο οι μικροοργανισμοί οι οποίοι βρίσκονται σε αιώρηση διασπών τα λύματα (οξειδώνουν την οργανική ύλη) παρουσία οξυγόνου

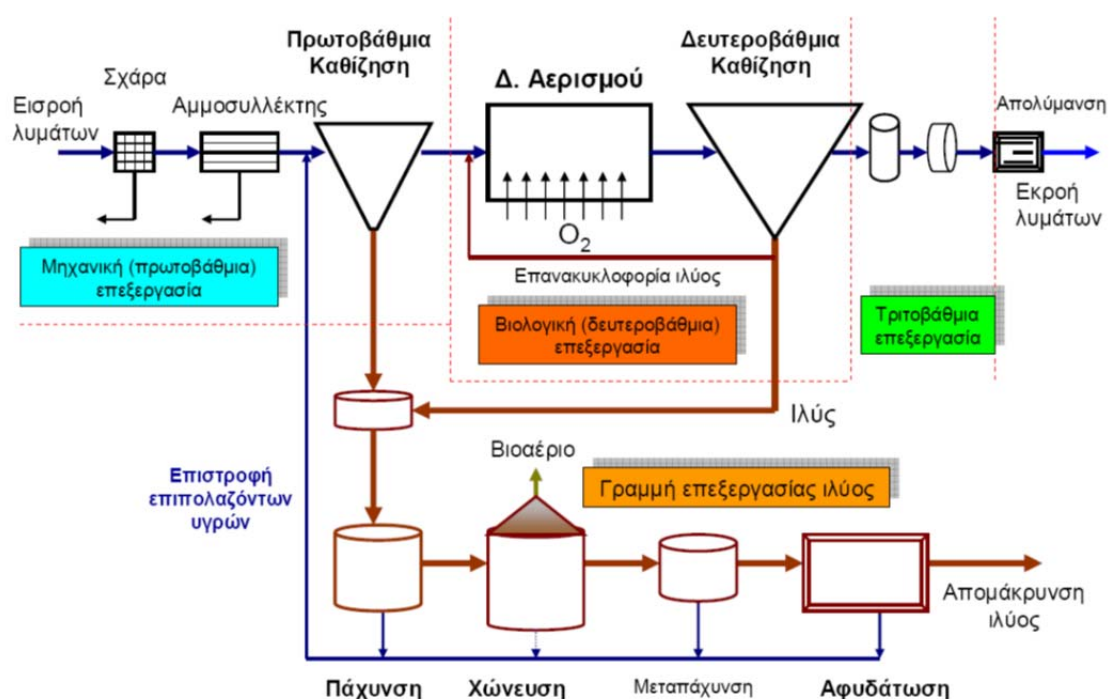
(2). Μία δεξαμενή διαχωρισμού των υγρών από τα στερεά (δεξαμενή καθίζησης)

(3). Ένα σύστημα επανακυκλοφορίας των αφαιρούμενων με την προηγούμενη δεξαμενή, στερεών στον αντιδραστήρα. Καθοριστική διεργασία στο σύστημα ενεργού ιλύος αποτελεί η απομάκρυνση από τα λύματα των οργανικών ουσιών, η οποία επιτελείται με τον ακόλουθο τρόπο:

Τα λύματα έρχονται σε επαφή με ένα μίγμα μικροοργανισμών (βιομάζα), που βρίσκεται με τη μορφή αιωρούμενων συσσωματωμάτων (βιοκροκίδων), σε μια αεριζόμενη δεξαμενή και σε καθεστώς πλήρους μίξης. Τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά απομακρύνονται ταχύτατα από την υγρή φάση καθώς προσροφώνται και συσσωματώνονται με τους αιωρούμενους μικροοργανισμούς. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια εξωκυτταρικών υδρολυτικών ενζύμων, τα βιοδιασπάσιμα οργανικά στερεά διασπώνται σε απλές

διαλυμένες οργανικές ενώσεις, οι οποίες μαζί με τις αρχικές διαλυμένες οργανικές ουσίες των λυμάτων διαπερνούν τη περικυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών και αφού βρεθούν στο εσωτερικό των κυττάρων, γίνονται διαθέσιμες για τις διαδικασίες του μεταβολισμού.

Κατά τον αερόβιο μεταβολισμό ένα ποσοστό των οργανικών αυτών ουσιών διασπάται βιοχημικά σε ανόργανες ενώσεις και η ενέργεια που εκλύεται κατά τις αντιδράσεις αυτές χρησιμοποιείται από τους οργανισμούς για τις ανάγκες τους και κυρίως για τη σύνθεση νέου πρωτοπλάσματος. Κατά τη σύνθεση, οι οργανισμοί στην ουσία «μετατρέπουν» τις νεκρές οργανικές ουσίες σε ζωντανή οργανική ύλη.



Σχήμα 2: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων με τη μέθοδο της ενεργού ιλύος

ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΙΛΥΟΣ (RAS – RETURN ACTIVATED SLUDGE)

Αποτελεί ενεργό ιλύ η οποία προέρχεται από τον πυθμένα της δεξαμενής Β΄ βάθμιας καθίζησης και ανακυκλοφορεί στην είσοδο της δεξαμενής του βιολογικού αντιδραστήρα. Η δυναμικότητά της ποικίλει σε ποσοστό 50-100% της παροχής των λυμάτων για τις μεγάλες εγκαταστάσεις και σε ποσοστά μέχρι 150% για τις μικρές εγκαταστάσεις. Το σύστημα της ενεργού ιλύος (Activated Sludge) αποτελεί το δημοφιλέστερο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων. Οι πρώτες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δημιουργήθηκαν στις

αρχές της δεκαετίας του 1930 από τους Arden και Lockett. Ωστόσο το σύστημα άρχισε να λειτουργεί ευρέως μετά το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου.

ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ ΙΛΥΟΣ (WAS – WASTE ACTIVATED SLUDGE)

Απομάκρυνση ιλύος από τον πυθμένα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης (συνηθέστερη πρακτική, λόγω αυξημένης συγκέντρωσης στερεών οπότε και χρησιμοποιούνται αντλίες μικρότερης δυναμικότητας), είτε από τη δεξαμενή αερισμού. Σκοπός είναι η διατήρηση της επιθυμητής συγκέντρωσης ενεργού ιλύος (MLSS) στη δεξαμενή αερισμού, σε συνδυασμό με την ανακυκλοφορία της ιλύος. Η περίσσεια ιλύος διοχετεύεται είτε στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (αν υπάρχουν) είτε στη μονάδα επεξεργασίας της περίσσειας ιλύος.

2.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ (MBR)

Στην παρούσα ενότητα αναλύεται περαιτέρω η επεξεργασία υγρών αποβλήτων με το Σύστημα Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραματικών κύκλων στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας.

2.5.1. Αρχή λειτουργίας Συστήματος Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών

Μια μεμβράνη αποτελεί ένα φράγμα που επιτρέπει διαμέσου των πόρων της τη διέλευση ορισμένων συστατικών του τροφοδοτούμενου ρεύματος, ενώ από την άλλη κατακρατεί άλλα συστατικά της τροφοδοσίας. Το φράγμα αυτό είναι συνήθως ένα λεπτό πολυμερές υλικό, αλλά μπορεί να είναι και από μεταλλικό ή κεραμικό υλικό. Το ρεύμα της τροφοδοσίας που διαπερνάει τη μεμβράνη ονομάζεται διήθημα, ενώ το ρεύμα που κατακρατείται από αυτήν ονομάζεται συμπύκνωμα.

Οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες σε ένα κλειστό κυλινδρικό δοχείο και σχηματίζουν τη λεγόμενη μονάδα (module) στην οποία γίνεται η διεργασία.

Στην μεμβράνη εφαρμόζεται διαφορά πίεσης που δίνει την ώθηση (driving force), ώστε να υπάρξει ροή διαμέσου της μεμβράνης. Με αυτόν τον τρόπο διαχωρίζεται η τροφοδοσία στο διήθημα και στο συμπύκνωμα.

Η αρχή λειτουργίας ενός κλασικού συστήματος MBR διέπεται από τα εξής τρία στάδια:

1^ο στάδιο: Η βιολογική επεξεργασία των λυμάτων λαμβάνει χώρα κανονικά στους αντιδραστήρες και το ανάμικτο υγρό διηθείται ώστε να διαχωριστεί η τελική εκροή των λυμάτων από την ιλύ.

2^ο στάδιο: Η διήθηση πραγματοποιείται είτε με την εφαρμογή πίεσης στο ανάμικτο υγρό του αντιδραστήρα είτε με την εφαρμογή χαμηλής πίεσης στο διήθημα, ώστε το διήθημα να περάσει μέσα από τη μεμβράνη ενώ τα στερεά να κατακρατηθούν από τις μεμβράνες.

3^ο στάδιο: Η κατακράτηση των σωματιδίων από τις μεμβράνες οφείλεται αποκλειστικά στο μεγαλύτερο μέγεθος των σωματιδίων σε σχέση με τους πόρους της μεμβράνης. Το μεγαλύτερο πρόβλημα του συστήματος αποτελεί η έμφραξη των πόρων των μεμβρανών η οποία προκαλείται από την επικάθιση ουσιών στη μεμβράνη. Γενικά, πέρα από τις διεργασίες καθαρισμού, η σωστή λειτουργία του όλου συστήματος μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό της έμφραξης.

Τα συστήματα MBR που επιτελούν διαχωρισμό των στερεών από το υγρό διακρίνονται σε 3 συστήματα ανάλογα με το είδος της διάταξης (3):

1. στα εξωτερικά συστήματα MBR (External Cross-Flow MBR),
2. στα εσωτερικά εμβυθιζόμενα συστήματα MBR (Internally Submerged MBR)
3. στα εξωτερικά εμβυθιζόμενα συστήματα MBR (Internally Submerged MBR)

Στα **εξωτερικά συστήματα** οι μονάδες των μεμβρανών είναι τοποθετημένες έξω από τους βιολογικούς αντιδραστήρες. Οι βιολογικές διεργασίες πραγματοποιούνται κανονικά στους αντιδραστήρες και η βιομάζα(ενεργός λάσπη) τροφοδοτείται μετά υπό πίεση σε ένα κύκλωμα ανακυκλοφορίας μέσα στο οποίο περιέχονται οι μονάδες των μεμβρανών και στο οποίο επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των στερεών από το υγρό. Εκεί είναι που λαμβάνει χώρα η διεργασία του διαχωρισμού των υγρών από τα στερεά. Το διήθημα αφαιρείται και αποτελεί την τελική εκροή, το μεγαλύτερο μέρος του συμπυκνώματος επανακυκλοφορείται στον αντιδραστήρα, ενώ ένα μικρό μέρος του αφαιρείται ως περίσσεια ιλύος.

Στα **εσωτερικά εμβυθιζόμενα συστήματα**, η μεμβράνη είναι βυθισμένη μέσα στον αερόβιο αντιδραστήρα. Η διήθηση πραγματοποιείται ταυτόχρονα με τις βιολογικές διεργασίες, ενώ δεν υπάρχει κύκλωμα ανακυκλοφορίας, του συμπυκνώματος όπως ισχύει στα εξωτερικά συστήματα καθώς η διήθηση λαμβάνει χώρα μέσα στον αντιδραστήρα .

Το **εξωτερικά εμβυθιζόμενο** σύστημα αποτελεί μια παραλλαγή των δύο άλλων διατάξεων καθώς οι μεμβράνες βυθίζονται σε μία ανεξάρτητη δεξαμενή, η οποία τοποθετείται μετά τους βιολογικούς αντιδραστήρες. Το διήθημα αφαιρείται από αυτή τη δεξαμενή, ενώ μέρος της βιομάζας επανακυκλοφορείται από τη δεξαμενή της διήθησης στη δεξαμενή αερισμού.

Υπάρχουν τέσσερα είδη ροής στις διεργασίες των μεμβρανών

1. Η Σταυρωτή ροή διήθησης (cross-flow filtration), στην οποία το τροφοδοτούμενο ρεύμα κινείται εφαπτομενικά της επιφάνειας της μεμβράνης. Μέρος του τροφοδοτούμενου ρεύματος διεισδύει στο εσωτερικό της μεμβράνης με αποτέλεσμα η ροή του διηθήματος να πραγματοποιείται κάθετα σε σχέση με την κίνηση του τροφοδοτούμενου ρεύματος
2. Η Κάθετη ροή διήθησης (dead end filtration), στην οποία το τροφοδοτούμενο ρεύμα κινείται κάθετα στην επιφάνεια της μεμβράνης
3. Η Συντρέχουσα ροή διήθησης (concurrent flow), κατά την οποία η ροή τροφοδότησης και η ροή του διηθήματος έχουν την ίδια διεύθυνση
4. Η Αντίθετη ροή διήθησης (counter current flow), κατά την οποία η ροή τροφοδότησης έχει αντίθετη κατεύθυνση από τη ροή διήθησης

Οι τιμές των ογκομετρικών παροχών σε αρκετές περιπτώσεις δεν διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες του συστήματος βιολογικής επεξεργασίας παρατεταμένου αερισμού, όμως οι αποδόσεις στην απομάκρυνση του COD είναι πολύ καλύτερες για τις ίδιες φορτίσεις στο MBR, καθώς στα σύστημα μιας τυπικής ΜΕΛ δεν ξεπερνούν το 80 με 85% .(4)

Το σύστημα MBR χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλούς χρόνους παραμονής της υλός οι οποίοι μπορούν να συνδυασθούν με χαμηλούς υδραυλικούς χρόνους και να επιτύχουν πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης της οργανικής ύλης (5). Ο συνδυασμός αυτός είναι δυνατός, γιατί ο χρόνος παραμονής των στερεών είναι τελείως ανεξάρτητος από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής, καθώς οι μεμβράνες δεν επιτρέπουν το πρόωρο ξέπλυμα των αιωρούμενων στερεών. Η επιλογή του χρόνου παραμονής των στερεών στον οποίο θα λειτουργεί το σύστημα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συγκέντρωση ολικών και πτητικών στερεών στον αντιδραστήρα, την ποσότητα υλός που αφαιρείται από το σύστημα και το μέγεθος των βιοκροκίδων.

Στις περισσότερες εφαρμογές τα MBR λειτουργούν με χρόνους παραμονής των στερεών μεγαλύτερους από 20 ημέρες (6) με πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης του COD (>95%).

Οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής πλεονεκτούν γιατί επιτρέπουν τη διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων στερεών στο βιολογικό αντιδραστήρα με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ολικές απαιτήσεις της δεξαμενής αερισμού σε όγκο, το οποίο μεταφράζεται σε μικρότερο κατασκευαστικό κόστος της ΜΕΛ. Επιπλέον, οι υψηλοί χρόνοι παραμονής αφενός παρέχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε μικροοργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσονται αργά, όπως είναι οι νιτροποιητές, ενώ αφετέρου αυξάνεται η ικανότητα του συστήματος να διασπά δύσκολα βιοδιασπάσιμες οργανικές ενώσεις.

Σημαντικό είναι να σημειωθεί το γεγονός ότι με τη χρήση μεμβρανών αποτρέπονται προβλήματα που μπορεί να εμφανίζονται στο στάδιο της τελικής καθίζησης λόγω της ύπαρξης νηματοειδών οργανισμών ή παρουσία ενώσεων που δεν επιτρέπουν την καθίζηση.

Η λειτουργία του MBR σε υψηλές συγκεντρώσεις ανάμεικτου υγρού είναι πλεονεκτική γιατί μειώνονται οι ολικές απαιτήσεις των δεξαμενών σε όγκο με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η συνολική έκταση της ΜΕΛ. Αυτό επιφέρει μειώσεις στο συνολικό κατασκευαστικό κόστος της ΜΕΛ. Αντίθετα, σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις MLSS αυξάνεται το ενεργειακό κόστος και το κόστος καθαρισμού. Για το λόγο αυτό οι προτεινόμενες συγκεντρώσεις λειτουργίας είναι από 6.000 έως 15.000 mg/l (6). Στα εμπορικά MBR, η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση του ανάμεικτου υγρού δεν ξεπερνάει τα 20.000mg/l.

2.5.2. Λειτουργικές παράμετροι συστημάτων MBR

Οι λειτουργικές παράμετροι των συστημάτων MBR διακρίνονται:

- στις παραμέτρους που σχετίζονται με τις βιολογικές διεργασίες
- στις παραμέτρους που σχετίζονται με τη διεργασία της διήθησης

Οι βασικές λειτουργικές παράμετροι των μεμβρανών είναι η ροή του υγρού που διέρχεται μέσα από τη μεμβράνη και η διαφορά πίεσης που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο άκρων της μεμβράνης. Η ροή ορίζεται από την ποσότητα υγρού που διαπερνάει τη μεμβράνη ανά μονάδα επιφάνειας ανά μονάδα χρόνου (3).

$$J = J_p / A$$

όπου:

$$J \text{ (1/m}^2 \times \text{h)} = \text{Ροή Διηθήματος (Flux)}$$

J_p (1/h) = Παροχή Διηθήματος (Permeate Flow)

A (m²) = Επιφάνεια Μεμβράνης

Η ροή του υγρού διαμέσου της μεμβράνης αποτελεί τη μέση ταχύτητα του υγρού μέσα από τους πόρους της μεμβράνης. Παρότι αποτελεί ταχύτητα (μm/s), στην πράξη αναφέρεται σχεδόν πάντα ως όγκος υγρού ανά επιφάνεια, ανά μονάδα χρόνου(7). Η ροή του διηθήματος J αποτελεί τη βάση για το σχεδιασμό των συστημάτων με μεμβράνες, και είναι ανάλογη με το υδραυλικό φορτίο σε ένα συμβατικό φίλτρο. Μια αύξηση της ροής μειώνει την απαιτούμενη επιφάνεια της μεμβράνης για την παραγωγή συγκεκριμένης ποσότητας διηθήματος σε δεδομένο χρόνο. Βέβαια υπάρχουν και άλλες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν την όλη διεργασία όπως η πίεση λειτουργίας των μεμβρανών, η θερμοκρασία, η ποιότητα του τροφοδοτούμενου ρεύματος νερού, ο βαθμός έμφραξης και το είδος των μεμβρανών, η συχνότητα και η αποτελεσματικότητα του καθαρισμού των μεμβρανών (8). Η διαφορά πίεσης ΔP (transmembrane pressure) ανάμεσα στα δύο άκρα της μεμβράνης αποτελεί το μηχανισμό με τον οποίο επιτυγχάνεται η διεργασία της διήθησης. Γενικά η διαφορά πίεσης καθορίζεται από τη διαφορά της μέσης πίεσης στο υπό αιώρηση υγρό μείον την πίεση στο διήθημα. Η μέση πίεση στο αιωρούμενο υγρό δίνεται από το μέσο όρο της πίεσης του τροφοδοτούμενου υγρού και του συμπυκνωμένου (απορριπτόμενου) υγρού. Επομένως η πτώση πίεσης στη μεμβράνη δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση(9):

$$\Delta P = [(P_f + P_c) / 2] - P_p$$

P_f (bar) = Πίεση τροφοδοτούμενου ρεύματος

P_c (bar) = Πίεση Συμπυκνώματος

P_p (bar) = Πίεση Διηθήματος

Η ροή του διηθήματος συνδέεται με την πίεση που αναπτύσσεται μέσα στη μεμβράνη από τον ακόλουθο τύπο:

$$J = \Delta P / (\mu R_t)$$

ΔP (bar) = Διαφορά πίεσης που αναπτύσσεται διαμέσου της μεμβράνης

μ (N*sec/m²) = Ιξώδες Υγρού

R_t (m⁻¹) = Ολική Αντίσταση

- Βιολογικές παράμετροι

Οι βιολογικές παράμετροι των συστημάτων MBR σχετίζονται με αυτές του κλασικού συστήματος της Ενεργού Ιλύος, όπως:

- η οργανική φόρτιση
- ο χρόνος παραμονής της ιλύος, θ_c
- ο υδραυλικός χρόνος παραμονής
- η συγκέντρωση του ανάμεικτου υγρού.

Ένα από τα πιο γνωστά κριτήρια σχεδιασμού αποτελεί η οργανική φόρτιση που ορίζεται ως ο λόγος της τροφής που παρέχεται στο σύστημα προς τους μικροοργανισμούς που αναπτύσσονται σε αυτό (λόγος F/M). Η λειτουργία των συστημάτων MBR συνήθως χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές τιμές οργανικής φόρτισης ($F/M < 0,4$). Αυτό οφείλεται στο ότι τα MBR συνήθως λειτουργούν σε υψηλές συγκεντρώσεις ανάμεικτου υγρού στον αντιδραστήρα ($MLSS > 4.000 \text{mg/l}$).

Το σύστημα MBR διακρίνεται για τους πολύ υψηλούς χρόνους παραμονής της ιλύος θ_c , οι οποίοι σε συνδυασμό με τους χαμηλούς υδραυλικούς χρόνους μπορούν να επιτύχουν πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης της οργανικής ύλης (5). Ο συνδυασμός αυτός είναι δυνατός γιατί ο χρόνος παραμονής των στερεών είναι τελείως ανεξάρτητος από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής, καθώς οι μεμβράνες δεν επιτρέπουν το πρόωρο ξέπλυμα των αιωρούμενων στερεών. Η συγκέντρωση των ολικών και πτητικών στερεών στον αντιδραστήρα καθώς και η ποσότητα ιλύος που αφαιρείται από το σύστημα και το μέγεθος των βιοκροκίδων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την επιλογή του χρόνου παραμονής των στερεών στο οποίο θα λειτουργήσει το σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, η αυξημένη ηλικία της λάσπης έχει ως αποτέλεσμα η ποσότητα της περίσσειας ιλύος να είναι μειωμένη και το μέγεθος των βιοκροκίδων μικρότερο σε σύγκριση με αυτό που παρατηρείται σε μικρότερους χρόνους παραμονής, οι οποίοι είναι χαρακτηριστικοί των συμβατικών συστημάτων της EI (10). Συνήθως τα MBR λειτουργούν με χρόνους παραμονής των στερεών μεγαλύτερους από 20 ημέρες (6) με πολύ υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης του COD (>95%). Οι μεγάλοι χρόνοι παραμονής πλεονεκτούν γιατί επιτρέπουν τη διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων στερεών στο βιολογικό αντιδραστήρα, γιατί παρέχουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε μικροοργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσονται αργά, όπως είναι οι

νιτροποιητές, ενώ αφετέρου αυξάνεται η ικανότητα του συστήματος να διασπά δύσκολα βιοδιασπάσιμες οργανικές ενώσεις.

Συνήθως ο υδραυλικός χρόνος παραμονής των MBR κυμαίνεται από 1-9 h (6), όμως υπάρχουν και εφαρμογές με σημαντικά μεγαλύτερες τιμές (11). Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής θ, όταν αυτός κυμαίνεται από 2-24h, δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την απόδοση του MBR.

2.5.3. Διεργασίες μεμβρανών

Οι διεργασίες μεμβρανών ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- Διεργασίες με κινητήρια δύναμη τη διαφορά πίεσης (αντίστροφη όσμωση, νανο-, υπερ- και μικρο- διήθηση)
- Διεργασίες με κινητήρια δύναμη τη διαφορά συγκέντρωσης (διάλυση, διεξάτμιση - pervaporation)
- Διεργασίες με κινητήρια δύναμη το ηλεκτρικό φορτίο (ηλεκτροδιάλυση)
- Διεργασίες με κινητήρια δύναμη τη διαφορά θερμοκρασίας (απόσταξη με μεμβράνες).
- Διεργασίες με κινητήρια δύναμη τη διαφορά πίεσης (αντίστροφη όσμωση, νανο-, υπερ- και μικρο- διήθηση)

2.5.4. Μονάδες μεμβρανών

Οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες μέσα σε μια κλειστή κατασκευή, όπου σχηματίζουν τη λεγόμενη μονάδα (module). Η μονάδα αποτελείται από τις μεμβράνες, με τα κατάλληλα, παχιά στρώματα υποστήριξης των μεμβρανών, τις υποδοχές εισόδου και εξόδου για το τροφοδοτούμενο ρεύμα, το διήθημα και το συμπύκνωμα και την κατασκευή η οποία στεγάζει όλα τα παραπάνω. Οι βασικές διατάξεις που υπάρχουν στις μεμβράνες είναι πέντε:

1. η σωληνοειδής μονάδα (tubular module)
2. η μονάδα με τριχοειδής κοίλες ίνες (hollow- fibre membrane module)
3. η μονάδα με σπειροειδώς τυλιγμένες μεμβράνες (spiral-wound membrane)

4. η μονάδα plate and frame
5. η μονολιθική μονάδα (monolithic membrane)

2.5.5. Έμφραξη μεμβρανών

Έμφραξη είναι το φαινόμενο εκείνο στη διάρκεια του οποίου η μεμβράνη φράζει σταδιακά καθώς επικάθονται πάνω στην επιφάνεια και το εσωτερικό της ουσίες, οι οποίες δεν μπορούν να διαπεράσουν τους πόρους της. Οι ουσίες αυτές είναι συνήθως οργανικά στερεά (αιωρούμενα στερεά, κολλοειδή, μακρομόρια), ανόργανα συστατικά (άλατα) και ιζήματα τα οποία περιέχονται στο τροφοδοτούμενο υγρό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνει βαθμιαία η αντίσταση του συστήματος στη ροή του διηθήματος. Επομένως η έμφραξη μπορεί να ορισθεί ως η μόνιμη συσσώρευση οργανικών και/ή ανόργανων ουσιών η οποία δημιουργεί μια συνεχή μείωση της ροής του διηθήματος για δεδομένη πτώση πίεσης. Πρόκειται για ένα φαινόμενο αρκετά πολύπλοκο που δεν μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση ενός και μόνο απλού μαθηματικού μοντέλου, αφού πολλοί είναι οι παράγοντες εκείνοι οι οποίοι παίζουν ρόλο στη δημιουργία του. Τέτοιοι παράγοντες είναι η σύσταση και συγκέντρωση του τροφοδοτούμενου υγρού, η θερμοκρασία, το pH, η ιοντική ισχύς, η διάταξη και γεωμετρία της μεμβράνης, το υλικό της μεμβράνης και η επιφάνειά της.

3. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι εναλλακτικές δυνατότητες και οι τεχνικές απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης εκροής από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, η οποία αποτελεί στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3.1. Εναλλακτικές δυνατότητες αξιοποίησης των υγρών απόβλητων

Η αξιοποίηση των λυμάτων μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικούς τύπους: την επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς και την επαναχρησιμοποίηση για εμπλουτισμό του δικτύου ύδρευσης πόλεως. Ο κάθε τύπος μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους υποπεριπτώσεις όπως (12):

Επαναχρησιμοποίηση για μη πόσιμους σκοπούς:

- Αγροτική
- Αστική
- Βιομηχανική
- Φόρτιση υπογείων υδροφορέων (που δεν χρησιμοποιούνται για ύδρευση)
- Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής

Επαναχρησιμοποίηση για εμπλουτισμό του δικτύου ύδρευσης:

- Έμμεση πόση (μέσω εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων)
- Άμεση πόση

Αγροτική χρήση

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το ποσοστό του νερού που χρησιμοποιείται για γεωργικές εφαρμογές υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Στην Ελλάδα το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 86%. Σε περίπτωση που οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για τις αγροτικές εφαρμογές, είναι δυνατό να εμπλουτιστούν με κατάλληλα επεξεργασμένα απόβλητα. Αυτό, εκτός από την προφανή εξοικονόμηση υδάτινων πόρων, σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις και στην αγροτική παραγωγή, όπως φαίνεται από την πειραματική μελέτη καλλιέργειας μελιτζάνας στην Κύπρο, όπου τα φυτά που αρδεύτηκαν με επεξεργασμένα απόβλητα εμπλουτισμένα σε άζωτο παρουσίασαν

αυξημένη παραγωγικότητα σε σχέση με τα φυτά που αρδεύτηκαν με νερό εμπλουτισμένο με την ίδια ποσότητα αζώτου (12).

Αστική χρήση

Τα συστήματα αστικής επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση εκτός της πόσης σε αστικές περιοχές. Αν και οι ποσότητες ανακτημένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για αστική χρήση παγκοσμίως είναι πολύ περιορισμένες και προβλέπεται ότι θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον, οι τεχνολογικές επιτεύξεις στον τομέα αυτό έχουν μεγάλο επιστημονικό και κοινωνικό ενδιαφέρον. Μερικές μικρές κοινότητες λόγω της δυσκολίας ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων αναπτύσσουν και υλοποιούν μελέτες για τέτοια συστήματα. Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι το πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης, εμπορικές χρήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων, το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα, πυροπροστασία κλπ. Κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων υγρών αποβλήτων για αστική χρήση, οι σημαντικότεροι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η αξιοπιστία εξυπηρέτησης και η προστασία της δημόσιας υγείας (12).

Βιομηχανική χρήση

Η βιομηχανία προβλέπεται να αποτελέσει μελλοντικά σημαντικό χρήστη των ανακτημένων αστικών λυμάτων. Τα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των αστικών λυμάτων είναι (12) 1) το νερό ψύξης, 2) το νερό τροφοδοσίας λεβήτων και 3) το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό. Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση είναι το νερό ψύξης.

Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής

Η χρήση ανακτημένων λυμάτων για αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής περιλαμβάνει:

- 1) την δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή την διατήρηση φυσικών
- 2) την δημιουργία χώρων αναψυχής

3) την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων

4) διάφορες άλλες χρήσεις

Σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή στο φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία (12).

Επαναχρησιμοποίηση για σκοπούς ύδρευσης

Η εφαρμογή των έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άμεση ή έμμεση (μέσω εμπλουτισμού υδροφορέων) ύδρευση είναι πολύ περιορισμένη και συμβαίνει μόνο σε κάποιες κοινότητες όπου δεν είναι δυνατή ή είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων. Γενικά υπήρξε και εξακολουθεί να υπάρχει ακόμα και σήμερα σοβαρός προβληματισμός ως προς την άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πόση. Ο κύριος προβληματισμός στα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για υδρευτικούς σκοπούς, αφορά πιθανές χρόνιες επιδράσεις στην υγεία από πιθανή αντίδραση και ανάμειξη ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην ανακτώμενη εκροή, ακόμα και υπό συνθήκες πολύ προχωρημένης επεξεργασίας. Είναι ευρύτατα παραδεκτό ότι τα συνήθη ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού επαρκούν μόνο στην περίπτωση που η υδροληψία γίνεται από πηγές που δεν έχουν ακόμα υποστεί ρύπανση και όχι από ανακτημένα λύματα. Στην περίπτωση των λυμάτων οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες και όχι καλά προσδιορισμένες. Έχει εκτιμηθεί ότι μόνο το 10% κατά βάρος των οργανικών ενώσεων του πόσιμου νερού έχουν αναγνωρισθεί, ενώ για λίγες από αυτές έχουν εξακριβωθεί οι επιδράσεις τους στην υγεία. Επίσης σημαντική ασάφεια παρατηρείται στον προσδιορισμό της επίδρασης στη δημόσια υγεία της συνεργιστικής δράσης διαφόρων συνθετικών ενώσεων που περιέχονται στα λύματα. Οι έρευνες οι σχετικές με τις επιδράσεις στην υγεία κατά την επαναχρησιμοποίηση για πόση είναι εφαρμόσιμες μόνο για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το μείγμα των ρύπων διαφέρει από πόλη σε πόλη. Ακόμα και για την ίδια πόλη είναι πιθανό τα επικίνδυνα συστατικά των λυμάτων να αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Αυτός ο περιορισμός επιδρά αρνητικά στην προσπάθεια ανάπτυξης πλήρων και συνολικών ποιοτικών κριτηρίων για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση.

3.2. Τεχνικές απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Η αποτελεσματική επεξεργασία των λυμάτων με στόχο την επιστροφή καλής ποιότητας νερού στην φύση είναι γενικά μια σύνθετη και υψηλού βαθμού δυσκολίας διεργασία. Σε αυτό συντελούν δύο βασικοί παράγοντες: πρώτον τόσο η μικροβιολογική όσο και η χημική σύσταση των λυμάτων δεν είναι καθορισμένες και δύναται να υπόκεινται σε μεγάλες διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα να μην ορίζεται πάντα μονοσήμαντα το είδος της βέλτιστης επεξεργασίας, και δεύτερον, οι τεράστιοι προς επεξεργασία όγκοι νερού απαιτούν την κατασκευή και λειτουργία ενός μεγάλου έργου. Η επεξεργασία που τελικά επιλέγεται αποτελείται συνήθως από πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία, με τελικό στάδιο, πριν την διάθεση, την εφαρμογή κάποιας διεργασίας απολύμανσης. Κατά την τελευταία δεκαετία έχουν ιδιαίτερα αναπτυχθεί οι διεργασίες καθαρισμού με την χρήση μεμβρανών, και πιστεύεται ότι πολύ σύντομα, όταν οι τεχνολογίες αναπτυχθούν περαιτέρω, θα είναι εφικτή η παραγωγή υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένου ύδατος προς πόση, σε προσιτό κόστος. Τρεις κύριες μέθοδοι απολύμανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά: η χλωρίωση, ο οζονισμός και υπεριώδης (UV) ακτινοβολία. Η κάθε μέθοδος έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και απαιτείται τεχνοοικονομική μελέτη για τον προσδιορισμό της πλέον κατάλληλης, η οποία σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να συνίσταται σε κατάλληλο συνδυασμό δύο τεχνολογιών (13).

3.3. Ανασκόπηση θεσμικού πλαισίου για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Υγιεινολογικά προβλήματα από την επαναχρησιμοποίηση ακατέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων έχουν κατά καιρούς επισημανθεί και δεν είναι περίεργο ότι η έμφαση κατά τον καθορισμό κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων δίνεται στην προστασία της δημόσιας υγείας μέσω κατάλληλου ελέγχου των παθογόνων μικροοργανισμών. Μία ορθολογική προσέγγιση του προβλήματος θέσπισης καταλλήλων μικροβιολογικών κριτηρίων είναι αυτή που βασίζεται σε συμπεράσματα επιδημιολογικών ερευνών. Τέτοιες έρευνες δείχνουν ότι ο κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών λόγω επαναχρησιμοποίησης λυμάτων είναι μικρός και αφορά μόνον τις περιπτώσεις ανεπεξέργαστων λυμάτων ή λυμάτων πολύ κακής ποιότητας. Με βάση επομένως τις επιδημιολογικές έρευνες είναι δυνατό να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η

επαναχρησιμοποίηση επαρκώς επεξεργασμένων (π.χ. με βιολογική επεξεργασία και απολύμανση) λυμάτων για άρδευση δεν εγκυμονεί κινδύνους για τη δημόσια υγεία, δεδομένου ότι με την επεξεργασία των λυμάτων επιτυγχάνεται σημαντική μείωση παθογόνων μικροοργανισμών. Τα αποτελέσματα των επιδημιολογικών ερευνών έχουν αντιμετωπισθεί με μεγαλύτερο ή μικρότερο σκεπτικισμό σε όλες τις προσπάθειες που κατά καιρούς έχουν γίνει για τη διαμόρφωση ασφαλών κριτηρίων. Αυτό αιτιολογείται αν ληφθούν υπόψη οι εγγενείς ασάφειες που υπεισέρχονται σε τέτοιου είδους έρευνες καθώς και ο στατιστικός τους χαρακτήρας ο οποίος δεν αποκλείει την ύπαρξη θεωρητικών τουλάχιστον κινδύνων μετάδοσης ασθενειών. Έτσι σε όλες τις περιπτώσεις θέσπισης κριτηρίων, χωρίς να παραγνωρίζονται τα συμπεράσματα των επιδημιολογικών ερευνών, λαμβάνεται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό πρόνοια για την αποτελεσματική αντιμετώπιση και των θεωρητικών κινδύνων. Στη συνέχεια του κεφαλαίου δίνονται περιληπτικά οι σημαντικότεροι κανονισμοί και οδηγίες που έχουν διαμορφωθεί διεθνώς με στόχο τον καθορισμό των κριτηρίων επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων (12).

Οδηγίες και Κανονισμοί διεθνών οργανισμών

Διάφοροι διεθνείς Οργανισμοί έχουν ασχοληθεί με κριτήρια ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων, όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization, WHO) και ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (Food and Agriculture Organization, FAO).

Οι οδηγίες επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων για άρδευση του WHO βασίζονται στο μικρότερο δυνατό βαθμό απομάκρυνσης, απ' αυτόν που απαιτείται για να επιτευχθεί η προτεινόμενη ποιότητα εκροής για απεριόριστη άρδευση. Αυτός βέβαια μπορεί να είναι αποδεκτός, εάν εφαρμόζονται συμπληρωματικά μέτρα προστασίας της δημόσιας υγείας ή η ποιότητα των εκροών μετά την επεξεργασία, βελτιωθεί περαιτέρω με αραίωση με φυσικά νερά, παρατεταμένη αποθήκευση ή μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις (14). Πιο συγκεκριμένα, το 1989, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανακοίνωσε



τέσσερις βασικές κατηγορίες μέτρων για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων (14), οι οποίες συνίστανται στις πιο κάτω: - Επεξεργασία των λυμάτων - Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών - Επιλογή μεθόδου άρδευσης - Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους οργανισμούς των

λυμάτων, του εδάφους ή των αγροτικών προϊόντων. Για την ικανοποίηση των πιο επάνω μέτρων ο WHO κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

- Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.
- Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή της ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνει τον κίνδυνο, ο οποίος όμως, αν και χαμηλός, εξακολουθεί να υφίσταται.
- Αποτελεσματικό μέτρο, τουλάχιστο για τους καταναλωτές, αποτελεί η εφαρμογή της άρδευσης σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση).
- Αποτελεσματικό μέτρο είναι η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των λυμάτων και συγκεκριμένα η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.
- Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών χωρίς στην περίπτωση αυτή να είναι αναγκαίος ο περιορισμός των καλλιεργειών(απεριόριστη άρδευση).

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην επιλογή του τύπου των αρδευόμενων καλλιεργειών και στον βάσει αυτού διαχωρισμό της άρδευσης σε δύο κατηγορίες: την “περιορισμένη άρδευση” η οποία αφορά καλλιέργειες με προϊόντα που δεν τρώγονται ωμά και την “απεριόριστη” η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε τύπο καλλιέργειας αλλά και για πότισμα γηπέδων, πάρκων, κλπ.

Στην πρώτη περίπτωση ουσιαστικά δεν τίθενται μικροβιολογικά κριτήρια, συνιστάται όμως η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας η οποία μπορεί να αποτελείται από πρωτοβάθμια επεξεργασία ή από επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής 8-10 ημέρες.

Επισημαίνεται πάντως ότι βασική προϋπόθεση για την περιορισμένη άρδευση είναι η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μέσω επιλογής καταλλήλου μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή και όχι με καταΐονισμό) και με αποφυγή συλλογής των καρπών από το έδαφος. Τέλος, ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας συνιστάται η διακοπή της άρδευσης δύο εβδομάδες πριν από τη συλλογή των καρπών. Στην περίπτωση της απεριορίστης άρδευσης συνιστάται η τήρηση συγκεκριμένων μικροβιολογικών κριτηρίων τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς όσο

και ως προς τα περιπτώματα κολοβακτηρίδια FC, με ακόμη αυστηρότερα κριτήρια για ορισμένες περιπτώσεις, όπως το πότισμα γκαζόν. Σημειώνεται ότι τα κριτήρια αυτά είναι λιγότερο αυστηρά από προγενέστερα κριτήρια του WHO για απεριόριστη άρδευση. Είναι εμφανές ότι η οδηγία του WHO βασίζεται κυρίως στα δεδομένα των επιδημιολογικών ερευνών σε συνδυασμό με μία εμφανή προσπάθεια ρεαλιστικής αντιμετώπισης των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες, και θέτει όχι ιδιαίτερα αυστηρά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά, όμως έχουν υποστεί και εξακολουθούν να υφίστανται έντονη κριτική στις αναπτυγμένες χώρες. Οι οδηγίες και τα όρια που τίθενται από τον WHO έχουν υποστεί κριτική από τις αναπτυγμένες χώρες, αφού θεωρούνται αρκετά ελαστικά. Παρ' όλα αυτά, αποτελούν μια βάση εκκίνησης για τις υπό ανάπτυξη χώρες, όπου πολλές φορές παρατηρείται το φαινόμενο της επαναχρησιμοποίησης λυμάτων απουσία σχετικών κριτηρίων ποιότητας.

Ο FAO στην προσπάθειά του να διαμορφώσει κριτήρια ποιότητας για το νερό άρδευσης, που να αντιμετωπίζουν προβλήματα δημόσιας υγείας, πρότεινε τη χρήση της οδηγίας σε ότι αφορά όρια των κοπρανώδων κολοβακτηριδίων (FC), που προτείνονται από τον WHO. Εκτός από την αντιμετώπιση των κινδύνων δημόσιας υγείας, που οφείλονται στη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση, ο FAO έχει προτείνει και οδηγίες για τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού καθώς και μια σειρά αγρονομικών μέτρων προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση των αρδευόμενων καλλιεργειών.

Με βάση την ταξινόμηση αυτή το νερό άρδευσης κατατάσσεται σε διάφορες κατηγορίες ποιότητας, έτσι ώστε ο χρήστης να αποφαίνεται για τα πιθανά πλεονεκτήματα, όσο και τα προβλήματα, που αφορούν τη χρήση δεδομένης ποιότητας νερού για άρδευση. Η γενική αυτή κατηγοριοποίηση αφορά κατά κύριο λόγο τη χρήση συμβατικών πηγών αρδευτικού νερού. Ωστόσο, θεωρείται εξ' ίσου εφαρμόσιμη και στη περίπτωση αξιολόγησης της ποιότητας εκροών αποβλήτων για άρδευση (15). Μια πλήρης περιγραφή και αξιολόγηση των υφιστάμενων οδηγιών και κανονισμών επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, σε παγκόσμιο επίπεδο, έγινε πρόσφατα από την Αρχή Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (16). Επίσης, η EPA θέσπισε προτεινόμενα κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση. Αυτά τα κριτήρια αναφέρονται στη συγκέντρωση χημικών ουσιών στο ανακτημένο νερό ενώ δίνεται έμφαση στη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων.

Στον Πίνακα 2 φαίνονται τα προτεινόμενα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο ανακτημένο νερό από λύματα για άρδευση στη γεωργία, σύμφωνα με την Αρχή Περιβαλλοντικής Προστασίας (16).

Πίνακας 2: Προτεινόμενα ανώτατα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο ανακτημένο νερό άρδευσης (Πηγή: US EPA)

Χημικό στοιχείο	Μακροχρόνια χρήση (mg/l)	Βραχυχρόνια χρήση (mg/l)
Αλουμίνιο	5.00	20.00
Αρσενικό	0.10	2.00
Βηρύλλιο	0.10	0.50
Κάδμιο	0.01	0.05
Χρώμιο	0.10	1.00
Κοβάλτιο	0.05	5.00
Χαλκός	0.20	5.00
Σίδηρος	5.00	20.00
Λίθιο	2.50	2.50
Μαγγάνιο	0.20	10.00
Νικέλιο	0.20	2.00
Σελήνιο	0.02	0.02
Βανάδιο	0.10	1.00
Ψευδάργυρος	2.00	10.00

3.4. Επαναχρησιμοποίηση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει σοβαρό έλλειμμα νερού, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της χαμηλής βροχόπτωσης και των αυξημένων ζητήσεων για άρδευση και χρήση νερού. Η ζήτηση νερού στην Ελλάδα έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία πενήντα χρόνια. Συχνά παρατηρείται σημαντική μείωση των αποθεμάτων νερού εξαιτίας των καιρικών και περιφερειακών διακυμάνσεων της βροχόπτωσης, της αυξημένης ζήτησης το καλοκαίρι και της δυσκολίας στη μεταφορά νερού μέσω των βουνών. Ως αποτέλεσμα, η ενσωμάτωση της

επαναχρησιμοποίησης νερού στη διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων αναδεικνύεται σε πολύ καίριο ζήτημα (16). Το 2000, σχεδόν 60 τοις εκατό του πληθυσμού ήταν συνδεδεμένο σε 270 εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, συνολικής δυναμικότητας 1.30 Mm³/d (345 mgd). Η ελάχιστη επεξεργασία των αποβλήτων είναι η δευτερογενής, συνήθως με ολοκληρωτική ή μερική απομάκρυνση αζώτου στο 80% των περιπτώσεων. Η τεταρτογενής επεξεργασία, με τη μορφή της διήθησης, εφαρμόζεται σε κάποιες εγκαταστάσεις, αλλά η διαδικασία της αναβάθμισης άλλων εγκαταστάσεων σε τεταρτογενή επεξεργασία είναι σε εξέλιξη. Λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη κατάσταση, η περιορισμένη επαναχρησιμοποίηση θεωρείται ήδη ως μια διαθέσιμη εναλλακτική σε συμμόρφωση βέβαια με αυστηρά πρότυπα (17). Μια ανάλυση της κατανομής των επεξεργασμένων οικιακών αποβλήτων έδειξε ότι περισσότερο από 83% της εκροής αποβλήτων παράγεται σε περιοχές με έλλειμμα νερού. Αυτό αποδεικνύει ότι η επαναχρησιμοποίηση νερού σε αυτές τις περιοχές θα μπορούσε να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό της ζήτησης σε νερό. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που ωθεί στην επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού αποτελεί το γεγονός ότι το 88% της εκροής των αποβλήτων εντοπίζονται σε απόσταση μικρότερη των πέντε χιλιομέτρων από μια γεωργική έκταση που έχει ανάγκη από νερό άρδευσης. Γι' αυτό, το επιπλέον κόστος της άρδευσης με ανακτημένο νερό, υπολογίζεται να είναι σχετικά χαμηλό. Περισσότερες από 15 εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων προγραμματίζουν να επαναχρησιμοποιήσουν τις εκροές τους στην άρδευση.. Ωστόσο, ακόμα λαμβάνει χώρα σε ορισμένες περιοχές η μη προγραμματισμένη επαναχρησιμοποίηση, όπου τα απόβλητα εκβάλλονται σε ποτάμια και έπειτα από διήθηση, αντλούνται μέσω πηγαδιών από τους αγρότες (16).

Τα όρια που προτείνονται για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα παρουσιάζονται στον πίνακα 3

Πίνακας 3: Προτεινόμενα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα

Περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC/100 ml)	BOD ₅ (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Προτεινόμενη επεξεργασία
<p>Περιορισμένη άρδευση Δόση και περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων, με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος), καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</p> <p>Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p>Απεριόριστη άρδευση Όλες οι καλλιέργειες όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται εμιά, θερμκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής του νερού συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού</p> <p>Αστική χρήση Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, προνή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρομίων, διακοσμητικά σιντριβάνια, νερό για καθαρισμό τουαλέτας.</p> <p>Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση π.χ. επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες κλπ.</p> <p>Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφόρου που δεν χρησιμοποιείται για άρδευση</p>	200 διάμεση τιμή	35 για το 80% των δειγμάτων	—	<ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^{α, α1} • Απολύμανση^β
5 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	10 για το 80% των δειγμάτων	2 διάμεση τιμή	<ul style="list-style-type: none"> • Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^α • Τριτοβάθμια επεξεργασία^{α7} • Απολύμανση^δ

3.5. Νομοθετικό πλαίσιο για τη διάθεση των λυμάτων

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα νομοθετικά όρια διάθεσης των υγρών αποβλήτων στο Βόρειο και Νότιο Ευβοϊκό Κόλπο, καθώς και στους αντίστοιχους Κόλπους Μαλιακό και Πεταλίων (Νομαρχιακή Απόφαση 19649/14-11-1979, ΦΕΚ 1136/27-11-197), όπου είναι εγκατεστημένη η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, η οποία εξετάζεται στην διπλωματική εργασία. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι οριακές τιμές εκπομπών φυσικοχημικών παραμέτρων βάσει της ανωτέρω ισχύουσας νομοθεσίας.

Πίνακας 4: Προβλεπόμενες οριακές τιμές εκπομπών φυσικοχημικών παραμέτρων βάσει της ανωτέρω ισχύουσας νομοθεσίας

Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Όρια αποφ. 19649/1979
Θερμοκρασία	°C	35
pH	-	6-9
TDS	mg/L	1.500
SS	mg/L	40
BOD	mg/L	40
COD	mg/L	150
NH ₄	mg/L	15
NO ₃ -N	mg/L	20
NO ₂ -N	mg/L	0,6
Φαινόλες	mg/L	0,5
CN	mg/L	0,5
Ελεύθερο Cl ₂	mg/L	0,7

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

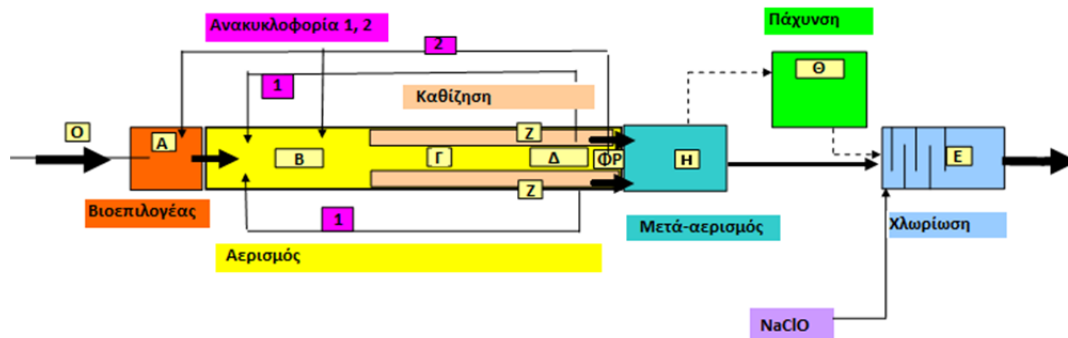
Το μοντέλο με το οποίο είναι σχεδιασμένη και λειτουργεί η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων είναι βιολογικός καθαρισμός με σύστημα ενεργού ιλύος αποτελούμενος από μία δεξαμενή αερισμού πλήρους ανάμιξης και μια δεξαμενή ενεργού ιλύος. Για την επίτευξη απονιτροποίησης πραγματοποιείται ανακυκλοφορία του μικτού υγρού προς το βιοεπιλογέα, ο οποίος βρίσκεται πριν τη δεξαμενή αερισμού. Ο βιολογικός αντιδραστήρας της εγκατάστασης είναι τύπου παρατεταμένου αερισμού.

Τα αστικά λύματα της εξεταζόμενης μονάδας οδηγούνται από δύο διαφορετικά φρεάτια συλλογής και καταλήγουν στο κανάλι εισόδου της μονάδας επεξεργασίας. Τα αστικά λύματα οδηγούνται από τα φρεάτια 1 και 2 με παροχές 270-300 m³/d και 50-60 m³/d αντίστοιχα, στο κανάλι εισόδου της μονάδας επεξεργασίας.

Αρχικά, τα δύο ρεύματα (1 και 2) ενώνονται σε ένα κοινό κανάλι και από εκεί οδηγούνται στη μονάδα επεξεργασίας που περιλαμβάνει τις ακόλουθες δεξαμενές:

- Μια (1) δεξαμενή βιοεπιλογέα
- Μια (1) δεξαμενή αερισμού
- Δύο (2) δεξαμενές καθίζησης
- Ένα (1) φρεάτιο απολάσπωσης
- Μια (1) δεξαμενή τελικής καθίζησης
- Ένα (1) φρεάτιο απολάσπωσης
- Μια (1) δεξαμενή χλωρίωσης σε σχήμα μαιάνδρου
- Τρεις (3) κλίνες ξήρανσης για τη διάθεση της λάσπης
- Μια (1) δεξαμενή πάχυνσης η οποία είναι ανενεργή.

Στο Σχήμα 4 παρίσταται διαγραμματικά η ροή των λυμάτων και τα στάδια επεξεργασίας.



Σχήμα 3: Στάδια Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων (Μ.Ε.Λ.)

Από το κανάλι εισόδου (O) τα λύματα εισέρχονται στη δεξαμενή του βιοεπιλογέα (A) από όπου αντλούνται με δύο αντλίες προς τη δεξαμενή αερισμού η οποία αποτελείται από τα στάδια (B) και (Γ). Στο δεύτερο στάδιο του αερισμού (Γ) το πλάτος της δεξαμενής στενεύει και εκατέρωθεν της δεξαμενής παράλληλα με αυτή υπάρχουν οι δεξαμενές καθίζησης βιολογικής λύσης (Z). Οι δεξαμενές καθίζησης διαχωρίζονται από τη δεξαμενή αερισμού με κατακόρυφα πλαίσια πολυπροπυλενίου που φέρουν κατά μήκος οπές επικοινωνίας απ' όπου το μικτό υγρό διέρχεται μέσω σωληνώσεων από τη δεξαμενή αερισμού προς τη δεξαμενή καθίζησης όπου και ηρεμεί. Στο κάτω μέρος των πλαισίων υπάρχουν ανοίγματα αντίστροφης ροής (από τη δεξαμενή καθίζησης προς τη δεξαμενή αερισμού) μέσω των οποίων υλός διέρχεται από την καθίζηση προς τον αερισμό. Η ανακυκλοφορία όμως γίνεται κυρίως με εμβαπτισμένες αντλίες στις δεξαμενές καθίζησης.

Από τις δύο δεξαμενές καθίζησης (Z) με τη βοήθεια υπερχειλιστών το καθαρό υπερκείμενο υγρό οδηγείται στη δεξαμενή μετα-αερισμού (H). Στη συνέχεια το επεξεργασμένο νερό οδηγείται στη μαιανδρικού σχήματος δεξαμενή (E), στην οποία προστίθεται διάλυμα NaClO για απολύμανση και καταλήγει στον αγωγό εξόδου. Μεταξύ της δεξαμενής (H) και της δεξαμενής απολύμανσης (E) παρεμβάλλεται η δεξαμενή (Θ) που προοριζόταν για δεξαμενή πάχυνσης, αλλά λόγω ελλείψεως του σχετικού εξοπλισμού προς το παρόν δεν λειτουργεί και παρακάμπτεται.

Στο τέλος της δεξαμενής αερισμού (Γ) υπάρχει ένα φρεάτιο (Δ) στο οποίο εισέρχεται μέρος του μικτού υγρού του αερισμού. Από το φρεάτιο αυτό ίσες ποσότητες μικτού υγρού αντλούνται με air-lifts προς το βιοεπιλογέα και τη δεξαμενή (B) του αερισμού με σκοπό να βοηθήσουν την απονιτροποίηση των νιτρικών του μικτού υγρού του αερισμού. Ο

βιοεπιλογέας επομένως λειτουργεί ως ανοξική δεξαμενή. Από το φρεάτιο (Δ) μία μικρή ποσότητα μικτού υγρού (περίπου $1 \text{ m}^3/\text{d}$) αντλείται προς τις κλίνες ξήρανσης ως περίσσεια βιολογικής ιλύος.

Οι παροχές ανακυκλοφορίας έχουν ως εξής:

Ανακυκλοφορία 1: Από δεξαμενές καθίζησης προς δεξαμενή αερισμού

Παροχή σχεδιασμού: $25\text{-}30 \text{ m}^3/\text{h}$ ανά αντλία

Σύνολο αντλιών σε λειτουργία: 2

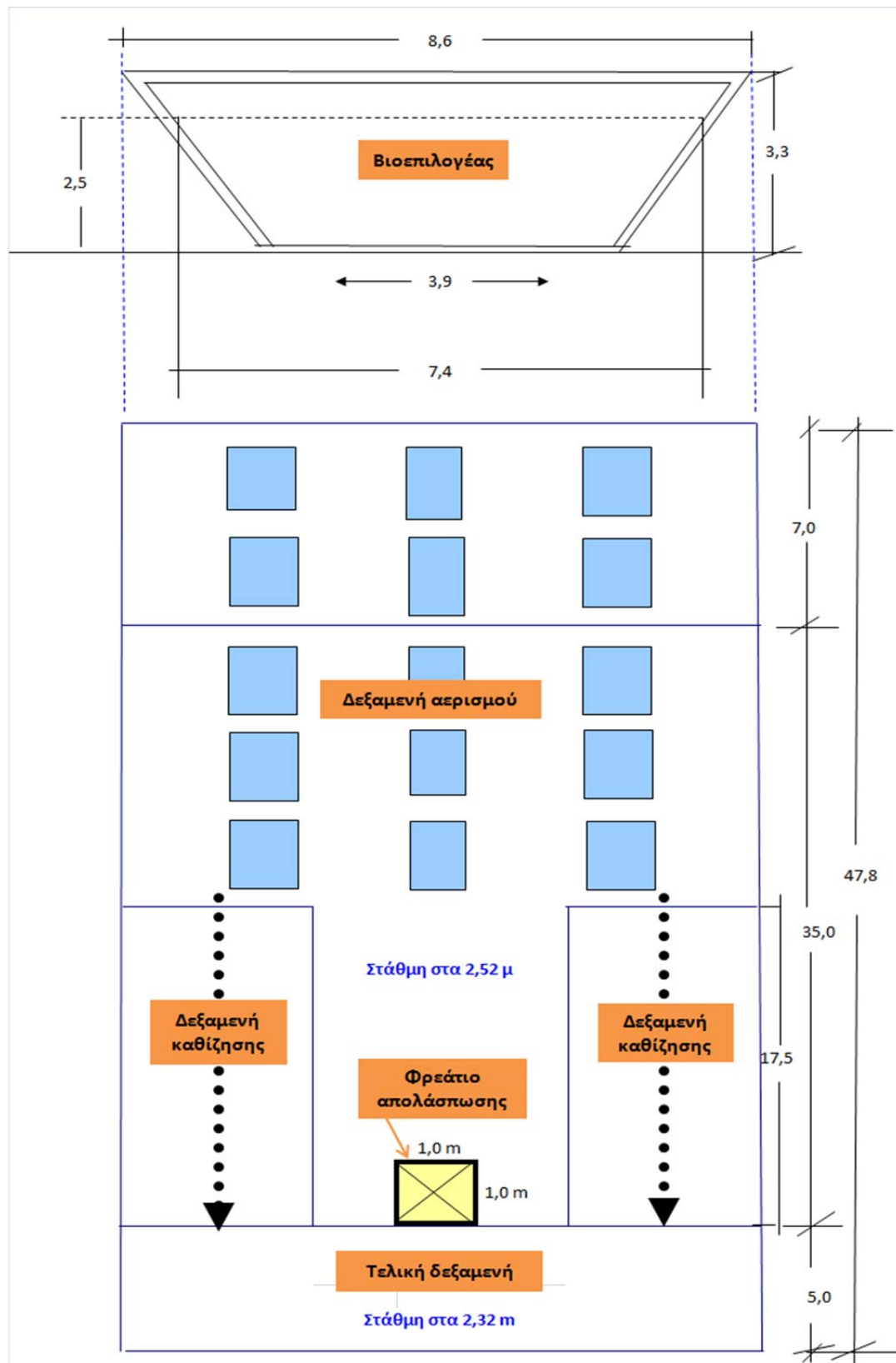
Χρόνος λειτουργίας: $24\text{h}/\text{d}$

Ανακυκλοφορία 2: Από δεξαμενές καθίζησης προς φρεάτιο απολάσπωσης και από φρεάτιο απολάσπωσης προς δεξαμενή βιοεπιλογέα και δεξαμενή αερισμού

Παροχή: $20\text{-}30\text{m}^3/\text{h}$ (δυνατότητα έως $40\text{-}60\text{m}^3/\text{h}$)

Χρόνος λειτουργίας: $1\text{-}4\text{h}/\text{d}$

Στο σχήμα 5 που ακολουθεί δίνονται οι διαστάσεις των δεξαμενών της εγκατάστασης επεξεργασίας καθώς και οι όγκοι τους.



Σχήμα 4: Διαγραμματική απεικόνιση Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων

5. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΑΔΑΣ

5.1. ΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ ΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Για τη διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των παραγόμενων λυμάτων και τη μελέτη της λειτουργίας της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας των λυμάτων του προσωπικού της βιομηχανίας πραγματοποιήθηκαν δεκαεννιά (19) σειρές στοχευμένων δειγματοληψιών (Πίνακας 5). Συνολικά συλλέχθηκαν εβδομήντα οχτώ (78) δείγματα. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν στο διάστημα 7/12/2010 έως 18/5/2011 και η ανάλυση των δειγμάτων έγινε στο εργαστήριο της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του τμήματος Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ.

Κατά τις δειγματοληψίες ελήφθησαν δείγματα από τα ακόλουθα σημεία:

- τα σημεία συλλογής των λυμάτων από την είσοδο 1 και 2 στη μονάδα
- τα στάδια επεξεργασίας της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων
- την έξοδο της επεξεργασμένης εκροής από τη μονάδα
- την έξοδο από τον εικοσιτετράωρο δειγματολήπτη της μονάδας
- την εκροή της μονάδας στον ποταμό

Πίνακας 5: Ημερολόγιο διεξαγωγής δειγματοληψιών

No.	Ημερομηνία διεξαγωγής	Αριθμός δειγμάτων
I.	Δευτέρα, 7/12/2010	2
II.	Πέμπτη, 9/12/2010	2
III.	Τετάρτη, 5/1/2011	3
IV.	Δευτέρα, 17/1/2011	6
V.	Δευτέρα, 24/1/2011	4
VI.	Τετάρτη, 16/3/2011	6
VII.	Πέμπτη, 31/3/2011	6
VIII.	Δευτέρα, 4/4/2011	1
IX.	Τρίτη, 5/4/2011	3
X.	Τετάρτη, 6/4/2011	3
XI.	Τρίτη, 12/4/2011	3
XII.	Τρίτη, 3/5/2011	2
XIII.	Τετάρτη, 4/5/2011	7
XIV.	Τετάρτη, 11/5/2011	1
XV.	Πέμπτη, 12/5/2011	1
XVI.	Παρασκευή, 13/5/2011	13
XVII.	Δευτέρα, 16/5/2011	1
XVIII.	Τρίτη, 17/5/2011	1
XIX.	Τετάρτη, 18/5/2011	13
Σύνολο		78

Στον Πίνακα 6 γίνεται περιγραφή των δειγμάτων που ελήφθησαν ανά ημέρα και σημείο δειγματοληψίας.

Πίνακας 6: Περιγραφή των δειγμάτων που ελήφθησαν ανά ημέρα και σημείο δειγματοληψίας

Σημείο δειγματοληψίας	Δείγματα ανά ημέρα δειγματοληψίας																		Σύνολο	
	7/12/10	9/12/10	5/1/11	17/1/11	24/1/11	16/3/11	31/3/11	4/4/11	5/4/11	6/4/11	12/4/11	3/5/11	4/5/11	11/5/11	12/5/11	13/5/11	16/5/11	17/5/11		18/5/11
Είσοδοι λυμάτων																				
Φρεάτιο συλλογής λυμάτων κτηρίου 1	-	-	-	X	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X(x2)	7
Φρεάτιο συλλογής λυμάτων κτηρίου 2	-	-	X	X	-	X(x2)	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	7
Μονάδα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων																				
Βιοεπιλογέας	-	-	X	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	-	-	X	-	-	X	8
Αερισμός	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X(x4)	-	-	X(x4)	11
Χλωρίωση	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Εξόδος επεξεργασμένης εκροής																				
Εκροή επεξεργασμένων λυμάτων κτηρίου 1 εντός της ΜΕΛ	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Εκροή επεξεργασμένων λυμάτων κτηρίου 2 εντός της ΜΕΛ	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Εκροή επεξεργασμένων λυμάτων κτηρίων 1 και 2 εντός της ΜΕΛ	-	-	-	-	X	X	X(x4)	-	-	-	X	-	X(x4)	-	-	X(x4)	-	-	X(x4)	19
Εκροή επεξεργασμένων λυμάτων εντός της ΜΕΛ - Δείγμα 24h	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X	-	X	X	X	X	X	X	10
Εκροή επεξεργασμένων λυμάτων στον ποταμό	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-	X	10
Σύνολο	2	2	3	6	4	6	6	1	3	3	3	2	7	1	1	13	1	1	13	78

5.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Η δειγματοληψία, συντήρηση και ανάλυση των δειγμάτων για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των ρυπαντικών παραμέτρων έγινε σύμφωνα με το πρωτόκολλο δειγματοληψιών και διεξαγωγής αναλύσεων της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του ΕΜΠ το οποίο βασίζεται σε πρότυπες μεθόδους όπως αυτές καθορίζονται από τις Κοινοτικές Οδηγίες, το Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO), το Δημόσιο Αμερικάνικο Οργανισμό Υγείας (ΑΡΗΑ), τον Αμερικάνικο Οργανισμό Εργασιών σχετικά με το Νερό (ΑWWA), την Ομοσπονδία Προστασίας Ρύπανσης του Νερού (WPCF), καθώς και τον Εθνικό Οργανισμό Τυποποίησης (ΕΛΟΤ). (18)

Η διενέργεια της δειγματοληψίας έγινε δια χειρός και αφορά στις περισσότερες των περιπτώσεων σε στιγμιαία δείγματα. Η ποσότητα του δείγματος ήταν επαρκής τόσο για τη διενέργεια των χημικών αναλύσεων, όσο και για τις επαναληπτικές μετρήσεις (εξασφάλιση επαναληψιμότητας μέτρησης).

Μετά τη δειγματοληψία, ακολουθούσε άμεση μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο και κατάλληλη συντήρηση και αποθήκευση μέχρι τη διενέργεια των απαιτούμενων αναλύσεων. Για ορισμένες παραμέτρους, κρίθηκε απαραίτητος ο άμεσος προσδιορισμός τους, ενώ για άλλες ακολούθησε κατάλληλη συντήρηση του δείγματος. Με τον τρόπο αυτό, επιβραδύνονται οι βιολογικές δράσεις, η υδρόλυση των χημικών ενώσεων και συμπλόκων, ενώ μειώνεται η πτητικότητα ορισμένων συστατικών του δείγματος.

Η επιλογή της μεθόδου έγινε λαμβάνοντας υπόψη το είδος και το αναμενόμενο εύρος συγκέντρωσης των ρυπαντικών παραμέτρων καθώς και την ελαχιστοποίηση των πιθανών παρεμβολών και αλληλεπιδράσεων από διάφορες ουσίες που μπορεί να συνυπάρχουν στο δείγμα με την προς μέτρηση ουσία.

Για την περίπτωση των μετρήσεων του διαλυμένου οξυγόνου (DO) οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν επιτόπου στα σημεία ενδιαφέροντος (φρεάτια, δεξαμενές) με οξυγονόμετρο YSI ProODO, το οποίο είχε προηγουμένως βαθμονομηθεί στο εργαστήριο.

Τα όργανα μέτρησης καθώς και το όριο ανίχνευσης των παραμέτρων που μετρήθηκαν στα ληφθέντα δείγματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7: Όργανα μέτρησης και όρια ανίχνευσης παραμέτρων

Παράμετροι	Όργανο μέτρησης	Όριο ανίχνευσης
pH	Mettler Toledo MCC 227	-
Αγωγιμότητα		-
TDS (mg/L)	Mettler Toledo PB 303-S	0,020 mg/L
TSS (mg/L)		0,020 mg/L
BOD (mg/L)	Οξυγονόμετρο YSI ProODO	-
COD (mg/L)	Φασματοφωτόμετρο Merck Spectroquant NOVA60	4,000 mg/L
Φαινόλες		0,025 mg/L
CN (mg/L)		0,002 mg/L
Cl ₂ – ελεύθερο		0,030 mg/L
NH ₄ – N		0,010 mg/L
NO ₂ – N		0,010 mg/L
NO ₃ – N		0,200 mg/L
Cr (mg/L)		0,020 mg/L
Cu (mg/L)	Varian AA240 FSFlame atomic absorption spectroscopy	0,010 mg/L
Mn (mg/L)		0,002 mg/L
Fe (mg/L)		0,020 mg/L
Ni (mg/L)		0,010 mg/L
Cd (mg/L)		0,002 mg/L
Pb (mg/L)		0,050 mg/L
Zn (mg/L)		0,005 mg/L

Συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων:

n.m.: not measured, δεν πραγματοποιήθηκε μέτρηση για τη συγκεκριμένη παράμετρο

n.d.: not detected, δεν ανιχνεύθηκε η εν λόγω παράμετρος από το όργανο μέτρησης

5.2.1. Προσδιορισμός φυσικών παραμέτρων

pH

Οι αναλύσεις των δειγμάτων βασίζονται στο Standard Methods, 20th edition (part 4500, 2510), καθώς και στις οδηγίες χρήσης του οργάνου .

ΜΕΘΟΔΟΣ

Το pH αποτελεί μέτρηση της δραστηριότητας των υδρογονοϊόντων και εκφράζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης τους σε δεδομένη θερμοκρασία. Χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των ανθρακικών, δισανθρακικών, δικαρβονικών και είναι πολύ σημαντική παράμετρος για την ανάλυση και επεξεργασία των αποβλήτων.

Το pHμετρο αποτελείται από ποτενσιόμετρο, γυάλινο ηλεκτρόδιο, ηλεκτρόδιο αναφοράς και μια συσκευή εξισορρόπησης της θερμοκρασίας. Μέσω του ποτενσιόμετρου, σχηματίζεται κύκλωμα με την εμφύσηση των ηλεκτροδίων στο διάλυμα ελέγχου. Πολλά pHμετρα δίνουν ένδειξη την τιμή του pH ή τα millivolt και άλλα έχουν εκτεταμένη κλίμακα όπου μπορεί να αναγνώσει τιμές 0,001pH. Ωστόσο, τα περισσότερα όργανα δεν έχουν τόσο μεγάλη ακρίβεια.

Αρχικά ρυθμίζεται το πεχάμετρο χρησιμοποιώντας ρυθμιστικά διαλύματα με pH 4, 7, 10 (δημιουργία καμπύλης αναφοράς). Ακολούθως βυθίζεται το ηλεκτρόδιο στο δείγμα και μετρείται η ένδειξη στην κλίμακα του πεχάμετρου. Κατόπιν πλένεται το ηλεκτρόδιο με αποσταγμένο νερό και επαναλαμβάνεται η μέτρηση του δείγματος.

Συντήρηση: Η μέτρηση του pH πρέπει να γίνεται άμεσα. Όμως μπορεί να γίνει και συντήρηση με ψύξη στους 4°C, αλλά η μέτρηση πρέπει να γίνει το αργότερο μέσα σε 6 ώρες.

Αγωγιμότητα

Γενικά : Η τιμή της αγωγιμότητας περιλαμβάνει έμμεσο προσδιορισμό των ιόντων που υπάρχουν στο προς μέτρηση δείγμα.

Μεθοδολογία: Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με το όργανο τύπου Conductivity Meter LF95 (WTW). Αφού ξεπλυθεί το ηλεκτρόδιο του οργάνου με απιονισμένο νερό, εμβαπτίζεται στο προς μέτρηση δείγμα αναδεύοντας ελαφρά, ώστε να απομακρυνθούν τυχόν φυσαλίδες αέρα από τους πόλους του ηλεκτροδίου και λαμβάνεται η ένδειξη στο όργανο αφού σταθεροποιηθεί.

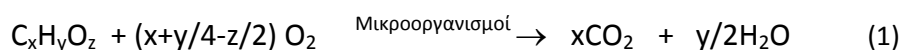
5.2.2. Προσδιορισμός οργανικών παραμέτρων

Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD₅)

Μέτρο εκτίμησης του βιοαποδομήσιμου οργανικού φορτίου είναι το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand - BOD). Ως BOD ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από μικροοργανισμούς για την αποδόμηση μέσω βιοξείδωσης, των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα απόβλητα απουσία φωτός και σε θερμοκρασία 20°C. Συνήθως, η βιοχημική οξείδωση είναι βραδεία και σε χρόνο 20 ημερών έχει οξειδωθεί το 95-99% της οργανικής ύλης των λυμάτων. Δεδομένου ότι ο χρόνος αυτός είναι πολύ μεγάλος, συνήθως μετράται το BOD των πρώτων 5 ημερών (BOD₅) όπου έχει διασπαστεί το 70-80% των οργανικών ενώσεων που περιέχουν μόνο C, H, O (αντίδραση 1), ενώ δεν έχει αρχίσει ακόμη η νιτροποίηση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων (αντίδραση 2).

Το BOD είναι από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους δείκτες ποιότητας των υδάτων και των αποβλήτων. Η τιμή του επηρεάζεται από το είδος των οργανικών συστατικών των λυμάτων γιατί κατά κανόνα κάποιο μεγαλύτερο ή μικρότερο κλάσμα τους δεν είναι βιοαποδομήσιμο. Η σημασία του BOD έγκειται στο ότι αποτελεί μέτρο της κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς για την οξείδωση της οργανικής ύλης που είναι το κυριότερο ρυπαντικό αποτέλεσμα των αποβλήτων στους αποδέκτες. Είναι όμως προσδιορισμός ιδιαίτερα ευαίσθητος. Η παρουσία τοξικών ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων) καταστρέφει το σύνολο ή μέρος των μικροοργανισμών και παρεμποδίζει τον παραπάνω προσδιορισμό. Στο καθαρό νερό η τιμή του BOD₅ είναι 1ppm. Όταν η τιμή του BOD₅ προσεγγίζει τα 5ppm, το νερό έχει ρυπανθεί. Τα ακατέργαστα λύματα μιας πόλης έχουν συνήθως τιμές BOD₅ 100 - 400mg/l . Στα βιομηχανικά απόβλητα οι τιμές του BOD₅ μπορεί και να ξεπερνούν τα 10.000mg/l.

Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι οι εξής :



(απλές οργανικές ενώσεις) και επιπλέον :



(αζωτούχες οργανικές ενώσεις)

Διαλυμένο οξυγόνο (DO)

Αρχή της μεθόδου

Είναι ένας εμπειρικός προσδιορισμός στον οποίο ακολουθούνται πρότυπες εργαστηριακές διαδικασίες. Γίνεται με μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου (DO) πριν και μετά την πενθήμερη επώαση του δείγματος. Η μέτρηση του DO μετά τις κατάλληλες αρχικές αραιώσεις που θα εξασφαλίζουν αρκετό οξυγόνο για όλη τη διάρκεια της επώασης γίνεται με την τροποποιημένη μέθοδο Winkler, όπως αυτή περιγράφεται στη συνέχεια.

Δειγματοληψία - Συντήρηση δειγμάτων

Τα δείγματα συλλέχθηκαν σε γυάλινες φιάλες με εσφυρισμένο πώμα, που γεμίζονται μέχρι υπερχειλίσης και πωματίζονται με προσοχή ώστε να μην κρατήσουν φυσαλίδες αέρα. Μεταφέρονται με προσοχή, ώστε να μην είναι εκτεθειμένα στο φως και τη θερμότητα. Αν η ανάλυση δεν γίνει εντός δύο ωρών, τα δείγματα μπορούν να διατηρηθούν στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C για 24 ώρες.

Απαιτούμενος εξοπλισμός

1. Φιάλες επώασης, γυάλινες, με εσφυρισμένο πώμα, γνωστού όγκου (περίπου 300ml), κατάλληλες για προσδιορισμό BOD. Κάθε φιάλη και το πώμα της θα πρέπει να έχουν τον ίδιο αριθμό αναγνώρισης.
2. Επωαστικός κλίβανος, σταθερής θερμοκρασίας $20 \pm 1^\circ\text{C}$, σκοτεινός, ώστε να αποκλείεται η πιθανότητα παραγωγής DO με το μηχανισμό της φωτοσύνθεσης.

Αντιδραστήρια

1. Ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών αλάτων (pH = 7.2)(α.1)

Ζυγίζονται - 0.85g KH_2PO_4

- 2.85g $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

- 3.34g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

- 0.17g NH_4Cl

Διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται στα 100 ml.

2. Διάλυμα θειικού μαγνησίου Mg SO_4 (α.2)

Ζυγίζονται 2.25g $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται στα 100 ml.

3. Διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου $CaCl_2$ (α.3)

Ζυγίζονται 2.75g $CaCl_2$, διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται στα 100 ml.

4. Διάλυμα χλωριούχου σιδήρου $FeCl_3$ (α.4)

Ζυγίζονται 0.025g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται στα 100 ml.

5. Διάλυμα Θειουρίας (α.5)

Ζυγίζονται 0.2g θειουρίας και διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται στα 100 ml.

6. Αραιωτικό διάλυμα (α.6)

1ml από καθένα από τα πέντε παραπάνω διαλύματα (α.1 – α.5), συνολικά 5ml, διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται στο 1l.

5 ml από καθένα από τα πέντε παραπάνω διαλύματα (1 – 5), διαλύονται σε απιονισμένο νερό και αραιώνονται στα 5L. Στην συνέχεια οξυγονώνουμε το αραιωτικό με ειδική συσκευή για 24 ώρες.

7. Διάλυμα μικροοργανισμών (α.7)

1 ml φρέσκιας λάσπης διαλύεται σε απιονισμένο νερό και αραιώνεται στα 50ml. Στις φιάλες επώασης BOD χρειαζόμαστε 1,5ml μικροοργανισμών.

Πορεία προσδιορισμού

1. Το διαλυμένο οξυγόνο του αραιωτικού δ/τος πρέπει να είναι 7-9 mg/l ($DO_{\text{αραιωτ.}}=7 - 9$ mg/l). Για το λόγο αυτό οξυγονώνουμε το αραιωτικό δ/μα (α.6) με φυσητήρα για 15-20 min.

2. Παρασκευή τυφλού δείγματος

Σε φιάλη επώασης BOD εισάγουμε 300ml αραιωτικού δ/τος (α.6), και μετράμε το διαλυμένο οξυγόνο ($DO_{\text{ταρχ.}}$)

3. Παρασκευή τυφλού δείγματος με μικροοργανισμούς.

Σε φιάλη επώασης BOD τοποθετούνται 300ml αραιωτικού δ/τος (α.6) και 1,5ml δ/τος μικροοργανισμών (α.7)

4. Ανάλογα με το δείγμα πραγματοποιούμε τις απαιτούμενες αραιώσεις:

Απαιτούμενες αραιώσεις ανάλογα με την αναμενόμενη περιοχή BOD.

Πίνακας 8: Ποσοστιαία αραιώση σχετικά με την τιμή BOD

Αναμενόμενη περιοχή BOD	Αραιώση %
2000-7000	1000
1000-3500	500
600-2000	300
200-700	100
100-350	50
70-130	20
25-70	10
10-35	5
6-12	2
0-6	-

5. Σε φιάλες επώασης BOD εισάγουμε 300ml από την κάθε αραιώση που χρειαζόμαστε και 1,5ml μικροοργανισμών και μετράμε το διαλυμένο οξυγόνο ($DO_{\text{αρχ.}}$).

6. Τοποθετούμε τις φιάλες επώασης σε σκοτεινό επωαστικό κλίβανο, σταθερής θερμοκρασίας $20 \pm 1^\circ\text{C}$, για διάρκεια 5 ημερών.

7. Μετά την πάροδο των 5 ημερών βγάζουμε από τον κλίβανο τις φιάλες επώασης με τα δείγματα και το τυφλό και μετράμε εκ νέου το διαλυμένο οξυγόνο για τα δείγματα ($DO_{\text{τελ.}}$) και το τυφλό ($DO_{\text{Ττελ.}}$).

Υπολογισμοί

Το BOD_5 των δειγμάτων υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$BOD_5 = ((DO_{\text{αρχ.}} - DO_{\text{τελ.}})_{\text{δείγμα}} - (DO_{\text{Ταρχ.}} - DO_{\text{Ττελ.}})_{\text{τυφλό}}) * \text{Αραιώση}$$

Έλεγχος νερού αραιώσης

Στο δείγμα του τυφλού χωρίς μικροοργανισμούς δεν πρέπει να παρατηρείται μείωση του DO < 0,5, ενώ στο τυφλό δείγμα με μικροοργανισμούς η μείωση του DO πρέπει να είναι < 1,6 mg/l.

Έλεγχος Δειγμάτων

Στα δείγματα που μετρώνται η διαφορά αρχικού – τελικού DO πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2 mg/l και η τελική τιμή του DO πρέπει να είναι μικρότερη από 1 mg/l.

Έλεγχος pH

Είναι αναγκαίος ο έλεγχος του pH του δείγματος, το οποίο πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή 6.5-8.5 η οποία είναι κατάλληλη για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Αν η τιμή του pH είναι μικρότερη από 6.5 ή μεγαλύτερη από 8.5 προστίθεται 0.1N NaOH ή 0.1N H₂SO₄ αντίστοιχα.

Πιθανές παρεμποδίσεις/ αλληλεπιδράσεις

Στα δείγματα από δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης όπου μπορεί να υπάρχει ικανός αριθμός νιτροποιητικών μικροοργανισμών και άρα κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου ικανή να επηρεάσει τις μετρήσεις του BOD, συνιστάται η προσθήκη ανασχετικού της νιτροποίησης (δηλαδή θειουρίας).

Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Μέτρο εκτίμησης του οργανικού φορτίου των αποβλήτων είναι το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand - COD). Ως COD ορίζεται η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση όλων των οργανικών ενώσεων που περιέχονται σ' ένα δείγμα με προσθήκη ενός ισχυρού οξειδωτικού μέσου (συνήθως K₂Cr₂O₇) σε ισχυρά όξινο περιβάλλον το οποίο επιτυγχάνεται με προθήκη θεικού οξέος (APHA-AWWA-WEF, 1998 - 5220 C).



Το COD αποτελεί ευρέως χρησιμοποιούμενο μέτρο του οργανικού φορτίου των λυμάτων. Έχει το πλεονέκτημα της ταχύτητας (η μέτρηση ολοκληρώνεται σε 2-3 ώρες ενώ η μέτρηση του BOD απαιτεί 5 ημέρες) και επιπλέον, προσδιορίζει τόσο τη βιοαποδομήσιμη όσο και τη μη βιοαποδομήσιμη οργανική ύλη. Έχει ιδιαίτερη αξία για τα απόβλητα που περιέχουν

τοξικές ουσίες οι οποίες θανατώνουν τους μικροοργανισμούς και παρεμποδίζουν τον προσδιορισμό του BOD. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να ελέγχεται η συγκέντρωση ανόργανων ενώσεων που επίσης μπορεί να οξειδωθούν, ώστε να εξαγονται ορθά αποτελέσματα.

Στον προσδιορισμό του COD μετρούνται:

- οι οργανικές ενώσεις που δεν βιοαποδομούνται.
- η οργανική ύλη που βιοαποδομείται από τα βακτήρια κατά την διάρκεια πέντε ημερών της (μέτρηση BOD₅).
- η βιοαποδομήσιμη οργανική ύλη που δεν αποδομείται στις πέντε μέρες αλλά που αποσυντίθεται και επηρεάζει την ποιότητα του νερού.

Από τα πιο πάνω φαίνεται ότι η τιμή του COD ενός δείγματος είναι μεγαλύτερη από αυτή του BOD₅.

Μέτρηση

Το COD μετρήθηκε φασματοφωτομετρικά με τη χρήση των έτοιμων αντιδραστηρίων Spectroquant της Merck (COD cell Test).

Τα έτοιμα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται δίνονται στον Πίνακα 9. Για δείγματα με υψηλότερες συγκεντρώσεις πραγματοποιούνται κατάλληλες αραιώσεις.

Πίνακας 9: Έτοιμα αντιδραστήρια Merck που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του COD

Κωδικός Kit	Περιοχή Μέτρησης (mg/l)	Απαιτούμενη Ποσότητα Δείγματος (ml)
1.14560.0001	4,0 – 40,0	3,0
1.14540.0001	10 - 150	3,0
1.14690.0001	50 – 500	2,0
1.14541.0001	25 – 1500	3,0
1.14691.0001	300 - 3500	2,0

Συγκεκριμένη ποσότητα (2,0 ή 3,0 ml ανάλογα με το kit που χρησιμοποιείται) κατάλληλα αραιωμένου δείγματος τοποθετείται σε φιαλίδιο έτοιμων αντιδραστηρίων.



Παράλληλα ίδια ποσότητα απιονισμένου νερού τοποθετείται σε άλλο φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος του ίδιου kit, για τη μέτρηση του blank. Τα φιαλίδια αναδεύονται και τοποθετούνται στον θερμοαντιδραστήρα για χώνευση στους 148°C για 2 ώρες. Έπειτα τα φιαλίδια αφήνονται να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και μετριέται φασματοφωτομετρικά η συγκέντρωση του COD. Πρώτα τοποθετείται στον υποδοχέα του φασματοφωτόμετρου NOVA60 το blank φιαλίδιο και έπειτα το φιαλίδιο του δείγματος στο οποίο γίνεται κατάλληλη διόρθωση μέσω του blank.

5.2.3. Προσδιορισμός ανόργανων παραμέτρων

Μέτρηση των νιτρικών ιόντων

Η Οδηγία Εργασίας που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στην οδηγία Spectroquant Nitrate Test της MERCK με κωδικό 1.09713.0001 ή 1.09713.0002. Η μέθοδος αυτή επίσης στηρίζεται στην μέθοδο ISO 7890/1.

Χειρισμός υγρού δείγματος

Το δείγμα διηθείται απευθείας από μεμβράνη 0,45 μm. Το διήθημα συλλέγεται και αραιώνεται κατάλληλα (εάν αυτό απαιτείται) ώστε το τελικό δείγμα να είναι μέσα στην περιοχή μέτρησης τιμών της μεθόδου. Στον παρακάτω Πίνακα δίνονται οι περιοχές μέτρησης των Spectroquant Nitrate Test της MERCK.

Πίνακας 10: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Nitrate Test

Κωδικός Nitrate Test	Μέγεθος κυψελίδας	Περιοχή μέτρησης mg/l NO ₃ -N
1.09713.0001	50 mm	0.10 – 5.00
1.09713.0002	10 mm	1.0 – 25.0

Ανάλυση:

Για το Nitrate Test 1.09713.0001 ή 1.09713.0002 η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. Σε ένα καθαρό φιαλίδιο προσθέτουμε **4,0 ml** αντιδραστηρίου **NO₃-1**,
2. Προσθέτουμε **0,5 ml** κατάλληλα αραιωμένου δείγματος, ΔΕΝ αναμιγνύουμε.
3. Προσθέτουμε **0,5 ml** αντιδραστηρίου **NO₃-2**, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
4. Αναμονή **10 λεπτά** και έπειτα γεμίζουμε την κυψελίδα μέτρησης με το υγρό.
5. Φωτομέτρηση στο NOVA 60 .
6. Η μέτρηση του BLANK γίνεται με αντικατάσταση του δείγματος με απιονισμένο νερό.

Μέτρηση των νιτρωδών ιόντων

Η Οδηγία Εργασίας βασίζεται στην οδηγία Spectroquant Nitrite Test της MERCK. Η μέθοδος αυτή επίσης στηρίζεται στις μεθόδους EPA 354.1, US Standard Methods 4500-NO₂⁻ B και EN 26 777.

Χειρισμός υγρών δειγμάτων:

Το δείγμα διηθείται απευθείας από μεμβράνη 0,45 μm. Το διήθημα συλλέγεται και αραιώνεται κατάλληλα (εάν αυτό απαιτείται) ώστε το τελικό δείγμα να είναι μέσα στην περιοχή μέτρησης τιμών της μεθόδου. Στον παρακάτω Πίνακα 11 δίνονται οι περιοχές μέτρησης των Spectroquant Nitrite Test της MERCK.

Πίνακας 11 :Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Nitrite Test

Κωδικός Nitrite Test	Μέγεθος κυψελίδας	Περιοχή μέτρησης mg/l NO ₂ -N
1.14776.0001	50 mm	0.002 – 0.200
1.14776.0002	10 mm	0.02 – 1.00

Ανάλυση:

Προσδιορίζουμε μέσω του Spectroquant Nitrite Test με κωδικό 1.14776.0001 ή 1.14776.0002.

Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. 5 ml διηθημένου και κατάλληλα αραιωμένου δείγματος εισάγεται στο φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος
2. Προσθέτουμε ένα κουταλάκι αντιδραστήριου NO₂ -1. Το φιαλίδιο πωματίζεται και ανακινείται μέχρις ότου τα αντιδραστήρια να διαλυθούν πλήρως
3. Αναμένουμε για 10 λεπτά και φωτομετρούμε στο NOVA60 .

Επιπλέον δείγματα με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις νιτρωδών (> 1 mg/l) θα πρέπει να αραιώνονται.

Μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου NH₄-N

Η Οδηγία Εργασίας βασίζεται στην οδηγία Spectroquant Ammonium Test της MERCK με κωδικό 1.14752.0001 ή 1.14752.0002 και 1.00683.0001. Η μέθοδος αυτή επίσης στηρίζεται στις μεθόδους EPA 350.1 , APHA 4500-NH₃D και ISO 7150/1.

Χειρισμός δείγματος: Υγρό

Το δείγμα διηθείται απευθείας από μεμβράνη 0,45 μm. Το διήθημα συλλέγεται και αραιώνεται κατάλληλα (εάν αυτό απαιτείται) ώστε το τελικό δείγμα να είναι μέσα στο range τιμών της μεθόδου. Πίνακα 12

Πίνακας 12: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Ammonium Test

Κωδικός Ammonium Test	Μέγεθος κυψελίδας	Περιοχή μέτρησης mg/l NH ₄ -N
1.14752.0001	50 mm	0.010 – 0.500
1.14752.0002	10 mm	0.05 – 3.00
1.00683.0001	10 mm	2.0 – 75
		5 - 150

Ανάλυση:

Ammonium Test Kit 1.14752.0001 ή 1.14752.0002 :

1. Προσθέτουμε **5.0 ml** κατάλληλα αραιωμένου δείγματος σε φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος.
2. Προσθέτουμε 0,60 ml αντιδραστηρίου NH₄-1, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
3. Στη συνέχεια προσθέτουμε 1 δόση αντιδραστηρίου NH₄-2, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
4. Αναμονή 5 min.
5. Μετά τα 5 min προσθέτουμε 4 σταγόνες αντιδραστηρίου NH₄-3, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
6. Αναμονή 5 min και έπειτα γεμίζουμε την κυψελίδα μέτρησης με το υγρό.
7. Φωτομέτρηση στο NOVA 60.
8. Η μέτρηση του BLANK γίνεται με αντικατάσταση του δείγματος με απιονισμένο νερό.

Ammonium Test Kit 1.00683.0001:

Range 2.0-75.0 mg/l NH₄- N :

1. Προσθέτουμε 5.0 ml αντιδραστηρίου NH₄-1, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
2. Στη συνέχεια προσθέτουμε 0.20 ml διηθημένου δείγματος, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
3. Στην συνέχεια προσθέτουμε ένα κουταλάκι αντιδραστηρίου NH₄- 2 πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
4. Αναμονή 15 min και έπειτα γεμίζουμε την κυψελίδα μέτρησης με το υγρό.
5. Φωτομέτρηση στο NOVA 60.
6. Η μέτρηση του BLANK γίνεται με αντικατάσταση του δείγματος με απιονισμένο νερό.

Range 5.0-150 mg/l NH₄- N :

1. Προσθέτουμε 5.0 ml αντιδραστηρίου NH₄-1, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
2. Στη συνέχεια προσθέτουμε 0.10 ml διηθημένου δείγματος, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
3. Στην συνέχεια προσθέτουμε ένα κουταλάκι αντιδραστηρίου NH₄- 2 πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
4. Αναμονή 15 min και έπειτα γεμίζουμε την κυψελίδα μέτρησης με το υγρό.
5. Φωτομέτρηση στο NOVA 60.
6. Η μέτρηση του BLANK γίνεται με αντικατάσταση του δείγματος με απιονισμένο νερό.
7. Επιπλέον δείγματα με πολύ υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών (> 150 mg/l) θα πρέπει να αραιώνονται.



Μέτρηση του CN

Η Οδηγία Εργασίας αυτή περιγράφει τον τρόπο μέτρησης του κυανίου με cell kit

της Merck. Χρησιμοποιείται το Kit της Merck (Cr) 1.09701.0001.

Πίνακας 13: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant CN Test

Κυψελίδα (mm)	Περιοχή μέτρησης CN (mg/l)
10	0,002 – 0,1
20	0,005 – 0,2
50	0,010 – 0,500

Η διαδικασία είναι η ακόλουθη:

1. Πρώτα ελέγχεται η τιμή του pH του δείγματος η οποία πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 4,5-8.
2. Προσθέτουμε **10.0 ml** κατάλληλου δείγματος σε φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος.
3. Προσθέτουμε 1 δόση αντιδραστηρίου CN-1, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
4. Τοποθετούμε τα φιαλίδια για χώνευση στους 120⁰c για 30 min και έπειτα τα αφήνουμε να κρυώσουν.
5. Προσθέτουμε αμέσως 3 σταγόνες αντιδραστηρίου CN-2, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε προσεχτικά.
6. Προσθέτουμε **5.0 ml** από το δείγμα που έχουμε φτιάξει σε φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος
7. Προσθέτουμε 1 δόση αντιδραστηρίου CN-3, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
8. Προσθέτουμε 1 δόση αντιδραστηρίου CN-4, πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
9. Αναμονή 10 min και έπειτα γεμίζουμε την κυψελίδα μέτρησης με το δείγμα.
10. Φωτομέτρηση στο NOVA 60.
11. Η μέτρηση του BLANK γίνεται με αντικατάσταση του δείγματος με απιονισμένο νερό.

Μέτρηση του ελεύθερου χλωρίου (Cl₂)

Η Οδηγία Εργασίας που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στην οδηγία Spectroquant Chlorine Cell Test με κωδικό 1.00597.0001. Η μέθοδος αυτή επίσης στηρίζεται στις μεθόδους EPA 330.5 , US Standard Methods 4500-Cl₂G και EN ISO 7393.

Χειρισμός δείγματος: Υγρό

Το δείγμα διηθείται απευθείας από μεμβράνη 0,45 μm. Το διήθημα συλλέγεται και αραιώνεται κατάλληλα (εάν αυτό απαιτείται) ώστε το τελικό δείγμα να είναι μέσα στο range τιμών της μεθόδου.

Πίνακας 14: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant CN Test

Κωδικός Chlorine Cell Test	Περιοχή μέτρησης mg/l Cl ₂
1.00597.0001	0.03 – 6.00

Ανάλυση:

1. Στα έτοιμα φιαλίδια ανάπτυξης χρώματος προσθέτουμε 5 ml διηθημένου δείγματος κατάλληλα αραιωμένου.
2. Επίσης, προσθέτουμε ένα κουταλάκι αντιδραστηρίου Cl₂-1 πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
3. Αναμονή 3 min, μέτρηση στο NOVA60: **Αποτέλεσμα A= ελεύθερο χλώριο**
4. Στην συνέχεια στο διάλυμα προσθέτουμε 2 σταγόνες αντιδραστηρίου Cl₂-2.
5. Μέτρηση στο NOVA60: **Αποτέλεσμα B= ολικό χλώριο**

Υπολογισμοί:

mg/l combined chlorine = ολικό χλώριο – ελεύθερο χλώριο

Μέτρηση των φαινολών

Η Οδηγία Εργασίας βασίζεται στην οδηγία Spectroquant Phenol Test της MERCK με κωδικό 1.00856.0001. Η μέθοδος αυτή επίσης στηρίζεται στις μεθόδους EPA 420.1 , US Standard Methods 5530 και ISO 6439.

Χειρισμός δείγματος: Υγρό

Το δείγμα διηθείται απευθείας από μεμβράνη 0,45 μm. Το διήθημα συλλέγεται και αραιώνεται κατάλληλα (εάν αυτό απαιτείται) ώστε το τελικό δείγμα να είναι μέσα στο range τιμών της μεθόδου.

Πίνακας 15: Περιοχές μέτρησης των Spectroquant Phenol Test

Κωδικός Phenol Test	Μέγεθος κυψελίδας	Περιοχή μέτρησης mg/l phenol
1.00856.0001	50 mm	0.025 – 1.000
	10 mm	0.10 – 5.00

Ανάλυση:

Range 0.025-5.00 mg/l Phenol :

1. Σε φιαλίδιο ανάπτυξης χρώματος προσθέτουμε 10 ml διηθημένου δείγματος κατάλληλα αραιωμένου.
2. Στη συνέχεια προσθέτουμε 1.0 ml αντιδραστηρίου Ph-1 πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
3. Επίσης, προσθέτουμε ένα κουταλάκι αντιδραστηρίου Ph-2 πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
4. Επίσης, προσθέτουμε ένα κουταλάκι αντιδραστηρίου Ph-3 πωματίζουμε και αναμιγνύουμε.
5. Αναμονή 10 min και έπειτα γεμίζουμε την κυψελίδα μέτρησης με το υγρό.
6. Φωτομέτρηση στο NOVA 60.

Μέτρηση των Ολικών Αιωρούμενων Στερεών (TSS), των Πτητικών Αιωρούμενων Στερεών (VSS) και των Ολικά Διαλυμένων Στερεών (TDS)

Η Οδηγία Εργασίας βασίζεται στο Standard Methods, 20th edition (part 2540).

ΜΕΘΟΔΟΣ

Η παρουσία των στερεών στους υδάτινους αποδέκτες δημιουργεί ανεπιθύμητες καταστάσεις ανεξάρτητα από τα ειδικότερα χημικά χαρακτηριστικά τους. Τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά προκαλούν θολότητα και μειώνουν τη διαπερατότητα του φωτός με αποτέλεσμα την ολική ή μερική αναστολή της φωτοσύνθεσης και τη δημιουργία δυσμενών

συνθηκών για τους υδρόβιους οργανισμούς, (APHA-AWWA-WEF, 1998 – 2540 D, 2540 C, 2540 E, 2540 F). Επιπλέοντα στερεά επηρεάζουν δυσμενώς την αισθητική των υδάτινων αποδεκτών, όπως και τα αιωρούμενα και κολλοειδή και επιπλέον μπορούν να παρεμποδίσουν την μεταφορά οξυγόνου μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού. Τα καθιζάνοντα στερεά σχηματίζουν ιλύ στον πυθμένα των υδάτινων αποδεκτών.

1) Ολικά Αιωρούμενα Στερεά σε υγρό, Total Suspended Solids TSS : Ως “ολικά στερεά” αναφέρεται το στερεό υπόλειμμα που παραμένει στο δείγμα, μετά τη θέρμανση του στους 103-105⁰C. Περιλαμβάνει τόσο τις διαλυμένες ουσίες που υπάρχουν στο δείγμα όσο και τα αιωρούμενα σε αυτό συστατικά.

Απαιτούμενος εξοπλισμός

1. Συσκευή διήθησης γυάλινη με αντλία κενού
2. Φίλτρα GF/C (Whatman ή αντίστοιχα)
3. Φούρνος ξήρανσης σε θερμοκρασία 103 - 105 °C ± 2°C
4. Φούρνος VSS
5. Ξηραντήρας

Εκτέλεση προσδιορισμού

- (1) Το φίλτρο GF/C τοποθετείται στο φούρνο για τη μέτρηση των VSS και αφήνεται για 20 λεπτά στους 550°C.
- (2) Το φίλτρο τοποθετείται σε ξηραντήρα για τουλάχιστον 20 λεπτά
- (3) Πραγματοποιείται ζύγιση του φίλτρου στο ζυγό KERN (Ζύγιση A, mg)
- (4) Πραγματοποιείται διήθηση γνωστού όγκου δείγματος V (ml)
- (5) Το φίλτρο τοποθετείται στο φούρνο ξήρανσης στους 103-105 °C ± 2°C για 1 ώρα
- (6) Το φίλτρο τοποθετείται στον ξηραντήρα για 15 λεπτά και έπειτα ζυγίζεται (Ζύγιση B mg).

Οι τιμές των αιωρούμενων στερεών υπολογίζονται με βάση τον τύπο :

$$\text{TSS (mg/l)} = \frac{\text{B - A}}{\text{V}} \times 1000$$

V ml δείγματος

όπου : B = βάρος φίλτρου μετά την ξήρανση στους 103-105οC σε mg

A = αρχικό βάρος φίλτρου σε mg

2) Πτητικά Αιωρούμενα Στερεά σε Υγρό (Volatile Suspended Solids VSS)

Προσδιορίζονται με καύση του στερεού υπολείμματος στους 550°C ± 10°C. Κατά την καύση οξειδώνονται πρακτικά όλες οι οργανικές ουσίες, επομένως η απώλεια βάρους η οποία προσδιορίζει τα πτητικά στερεά αποτελεί μέτρο των οργανικών ουσιών που περιέχονται στα λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα, αν και κατά την καύση απομακρύνονται και ορισμένα ανόργανα πτητικά συστατικά

Εκτέλεση προσδιορισμού

- (1) Το φίλτρο GF/C που έχει υποστεί διήθηση και έχει ξηραθεί στους 103-105°C τοποθετείται στο φούρνο των πτητικών (VSS) για 20οC στους 550οC.
- (2) Το φίλτρο GF/C τοποθετείται στον ξηραντήρα για τουλάχιστον 20 λεπτά
- (3) Ζυγίζεται το φίλτρο (Ζύγιση Γ mg)

Υπολογισμοί

Οι τιμές των πτητικών αιωρούμενων στερεών υπολογίζονται με βάση τον τύπο :

$$\text{VSS (mg/l)} = \frac{\text{B - Γ}}{\text{V}} \times 1000$$

V ml δείγματος

όπου : Γ = βάρος φίλτρου μετά τους 550οC σε mg

B = βάρος φίλτρου μετά την ξήρανση στους 103-105οC σε mg

3) Ολικά Διαλυμένα Στερεά, Total Dissolved Solids (TDS)

Είναι το υπόλειμμα που παραμένει μετά από διήθηση του δείγματος και μετά την ξήρασή του στους 180°C.

Απαιτούμενος εξοπλισμός

1. Συσκευή διήθησης γυάλινη με αντλία κενού
2. Φίλτρα GF/C
3. Κατάλληλη κάψα
4. Φούρνος ξήρασης σε θερμοκρασία 180 ± 2 °C
5. Ξηραντήρας

Αρχή της μεθόδου

Συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος διέρχεται από φίλτρο GF/C και ορισμένος όγκος από το διήθημα ξηραίνεται σε προζυγισμένη κάψα στους 180 ± 2 °C μέχρι σταθερού βάρους. Η αύξηση του βάρους της κάψας είναι τα ολικά διαλυμένα στερεά. Ο όγκος του δείγματος πρέπει να είναι τέτοιος ώστε το στερεό υπόλειμμα να μην ξεπερνά τα 200 mg ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης απομάκρυνση του ύδατος από αυτό.

Εκτέλεση προσδιορισμού

1. Η κάψα θερμαίνεται στους 180 ± 2 °C για μία ώρα στον φούρνο ξήρασης
2. Η κάψα τοποθετείται στον ξηραντήρα για 15-20 λεπτά
3. Ζύγιση της άδειας κάψας (βάρος M1)
4. Επιλέγεται όγκος δείγματος ώστε το ξηραμένο υπόλειμμα να κυμαίνεται μεταξύ 2,5-200 mg
5. Συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος V (π.χ. 10 ml) διηθείται υπό κενό διαμέσου των φίλτρων GF/C. Το κενό θα πρέπει να συνεχισθεί για τουλάχιστον 3 λεπτά μετά το πέρα της διήθησης, ενώ κατά τη διάρκεια της διήθησης γίνεται και υποβοήθηση με απιονισμένο νερό

6. Το διήθημα συλλέγεται και τοποθετείται στην κάψα, η οποία ξηραίνεται στους 180 ± 2 °C στο φούρνο ξήρανσης για τουλάχιστον 1 ώρα

7. Η κάψα τοποθετείται σε ξηραντήρα και έπειτα ζυγίζεται (M2)

Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών υπολογίζονται με βάση τον τύπο :

$$\text{TDS (mg/l)} = \frac{(M_2 - M_1) \times 1000}{V}$$

V ml δείγματος

όπου : M_2 = βάρος κάψας μετά την ξήρανση στους 180 ± 2 °C σε mg

M_1 = αρχικό βάρος κάψας

Πιθανές παρεμποδίσεις

Δείγματα με υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} είναι υγροσκοπικά και πιθανόν να απαιτούν παρατεταμένη ξήρανση για την πλήρη απομάκρυνση του ύδατος, προσεκτική ψύξη και άμεση ζύγιση.

Μέτρηση των μετάλλων με Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης

Η Οδηγία Εργασίας βασίζεται στις οδηγίες του κατασκευαστή (manual του οργάνου).

ΜΕΘΟΔΟΣ

Προετοιμασία δείγματος:

Σε περίπτωση στερεού δείγματος ή υγρού με μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεά απαιτείται προεπεξεργασία του δείγματος όπως περιγράφεται από την παρακάτω διαδικασία χώνευσης:

1. 0,5g στερεού τοποθετούνται σε ειδική κωνική φιάλη και προσθέτονται 4ml H_2SO_4 καθαρότητας 97%
2. ακολούθως τοποθετείται σε ειδική συσκευή χώνευσης που φτάνει σε θερμοκρασία 440°C

- σε 5min προσθέτονται 16,7ml υπεροξειδίου του υδρογόνου 30% και σε διάστημα ενός λεπτού από την στιγμή που θα πέσει η τελευταία σταγόνα υπεροξειδίου σταματάει η χώνευση
- αφού κρυώσει εντελώς η κωνική φιάλη, διηθείται υπό κενό το υγρό διάλυμα (V_2) που περιέχει με φίλτρα GF/C 1,2μm και μετριέται η περιεκτικότητα του (C_2) σε μέταλλο (γίνεται προσθήκη απιονισμένου νερού για πλήρη απομάκρυνση του διαλύματος από την ειδική κωνική φιάλη).

Όταν το δείγμα είναι υγρό ή σε μορφή υδαρής λάσπης (MLSS < 6 g/l) δεν απαιτείται η παραπάνω προεπεξεργασία. Πραγματοποιείται μόνο διήθηση με φίλτρα GF/C 1,2μm και η κατάλληλη αραιώση του δείγματος. Στη συνέχεια ακολουθούνται οι παρακάτω υπολογισμοί για την εύρεση της περιεκτικότητας του δείγματος σε μέταλλο:

Για να υπολογιστεί η περιεκτικότητα του δείγματος σε μέταλλο (C_1) γίνεται χρήση του τύπου:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

όπου

C_1 : συγκέντρωση μετάλλου στο δείγμα (σε ppm)

V_1 : ο αρχικός όγκος βιομάζας που ξηράθηκε στο φούρνο (σε ml)

C_2 : συγκέντρωση μετάλλου στο διήθημα μετά την χώνευση (σε ppm)

V_2 : τελικός όγκος διηθήματος (σε ml)



Εικόνα 2: Ειδική διάταξη για την πραγματοποίηση της χώνευσης

Όταν το δείγμα είναι στερεό τότε ακολουθούνται οι παρακάτω υπολογισμοί για την εύρεση της περιεκτικότητας του δείγματος σε μέταλλο (mg/kg):

$$\text{Περιεκτικότητα σε μέταλλο (mg/kg)} = C_{\text{AAS}} * \frac{V_{\text{χων}}}{1000} * \frac{1000}{0,5}$$

Ακολουθεί η μέτρηση του μετάλλου με τη μέθοδο της Ατομικής Απορρόφησης.

Θέτουμε τα κουμπιά:

- Power on
- Mode – continuous
- BG Corrector –AA
- Signal – lamp
- Recorder – absorbance
- Lamp, Gain – πλήρως αριστερά
- (V – vertical, H – horizontal, R – rotational)

Ευθυγράμμιση Λυχνίας

1. Τοποθετούμε την λυχνία στην αντίστοιχη θέση και με το κουμπί LAMP (στο LAMP/ENERGY) ρυθμίζουμε την ένταση του ρεύματος στην τιμή λειτουργίας της λυχνίας. (το μήκος κύματος που αναγράφεται ως operating current continuous στη λυχνία)
2. Θέτουμε το κουμπί SIGNAL στη θέση SET UP. Επιλέγουμε με τα ανάλογα κουμπιά το SLIT και το WAVELENGTH (COARSE)
3. Με το κουμπί GAIN ρυθμίζουμε την ένδειξη στον πίνακα LAMP/ENERGY στην τιμή 65 – 70

4. Με το FINE ADJUST του μήκους κύματος βρίσκουμε επίσης την max τιμή
5. Με τα δύο κουμπιά της λυχνίας βρίσκουμε την άριστη θέση, ώστε το LAMP/ENERGY να δείχνει το max (Αν στην οθόνη εμφανίζεται EE, τότε επαναφέρουμε με το κουμπί GAIN στη τιμή 65 – 70)
6. Μετά τις άριστες θέσεις της λυχνίας και του μήκους κύματος ρυθμίζουμε με το GAIN την τιμή του πίνακα LAMP/ENERGY στο 75

Ρύθμιση καυστήρα (εάν απαιτηθεί)

1. Τοποθετούμε το flow spoiled ή το glass bed και χαμηλώνουμε τον καυστήρα (V) κάτω από τη φωτεινή ακτίνα
2. Θέτουμε το SIGNAL στη θέση ABS και μηδενίζουμε την ένδειξη του πίνακα με το AZ
3. Ανυψώνουμε τον καυστήρα (V) μέχρι ο πίνακας να δείχνει ABS. Χαμηλώνουμε (V) μέχρι η ABS να γίνει 0 και κατά $\frac{1}{4}$ της περιστροφής του κατάλληλου κουμπιού (V) ακόμα
4. Ανοίγουμε το AIR, την AC και τον απαγωγό (P_{ac} εξόδου = 1bar) [προσοχή: ποτέ μόνο καύσιμο. Ανοίγω πρώτα αέρα και μετά καύσιμο]
5. Ανάβουμε τη φλόγα πιέζοντας το IGNITE και μηδενίζουμε με το AZ. Αναρροφάμε το standard solution και ρυθμίζουμε το nebulizer καθώς και τον καυστήρα (H, R), ώστε να έχουμε την max ABS
6. Μετά τις ρυθμίσεις, αναρροφάμε το τυφλό και πιέζουμε το AZ για να μηδενίσουμε

Βαθμονόμηση

1. Θέτουμε το κουμπί SIGNAL στο CONC και το κουμπί MODE στο HOLD
2. Θέτουμε 1t – 3 AVE [\Rightarrow κάθε 1 sec κάνει μέτρηση και μετά από τρεις μετρήσεις στο readout βγάζει το M.O.]
3. Εισάγουμε τις τιμές των standards κατά αύξουσα σειρά στα S_1, S_2, S_3 [Βάζουμε το std και πατάμε την τιμή του με 2 ή 3 δεκαδικά και μετά πατάμε 2 φορές το αντίστοιχο κουμπί του std S_1, S_2, S_3]
4. Αναρροφάμε το τυφλό και μηδενίζουμε με το AZ

5. Αναρροφάμε τα standards και πιέζουμε κατά σειρά τα S_1 , S_2 , S_3

Ανάλυση

1. Μηδενίζουμε με το τυφλό (blanc, AZ)
2. Αναρροφάμε το δείγμα και πιέζουμε το READ. Στον πίνακα διαβάζουμε τη συγκέντρωσή του
3. **Κλείνω πρώτα καύσιμο από βαλβίδα, μετά διακόπτη καυσίμου.** Ακολούθως κλείνω το διακόπτη του αέρα, μετά τον απαγωγό και τέλος το κομπρεσέρ
4. Όλα τα κουμπιά στρέφονται αριστερά και κλείνω το μηχάνημα
5. Βγάζω λάμπα και φυλάσσω

Μέτρηση εκπομπής [Χωρίς λυχνία]

Βαθμονόμηση

1. Θέτουμε το SIGNAL στη θέση EM και τα ανάλογα SLIT και WAVELENGTH. Ρυθμίζουμε τις παροχές των αερίων και ανάβουμε τη φλόγα
2. Αναρροφάμε το blanc και πιέζουμε το AZ
3. Αναρροφάμε το πυκνό standard και αριστοποιούμε το WAVELENGTH, ώστε να έχουμε τη max τιμή στον πίνακα LAMP/ENERGY. Με το GAIN, συνεχίζοντας την αναρρόφηση του standard ρυθμίζουμε την ένδειξη στο 75
4. Επιλέγουμε το χρόνο $t = 0.2 \div 60 \text{ sec}$
5. Θέτουμε το MODE στη θέση HOLD, αναρροφάμε το blanc και πιέζουμε το AZ
6. Εκτελούμε τη βαθμονόμηση κατά τα γνωστά, εισάγοντας τις τιμές συγκέντρωσης, αλλά έχοντας πάντοτε το SIGNAL στη θέση EM
7. Αναλύουμε τα δείγματα

Η μέγιστη αποδεκτή απόκλιση των συγκεντρώσεων των μετρούμενων μετάλλων παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα (βάσει των Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater).(19)

Πίνακας 16: Μέγιστη αποδεκτή απόκλιση των συγκεντρώσεων των μετρούμενων μετάλλων

Στοιχείο	Μέγιστη Απόκλιση Μετάλλων (%)
Cd	6,9
Cu	8,3
Fe	5,8
Pb	4,7
Mn	7,8
Ni	9,8
Zn	8,2
Ca	4,2
Mg	10,5
Na	4,5
Cr	10,0

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

6.1. Αποτελέσματα αναλύσεων από τα σημεία συλλογής των λυμάτων

Κατά τη διάρκεια παρακολούθησης της μονάδας συλλέχθηκαν δείγματα από τα σημεία συλλογής των λυμάτων από τις εισόδους 1 και 2 τα οποία ακολούθως εισέρχονται στη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Από τις αναλύσεις των δειγμάτων που ελήφθησαν κατά τις έντεκα ημέρες δειγματοληψίας από το στάδιο του βιοεπιλογέα, παρατηρήθηκαν τιμές pH οι οποίες κυμαίνονταν από 6,74-7,54 με μέσο όρο (μ.ο) 7,29. Η αγωγιμότητα είχε τιμές από 803-999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με μ.ο 726,43 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι συγκεντρώσεις των TSS ήταν από 10-62,1 mg/L με μ.ο 183,4 mg/L και οι συγκεντρώσεις των VSS από 50-109,43 mg/L με μ.ο 145 mg/L. Οι συγκεντρώσεις των TDS ήταν από 324-884 mg/L με μ.ο 378,82 mg/L, του COD από 106-578 mg/L με μ.ο 241,14 mg/L, και του BOD από 52-290 mg/L με μ.ο 126 mg/L. Για τα NO_x που μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις τους κυμαίνονταν ως εξής: για τα $\text{NO}_2\text{-N}$ από 0,1-2,15 mg/L με μ.ο 0,48 mg/L, για τα $\text{NO}_3\text{-N}$ από 6,9-17,4 mg/L με μ.ο 12,72 mg/L και για τα NH_4 από 1,33-39,8 mg/L με μ.ο 9,64 mg/L. Για τις φαινόλες οι συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν ήταν από 0,23-1,96 mg/L με μ.ο 0,72 mg/L και για το Cl_2 0,01-0,03 mg/L με μ.ο 0,02 mg/L. Τέλος μετρήθηκε CN του οποίου οι συγκεντρώσεις ήταν από 0,01-0,082 mg/L με μ.ο 0,05 mg/L.

Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα καθώς και στα διαγράμματα που αφορούν ξεχωριστά την κάθε παράμετρο που μετρήθηκε.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από την είσοδο 1

ΕΙΣΟΔΟΣ 1						
Παράμετροι	17/1/2011	16/3/2011	5/4/2011	6/4/2011	13/5/2011	18/5/2011
pH	7,54	7,15	7,49	7,17	6,91	6,74
Αγωγιμότητα $\mu\text{S}/\text{cm}$	n.m.	n.m.	614	553	746	475
TDS (mg/L)	188	197	306	276	884	237
TSS (mg/L)	n.m.	n.m.	13,3	6,7	153,33	183,4
VSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	133,3	145
COD (mg/L)	186	362	97	284	578	413
BOD (mg/L)	65	228	46	114	290	252
NO ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	2,150	0,220	0,014	0,01
NO ₃ (mg/L)	n.m.	n.m.	13,9	6,9	<0,010	<0,010
NH ₄ (mg/L)	n.m.	n.m.	8,9	1,0	0,3	2,47
Φαινόλες (mg/L)	n.m.	n.m.	0,410	n.d.	1,960	1,1
Cl ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	0,020	n.d.	0,010	0,03
CN (mg/L)	0,011	n.m.	0,002	0,003	<0,002	<0,002

Πίνακας 17: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από την είσοδο 2

ΕΙΣΟΔΟΣ 2					
Παράμετροι	17/1/2011	16/3/2011	5/4/2011	6/4/2011	13/5/2011
pH	7,42	7,5	7,41	7,50	7,37
Αγωγιμότητα $\mu\text{S}/\text{cm}$	n.m.	n.m.	803	895	999
TDS (mg/L)	324	407	400	450	498
TSS (mg/L)	n.m.	n.m.	10	14	53,33
VSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	50
COD (mg/L)	158	182,5	108	106	178
BOD (mg/L)	52	109	72,3	65,7	92
NO ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.d.	n.d.	0,013
NO ₃ (mg/L)	n.m.	n.m.	17,4	n.d.	<0,010
NH ₄ (mg/L)	n.m.	n.m.	13,7	39,8	1,3
Φαινόλες (mg/L)	n.m.	n.m.	0,230	0,317	0,330
Cl ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.d.	n.d.	0,010
CN (mg/L)	0,025	n.m.	0,003	0,01	<0,002

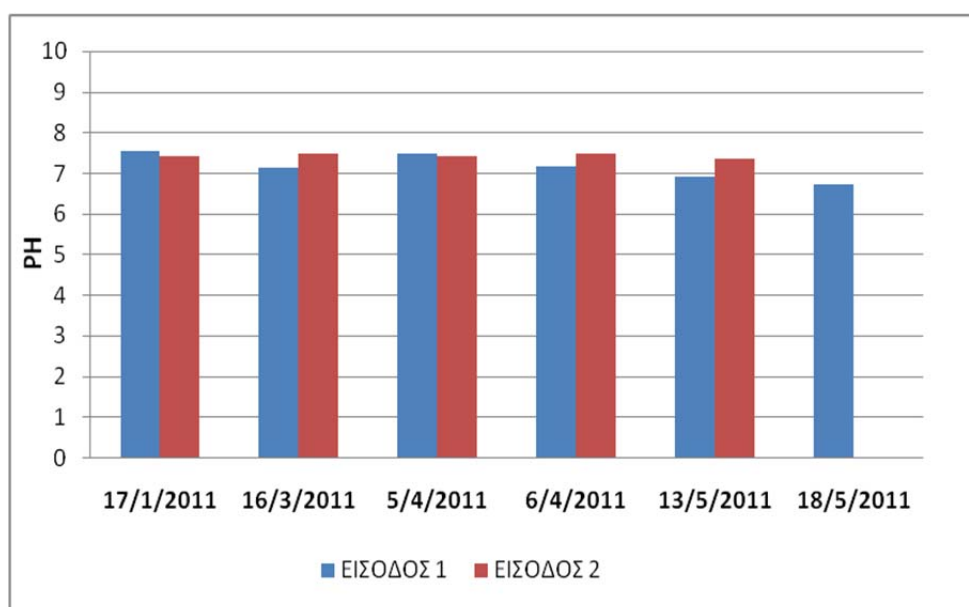
Ακολουθως υπολογίζεται ο λόγος BOD/COD με στόχο το χαρακτηρισμό του αποβλήτου. Παρατηρείται ότι ο λόγος BOD/COD στις εισόδους 1 και 2 κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,33-0,67 με Μ.Ο=0,49 στην είσοδο 1 και Μ.Ο=0,55 στην είσοδο 2. Όντως λοιπόν και σύμφωνα με το λόγο αυτό το απόβλητο χαρακτηρίζεται ως ανεπεξέργαστο.

Πίνακας 18:Μετρήσεις BOD/COD στις εισόδους 1 και 2

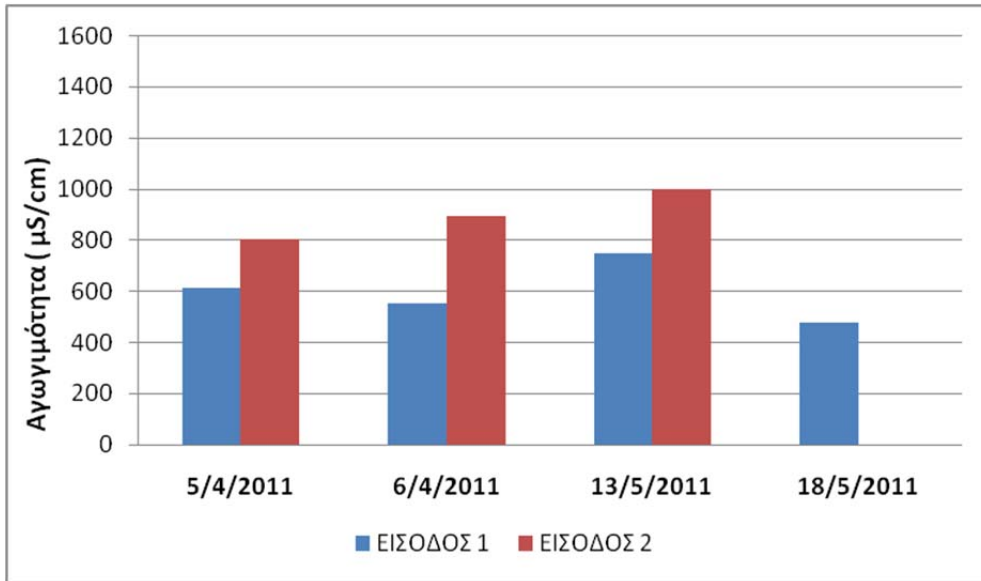
COD	BOD	BOD/COD
ΕΙΣΟΔΟΣ 1		
186	65	0,35
362	228	0,63
97	46	0,47
284	114	0,40
578	290	0,50
413	252	0,61

COD	BOD	BOD/COD
ΕΙΣΟΔΟΣ 2		
158	52	0,33
182,5	109	0,6
108	72,3	0,67
106	65,7	0,62
178	92	0,52

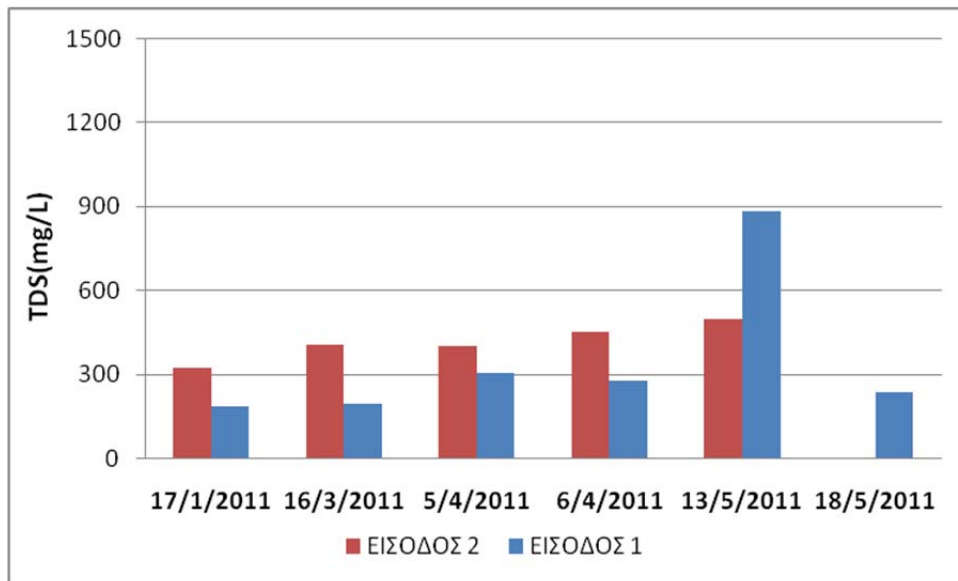
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται διαγραμματικά οι συγκεντρώσεις για την κάθε παράμετρο που μετρήθηκε.



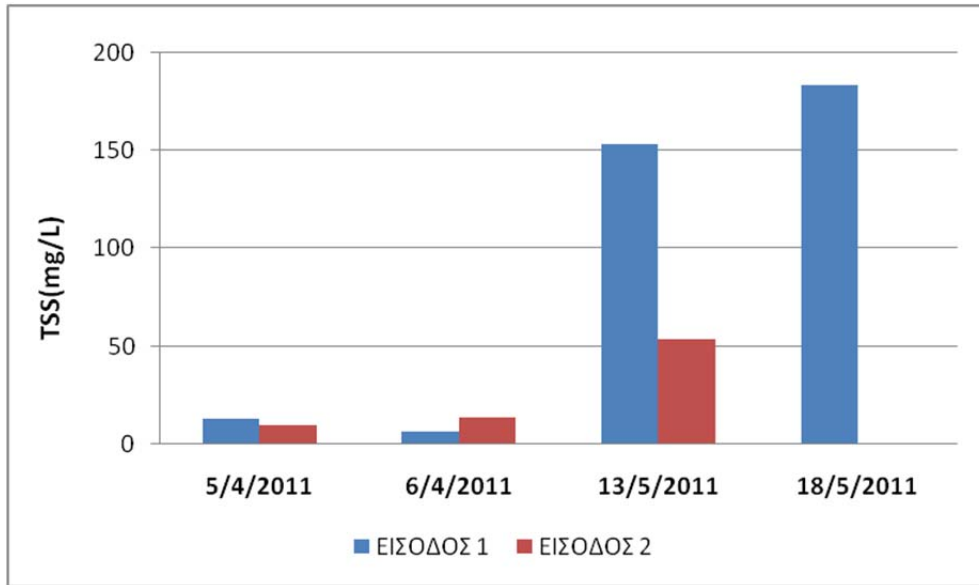
Σχήμα 5: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



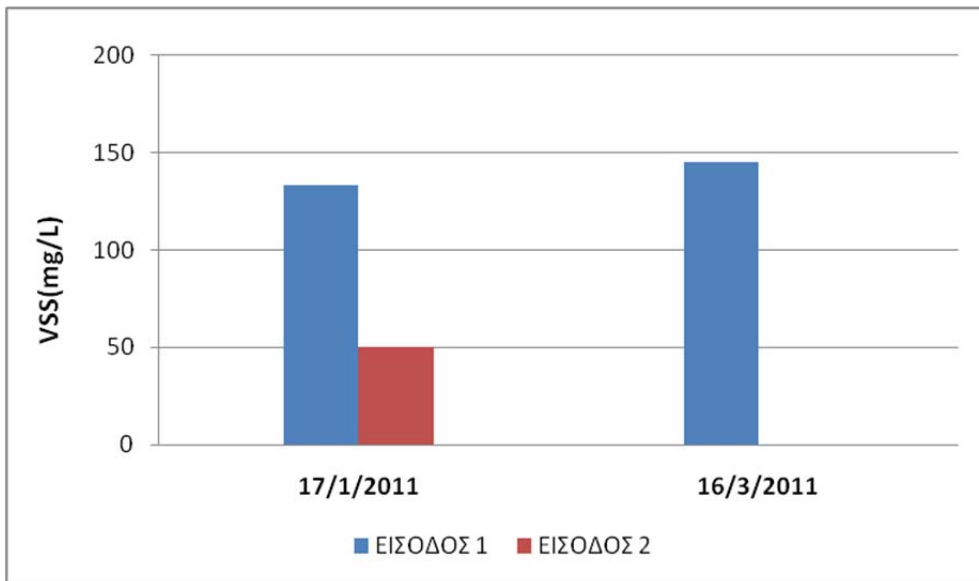
Σχήμα 6: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



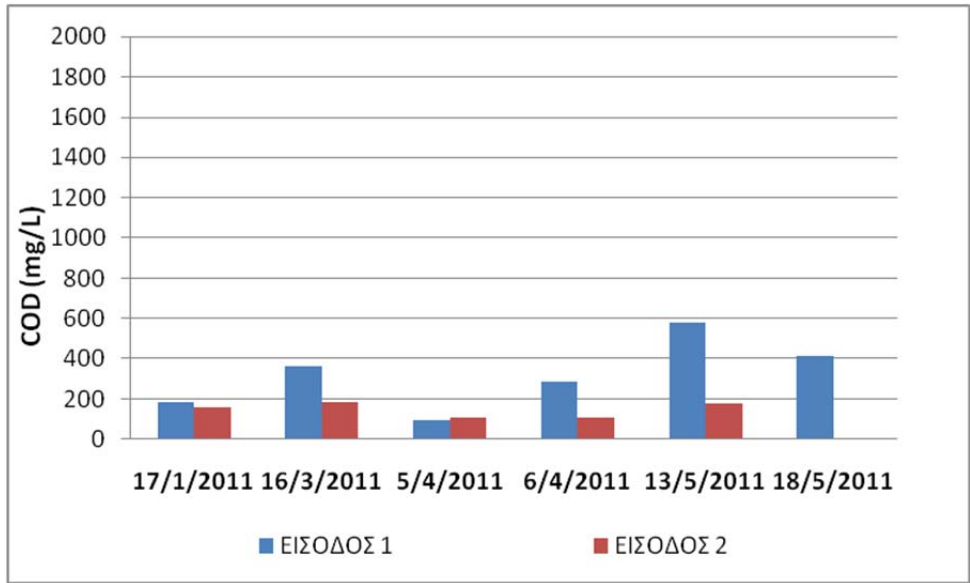
Σχήμα 7: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



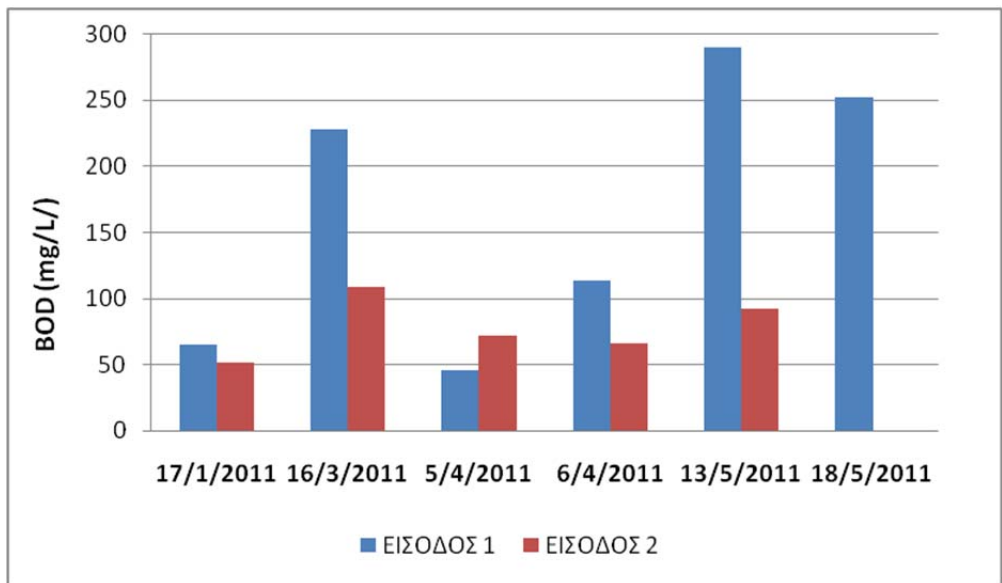
Σχήμα 8: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



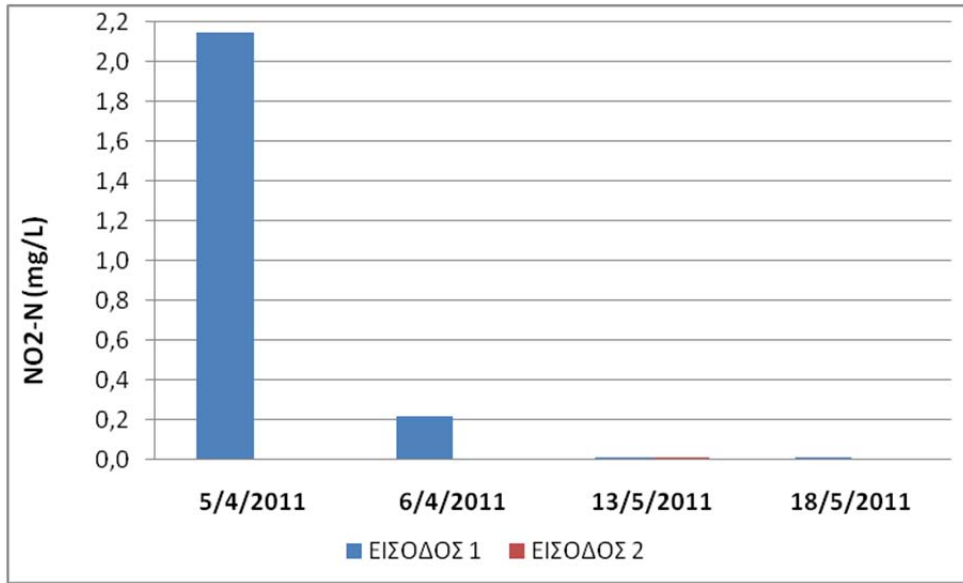
Σχήμα 9: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



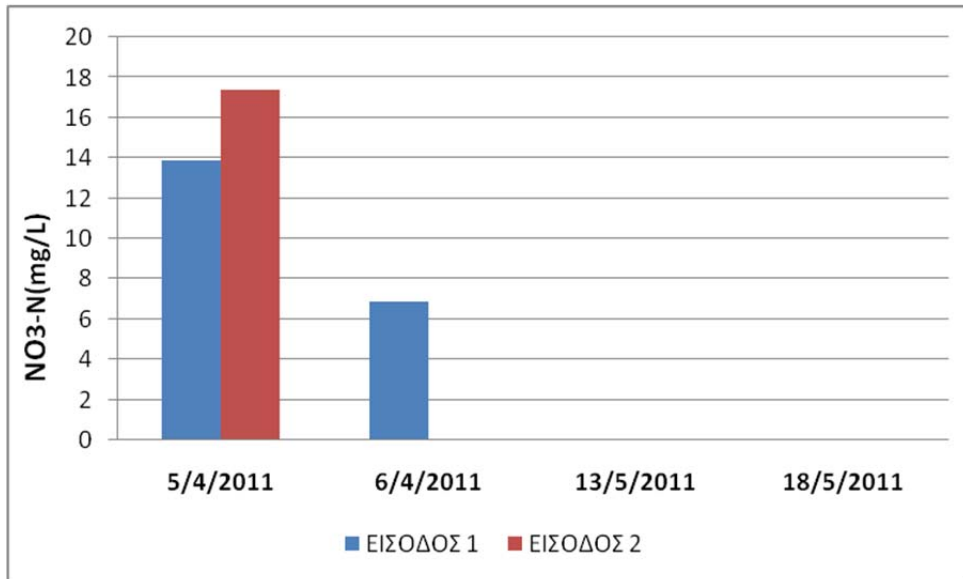
Σχήμα 10: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



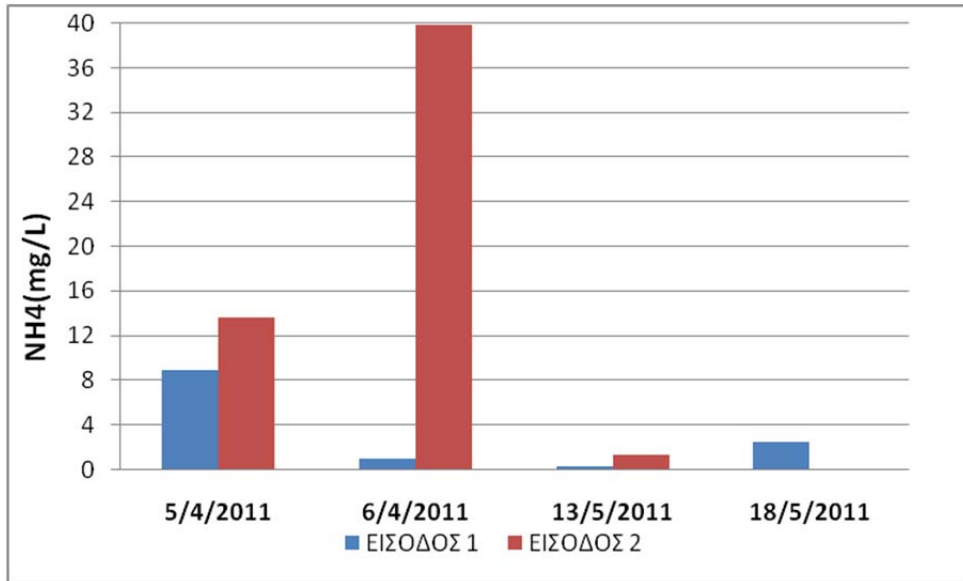
Σχήμα 11: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



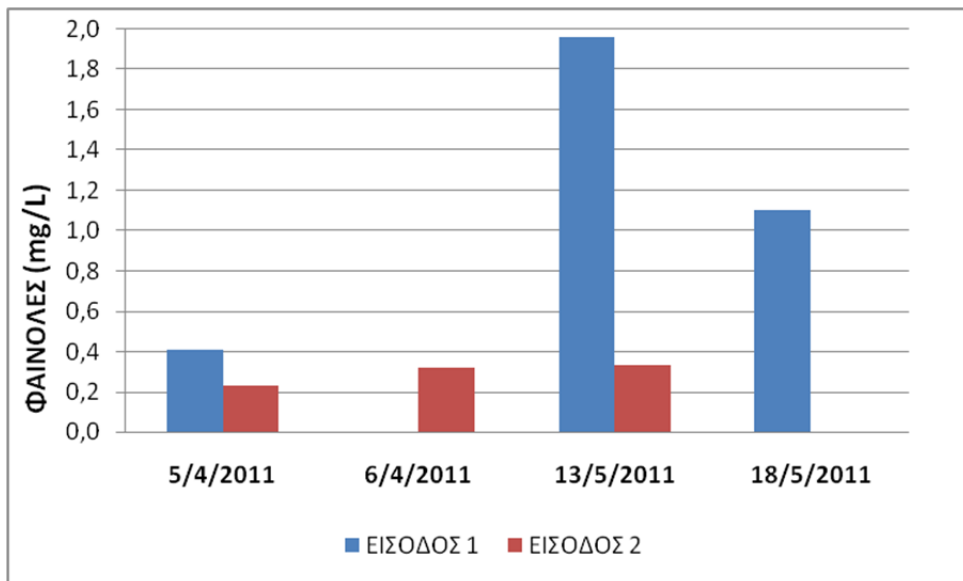
Σχήμα 12: Συγκεντρώσεις $\text{NO}_2\text{-N}$ στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



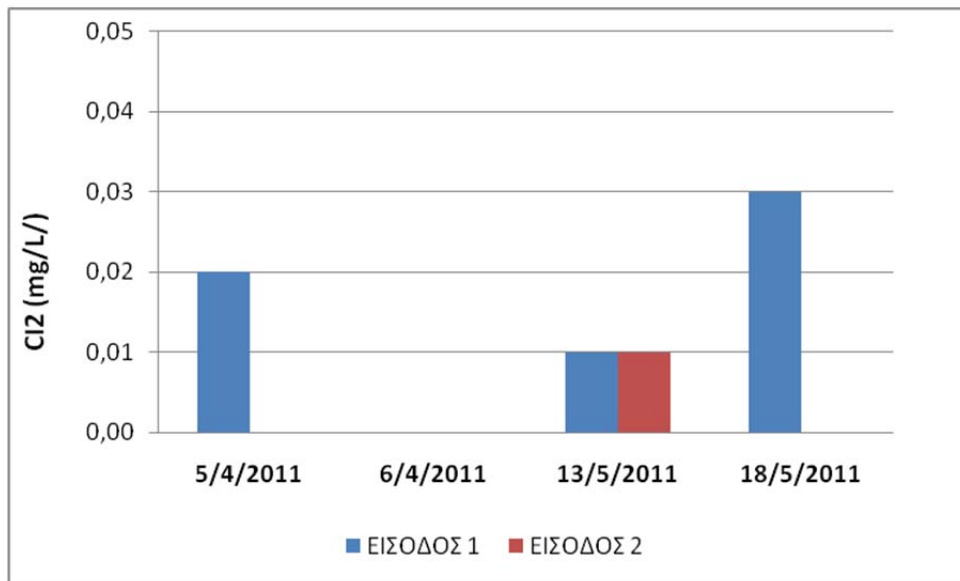
Σχήμα 13: Συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



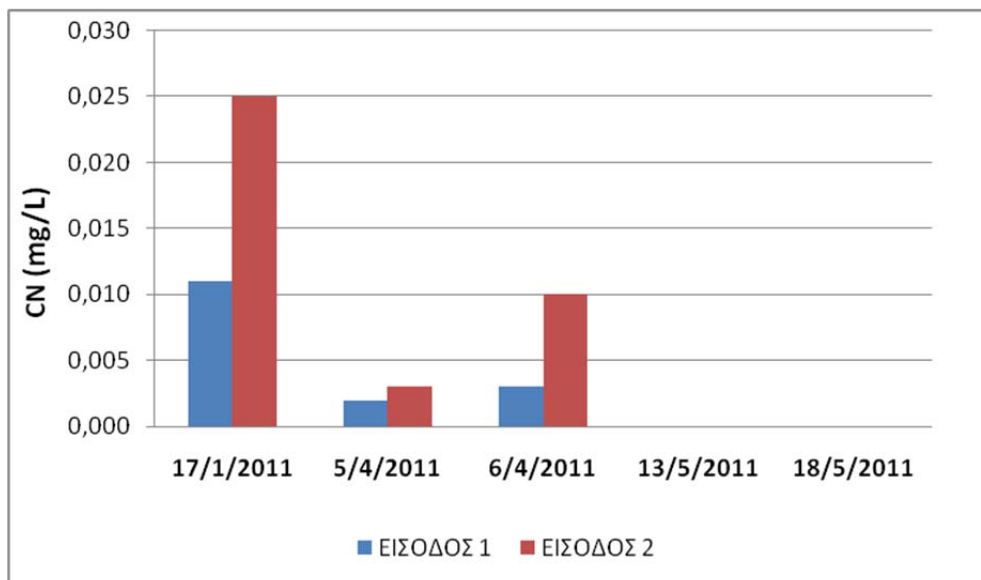
Σχήμα 14: Συγκεντρώσεις NH_4 στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



Σχήμα 15: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



Σχήμα 16: Συγκεντρώσεις Cl₂ στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων



Σχήμα 17: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από τις εισόδους των λυμάτων

6.2. Αποτελέσματα αναλύσεων από το στάδιο του βιοεπιλογέα

Από τις αναλύσεις των δειγμάτων που ελήφθησαν κατά τις οχτώ ημέρες δειγματοληψίας από το στάδιο του βιοεπιλογέα, παρατηρήθηκαν τιμές pH οι οποίες κυμαίνονταν από 6,6-8,6 με μέσο όρο (μ.ο) 7,22. Η αγωγιμότητα είχε τιμές από 477-735 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με μ.ο 578,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι συγκεντρώσεις των TSS ήταν από 23,3-890 mg/L με μ.ο 494,67 mg/L και των VSS από 250-825 mg/L με μ.ο 552,09 mg/L. Οι συγκεντρώσεις των TDS ήταν από 240-498 mg/L με μ.ο 328,63 mg/L, του COD από 164-1978 mg/L με μ.ο 932,13 mg/L, και του BOD από 93-1010 mg/L με μ.ο 428 mg/L. Για τα NO_x που μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις τους κυμαίνονταν ως εξής: για τα NO₂-N από 0,004-0,4 mg/L με μ.ο 0,12 mg/L και για τα NH₄ από 0,171-25,6 mg/L με μ.ο 7,47 mg/L. Για τις φαινόλες οι συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν ήταν από 0,75-0,98 mg/L με μ.ο 0,86 mg/L και για το Cl₂ 0,04-0,12 mg/L με μ.ο 0,07 mg/L. Τέλος μετρήθηκε CN του οποίου οι συγκεντρώσεις ήταν από 0,002-0,012 mg/L με μ.ο 0,01 mg/L.

Η συγκέντρωση των NO₃-N ήταν πολύ χαμηλή και δεν ανιχνεύτηκαν σε καμία από τις ημέρες δειγματοληψίας.

Στις 24/1/2011 οπότε παρατηρήθηκε η δεύτερη πιο υψηλή τιμή COD (1766 mg/L), η μονάδα παρουσίαζε βλάβη και δε λειτουργούσε κανονικά τις ημέρες που προηγήθηκαν της δειγματοληψίας.

Στις 18/5/2011 οπότε παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις οργανικού φορτίου (BOD: 1010mg/L και COD: 1978mg/L) η στάθμη στη δεξαμενή βιοεπιλογέα ήταν χαμηλή και δεν είχε προηγηθεί την ίδια μέρα επεξεργασία λυμάτων από τα φρεάτια συλλογής 1 και 2.

Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα καθώς και τα διαγράμματα που αφορούν ξεχωριστά την κάθε παράμετρο που μετρήθηκε.

Πίνακας 19: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από τη δεξαμενή του βιοεπιλογέα στη ΜΕΛ

ΒΙΟΕΠΙΛΟΓΕΑΣ								
Παράμετροι	5/1/2011	17/1/2011	24/1/2011	12/4/2011	3/5/2011	4/5/2011	13/5/2011	18/5/2011
pH	8,06	7,49	7,13	7,38	7,07	7,12	6,6	6,92
Αγωγιμότητα (μS/cm)	n.m.	n.m.	n.m.	735	477	545	530	607
TDS (mg/L)	401	254	286	372	240	273	498	305
TSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	23,3	890	286,67	413,4	860
VSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	766,7	250	366,67	825
COD (mg/L)	780	442	1766	164	844	403	1080	1978
BOD (mg/L)	n.m.	203	n.m.	93	460	182	620	1010
NO ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	0,053	0,400	0,031	<0,002	0,004
NO ₃ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	<0,01	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
NH ₄ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	25,600	7,250	2,820	1,490	0,171
Φαινόλες (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	0,980	<0,025	0,750	<0,025	0,855
Cl ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	<0,03	0,040	<0,03	0,120	0,040
CN (mg/L)	0,002	n.d.	0,012	0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Ακολούθως υπολογίζεται ο λόγος BOD/COD με στόχο το χαρακτηρισμό του αποβλήτου. Παρατηρείται ότι ο λόγος BOD/COD στο στάδιο του βιοεπιλογέα κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,45-0,57 με Μ.Ο=0,51. Όντως λοιπόν και σύμφωνα με το λόγο αυτό, το απόβλητο προέρχεται από πρωτοβάθμια επεξεργασία.

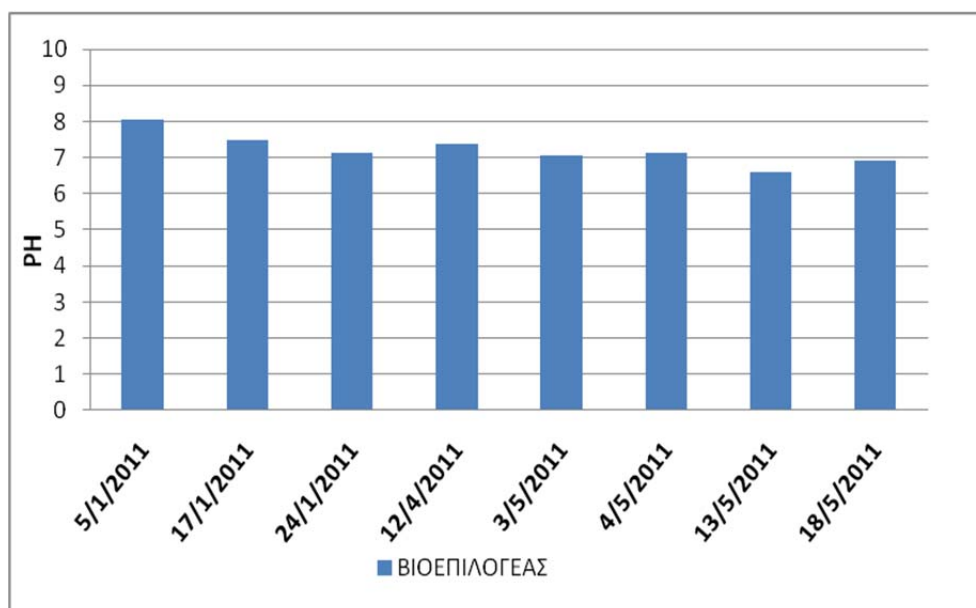
Πίνακας 20:Μετρήσεις BOD/COD στο στάδιο του βιοεπιλογέα

COD	BOD	BOD/COD
ΒΙΟΕΠΙΛΟΓΕΑΣ		
780	n.m.	-
442	203	0,46
1766	n.m.	-
164	93	0,57
844	460	0,55
403	182	0,45
1080	620	0,57
1978	1010	0,51

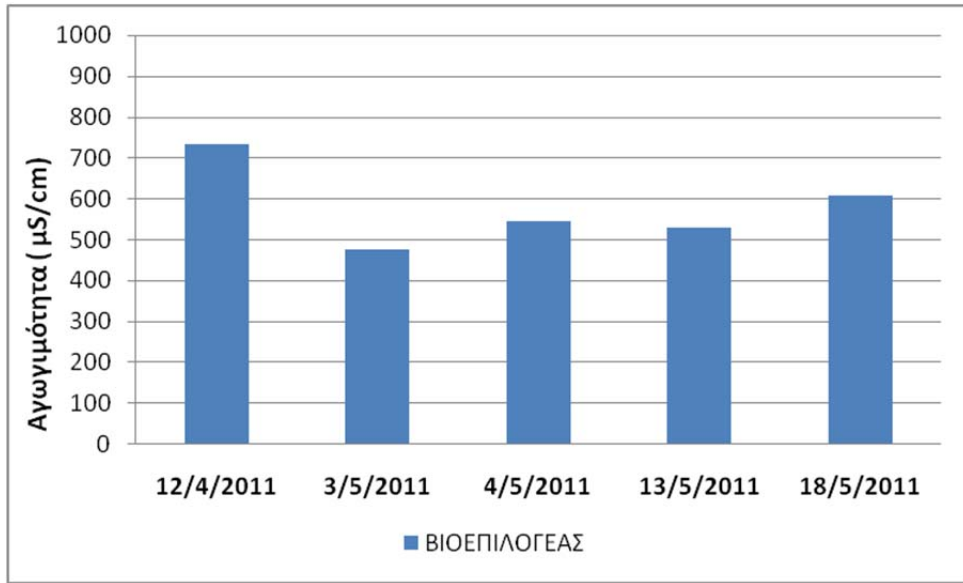
Από επιτόπιες μετρήσεις που έγιναν στο στάδιο του βιοεπιλογέα για τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις 0,85 και 1,57 mg/L. Τυπικά, οι απαιτήσεις συγκέντρωσης D.O. στο ανάμικτο υγρό για να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η διεργασία της νιτροποίησης είναι της τάξης των 2 mg /L ή/και περισσότερο. Συνεπάγεται επομένως ότι στην υπό μελέτη μονάδα η διεργασία νιτροποίησης δεν πραγματοποιείται άριστα, αφού η συγκέντρωση D.O είναι αρκετά μικρότερη από 2 mg/L. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 21:Μετρήσεις DO στο στάδιο του βιοεπιλογέα

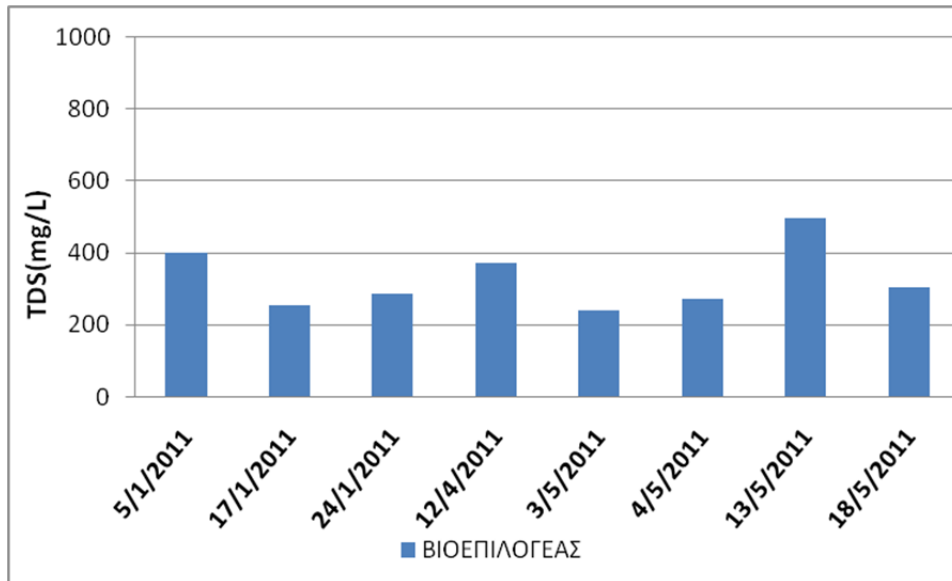
Παράμετροι	Βιοεπιλογέας	
	13/5/2011	18/5/2011
DO (mg/L)	1,57	0,85
T (οC)	23	22,6



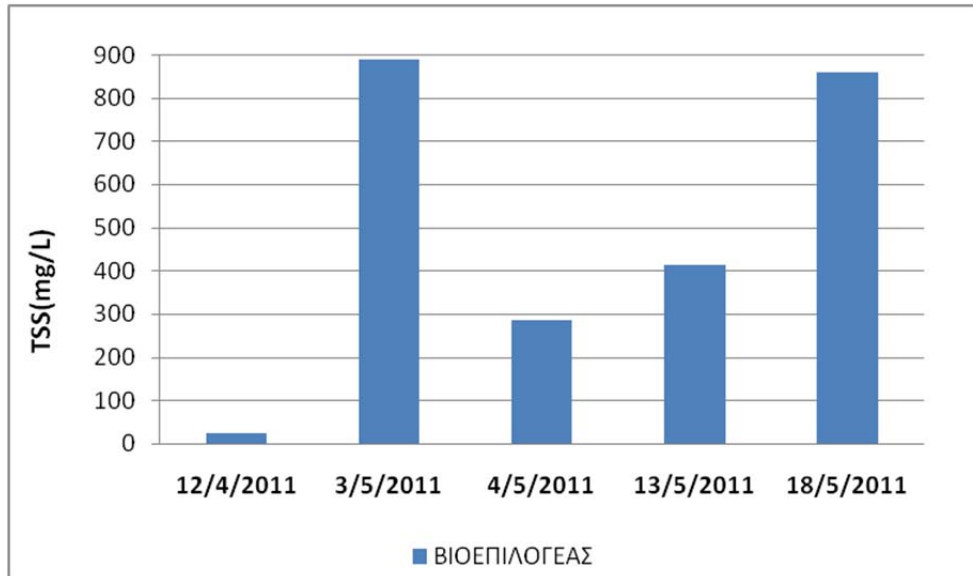
Σχήμα 18: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



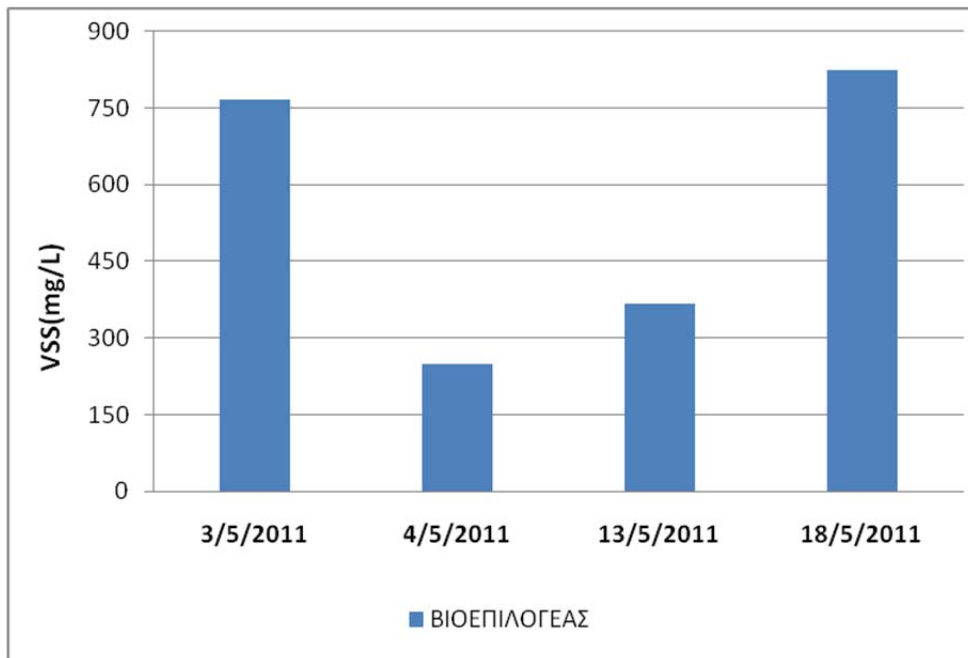
Σχήμα 19: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



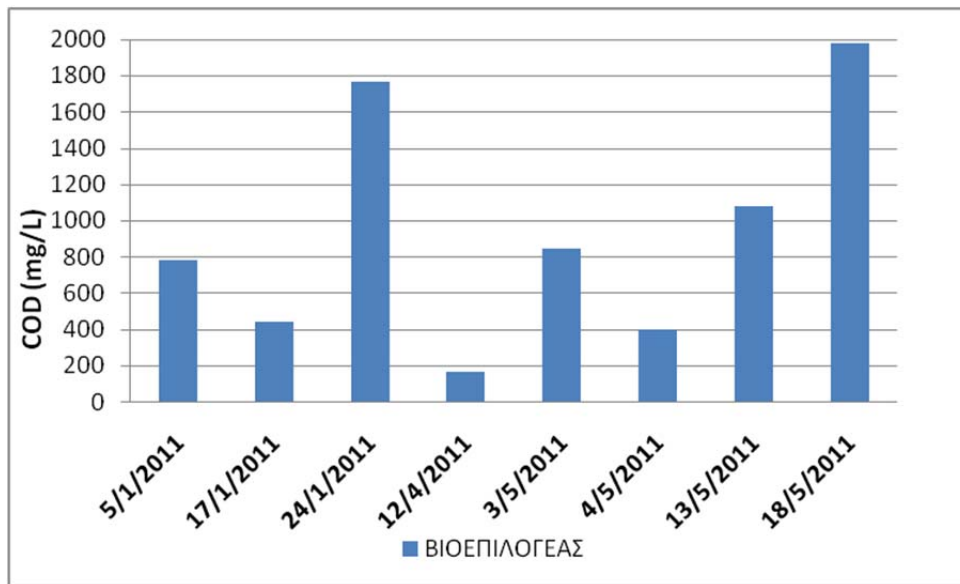
Σχήμα 20: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



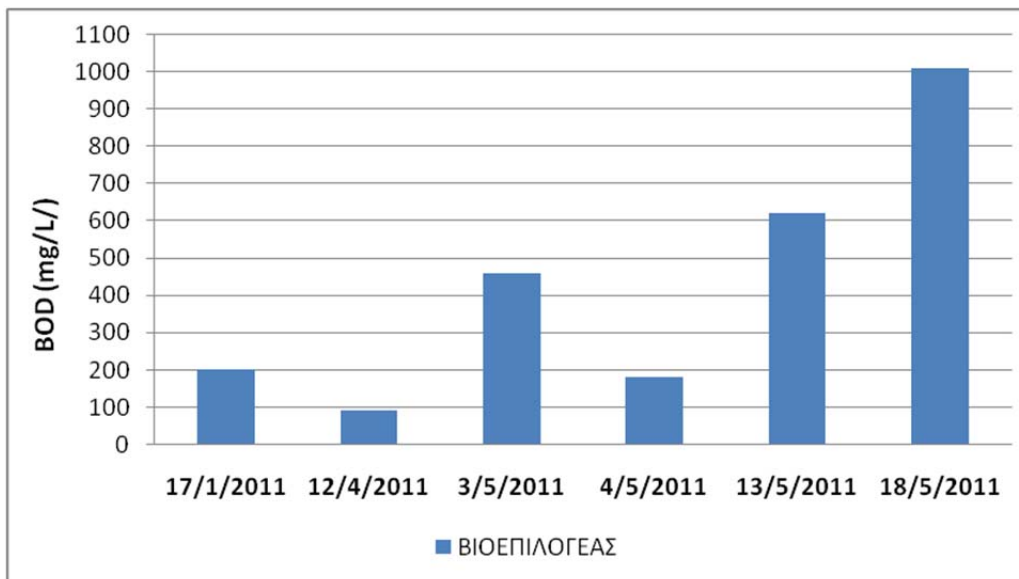
Σχήμα 21: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



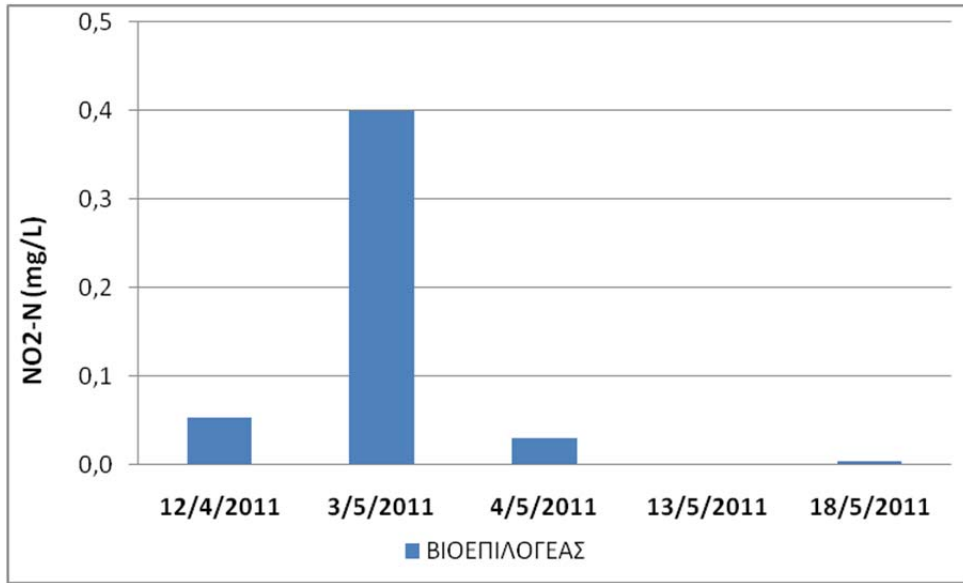
Σχήμα 22: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



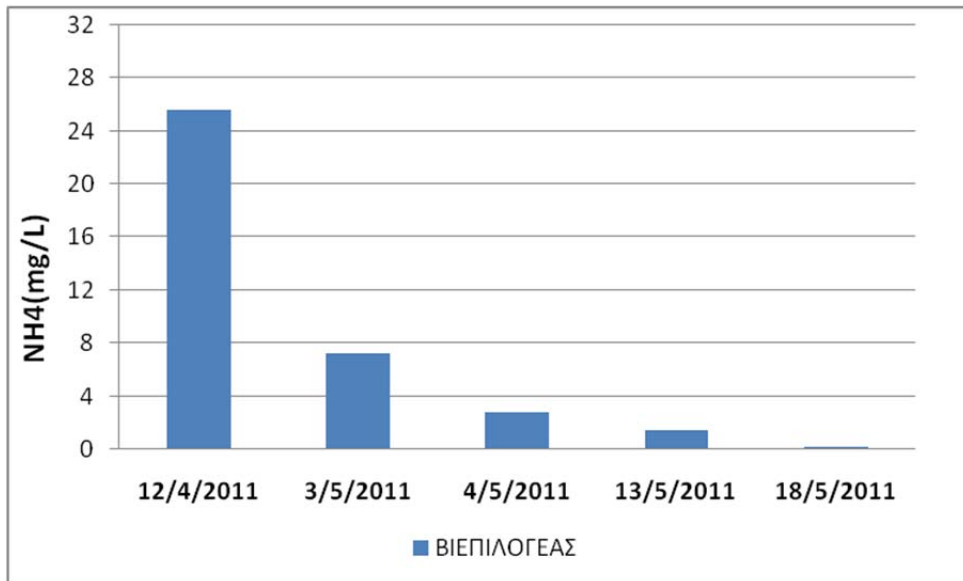
Σχήμα 23: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



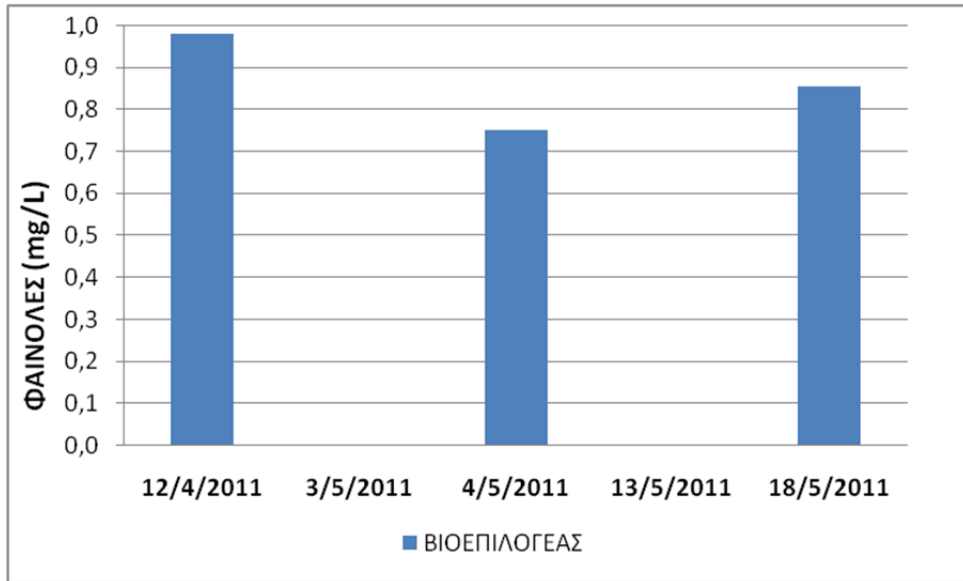
Σχήμα 24: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



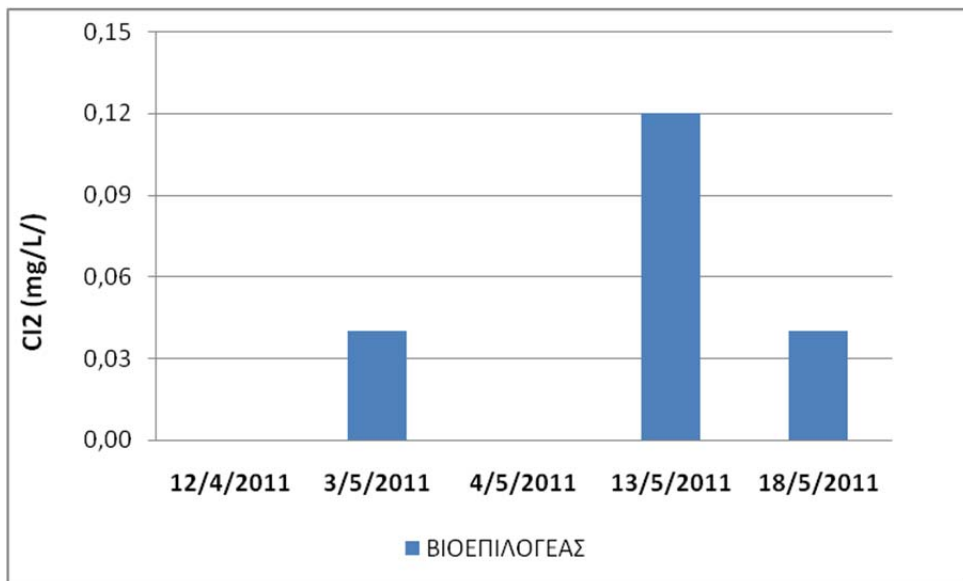
Σχήμα 25: Συγκεντρώσεις NO₂-N στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



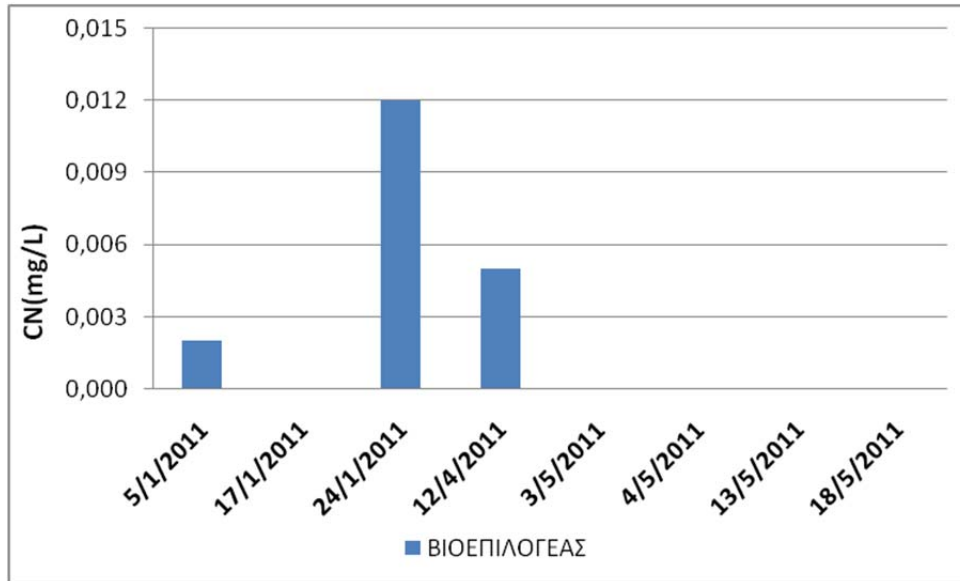
Σχήμα 26: Συγκεντρώσεις NH₄ στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



Σχήμα 27: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



Σχήμα 28: Συγκεντρώσεις Cl₂ στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα



Σχήμα 29: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από το στάδιο του βιοεπιλογέα

6.3. Αποτελέσματα αναλύσεων από τη δεξαμενή αερισμού

Από τις αναλύσεις των δειγμάτων που ελήφθησαν κατά τις ημέρες δειγματοληψίας από το δεύτερο στάδιο της δεξαμενής αερισμού (στάδιο Γ) στη ΜΕΛ, οι τιμές pH ήταν 6,99 και 7,63. Η αγωγιμότητα μετρήθηκε και είχε τιμές 440,488,498 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι συγκεντρώσεις του COD είναι από 148-2736 mg/L και του BOD από 62-1402 mg/L. Όσο αναφορά τα TSS και VSS σε τρία από τα πέντε δείγματα που μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις ήταν πολύ υψηλές και κυμαίνονταν από 723,33-1673,33 mg/L και 573-1493,33 mg/L αντίστοιχα. Σχετικά με τις ενώσεις αζώτου που μετρήθηκαν σε τρία από τα πέντε δείγματα, τα νιτρικά NO_3 σε ένα δείγμα ήταν 2,24 mg/L ενώ στα άλλα δυο δεν ανιχνεύθηκαν και τα νιτρώδη NO_2 από 0,008 mg/L έως 0,047 mg/L με μέση τιμή 0,028 mg/L. Τα αμμωνιακά NH_4 μετρήθηκαν από 0,3 mg/L έως 1,81 mg/L με μέση τιμή 1,3 mg/L. Σε δύο από τα τρία δείγματα που μετρήθηκαν ανιχνεύθηκαν φαινόλες 1,33mg/L και 0,92 mg/L και Cl_2 0,020 mg/L και 0,01 mg/L.

Παρατηρείται ότι στις 17/1/2011 οι συγκεντρώσεις του COD και του BOD είναι πάρα πολύ χαμηλές σε σχέση με τις υπόλοιπες ημέρες των δειγματοληψιών.

Έγιναν επίσης επί τόπου μετρήσεις στα στάδια του αερισμού για το διαλυμένο οξυγόνο και τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 23:

Πίνακας 22:Μετρήσεις DO στα στάδια του αερισμού

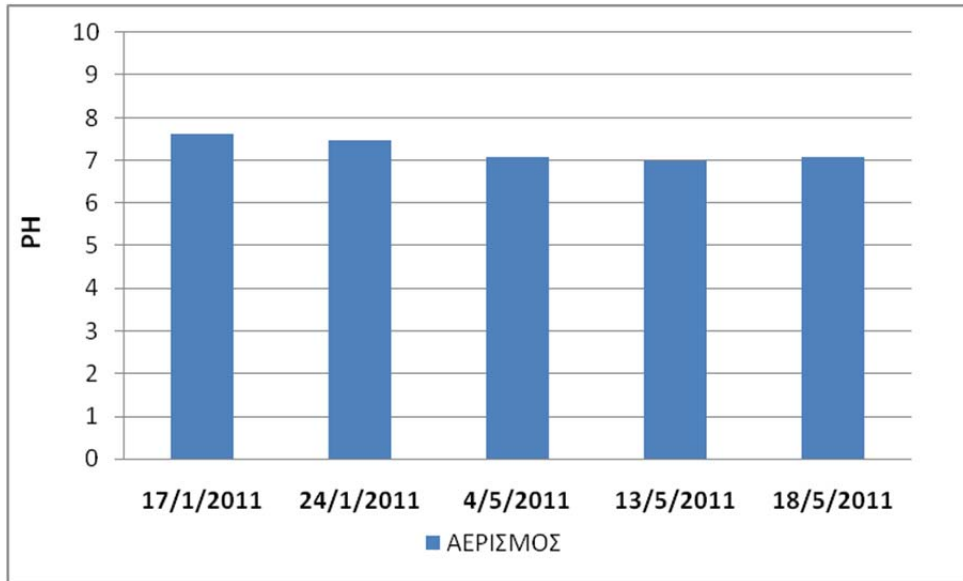
Παράμετροι	Αερισμός (στάδιο Β)		Αερισμός (στάδιο Γ)	
	4/5/2011	18/5/2011	4/5/2011	18/5/2011
DO (mg/L)	3,85	1,7	6,2	1,95
T (οC)	22,7	23,1	22,4	22

Όπως παρατηρείται από τις μετρήσεις που διεξήχθησαν η συγκέντρωση του D.O μεταβάλλεται σημαντικά ανά ημέρα δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα στις 4/5/2011 έχει τιμή πολύ υψηλή γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο ότι η απόδοση της διαδικασίας νιτροποίησης και οξειδωσης είναι μεγάλη.

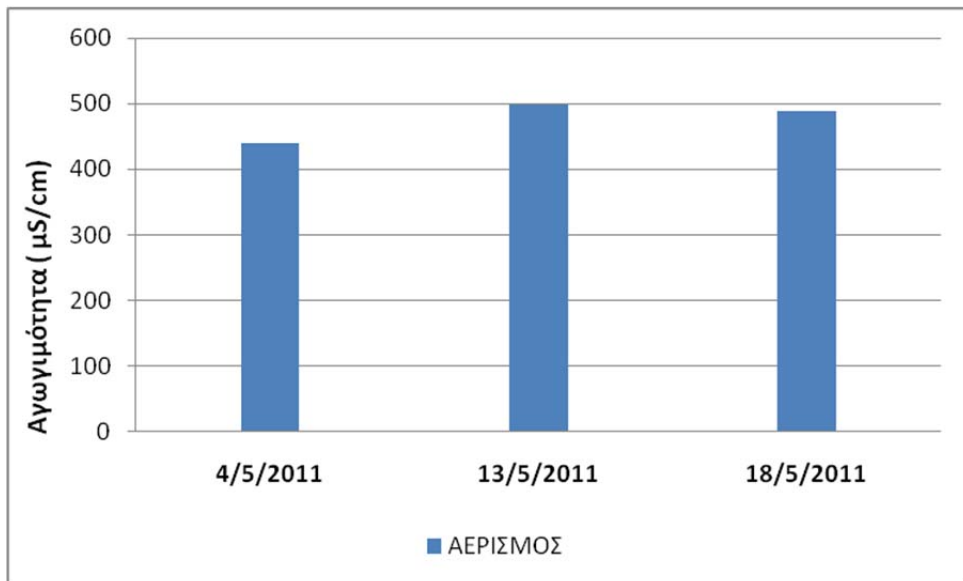
Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 24 και ακολουθούν τα διαγράμματα ξεχωριστά για την κάθε παράμετρο που μελετήθηκε.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από τη δεξαμενή του αερισμού στη ΜΕΛ

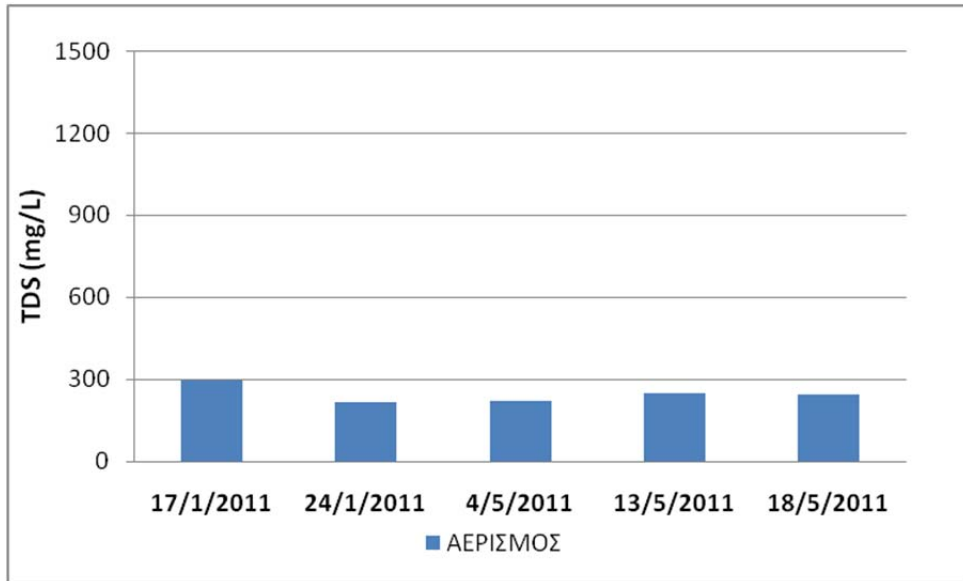
ΑΕΡΙΣΜΟΣ					
Παράμετροι	17/1/2011	24/1/2011	4/5/2011	13/5/2011	18/5/2011
pH	7,63	7,48	7,08	6,99	7,08
Αγωγιμότητα μS/cm	n.m.	n.m.	440	498	488
TDS (mg/L)	295	215	220	249	243
TSS (mg/L)	n.m.	n.m.	723,33	1673,33	806,67
VSS (mg/L)	n.m.	n.m.	573	1493,33	746,67
COD (mg/L)	148	1626	1386	2040	2736
BOD (mg/L)	62	n.m.	670	1112	1402
NO ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	0,030	0,047	0,008
NO ₃ (mg/L)	n.m.	n.m.	2,240	<0,010	<0,010
NH ₄ (mg/L)	n.m.	n.m.	0,300	1,810	1,680
Φαινόλες (mg/L)	n.m.	n.m.	<0,025	1,330	0,920
Cl ₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	<0,03	0,020	0,010
CN (mg/L)	0,011	0,005	<0,002	<0,002	<0,002



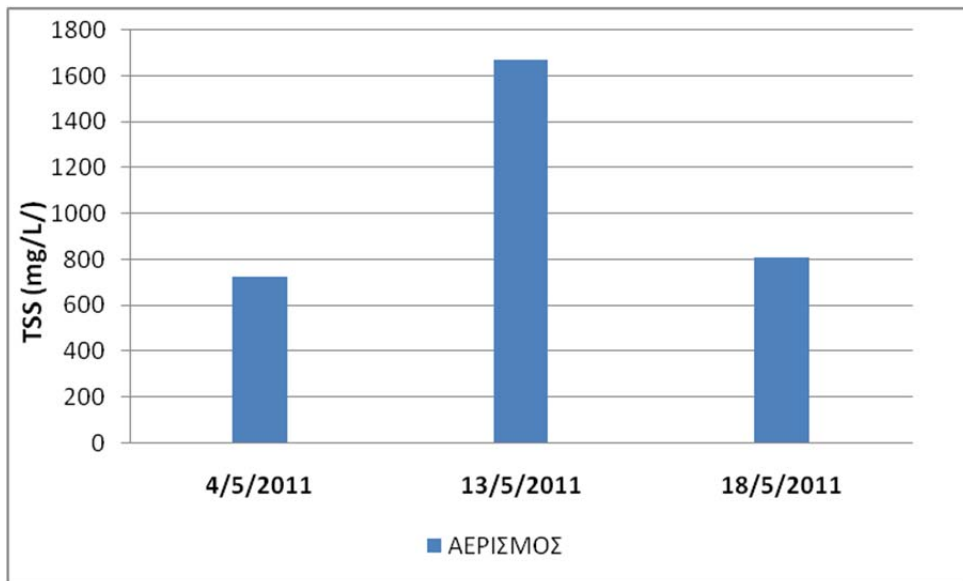
Σχήμα 30: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



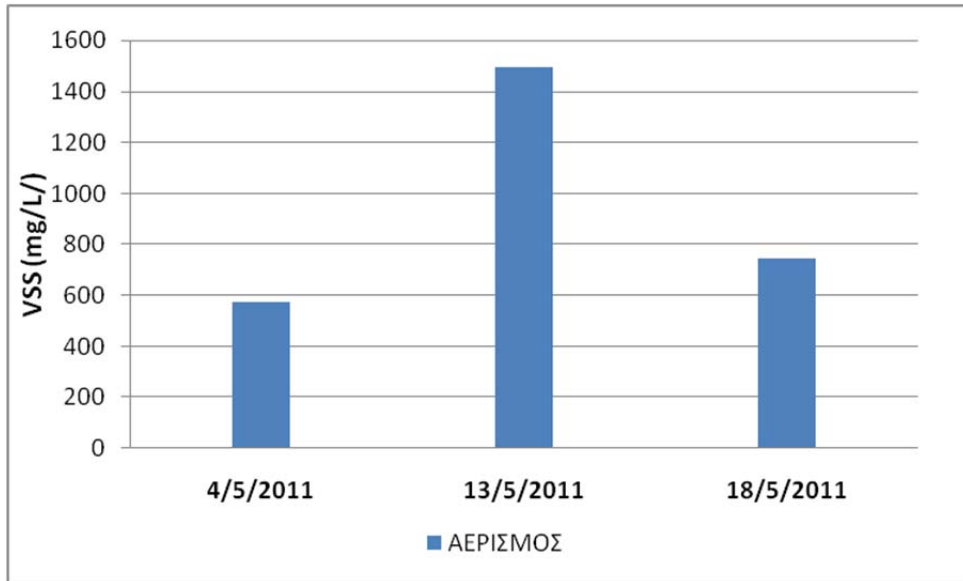
Σχήμα 31: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



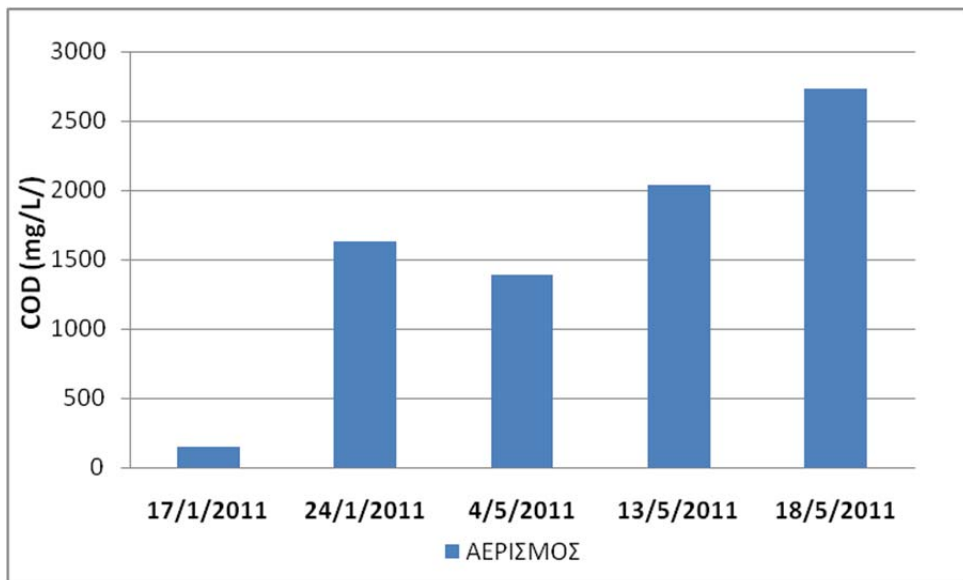
Σχήμα 32: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



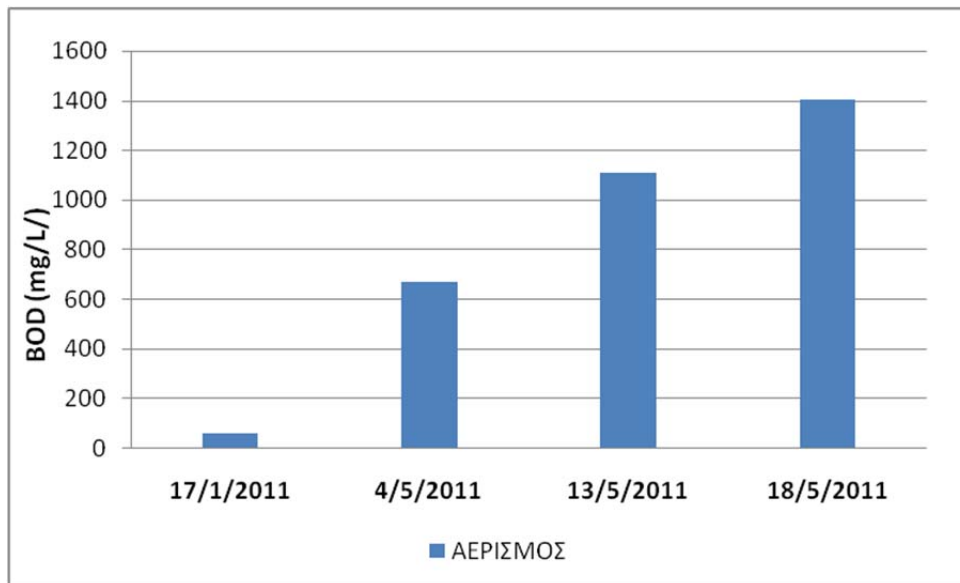
Σχήμα 33: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



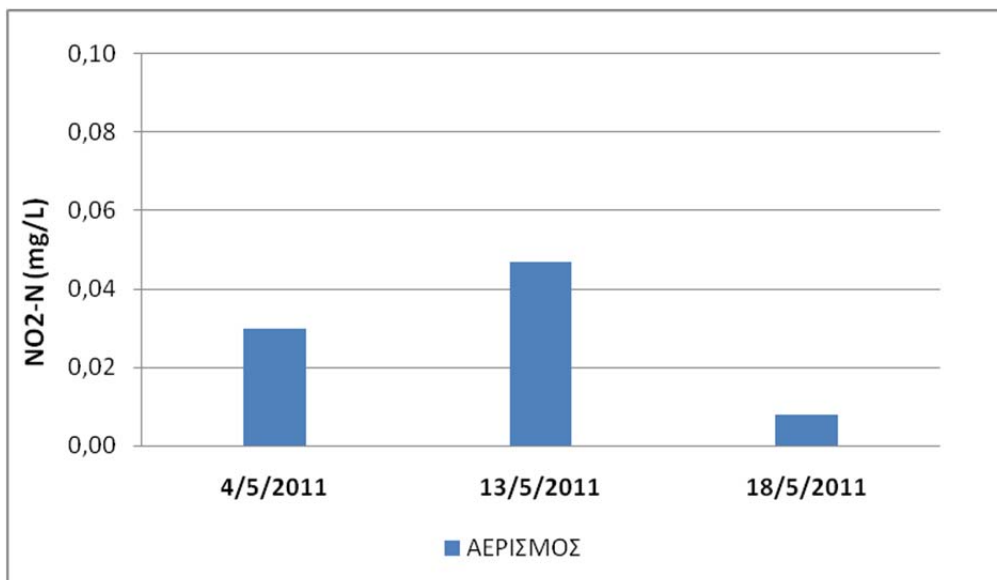
Σχήμα 34: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



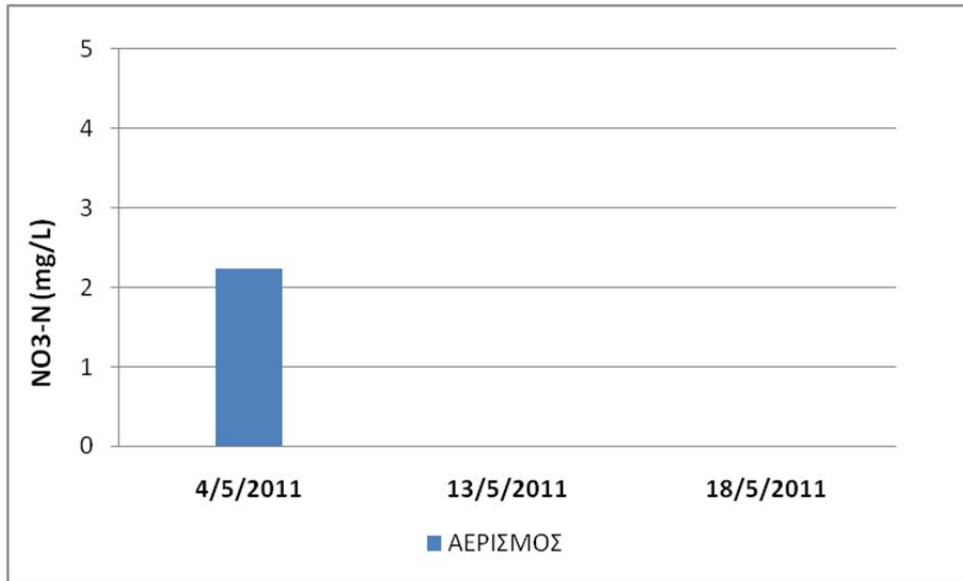
Σχήμα 35: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



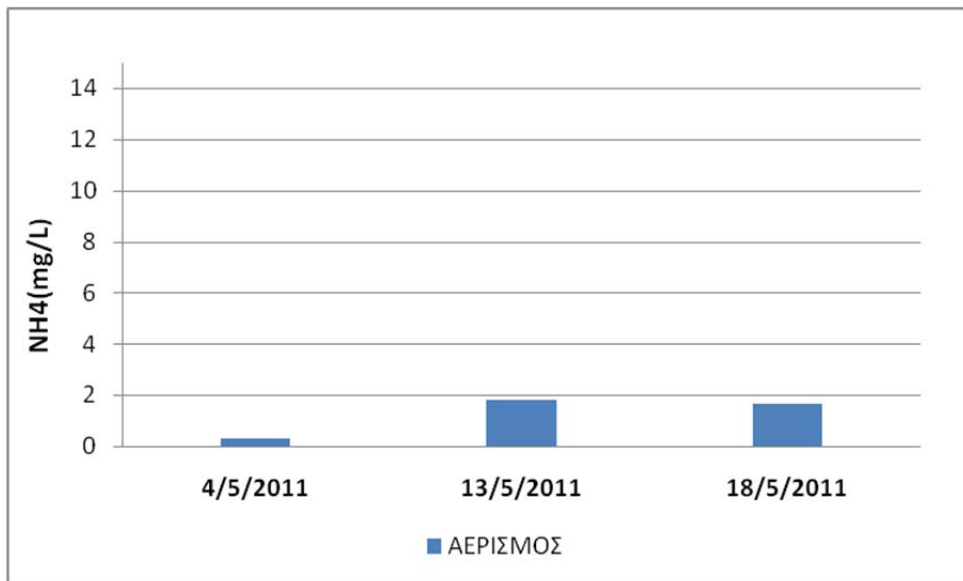
Σχήμα 36: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



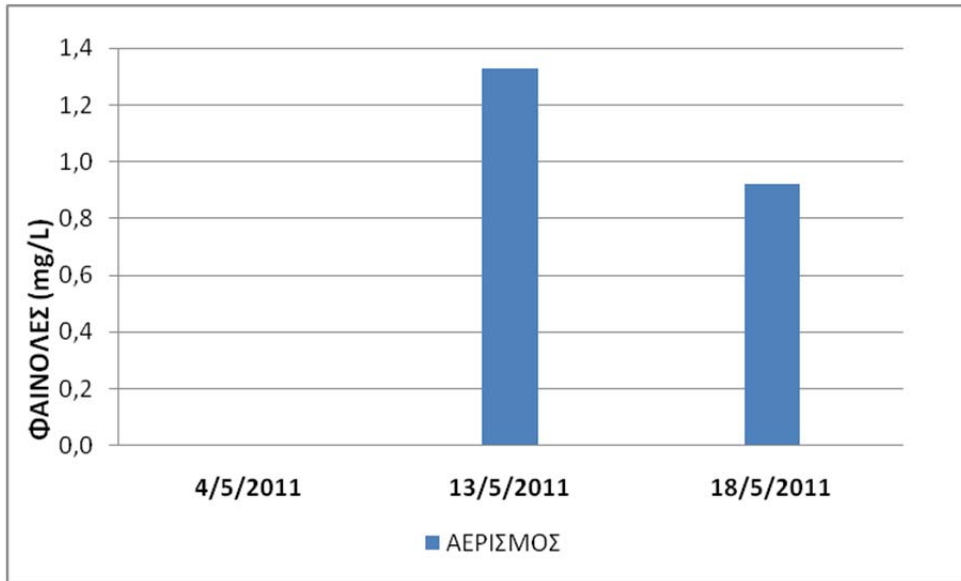
Σχήμα 37: Συγκεντρώσεις NO₂-N στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



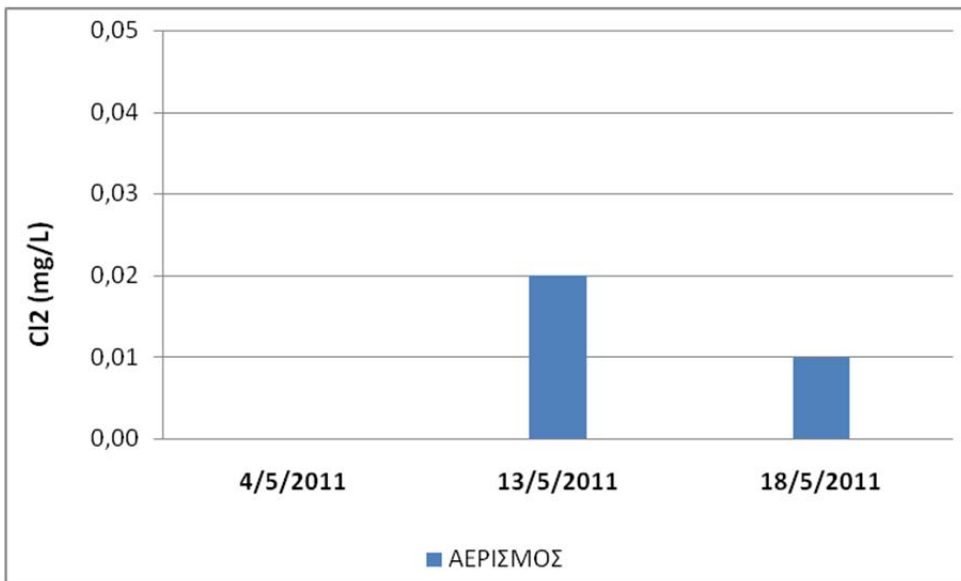
Σχήμα 38: Συγκεντρώσεις NO₃-N στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



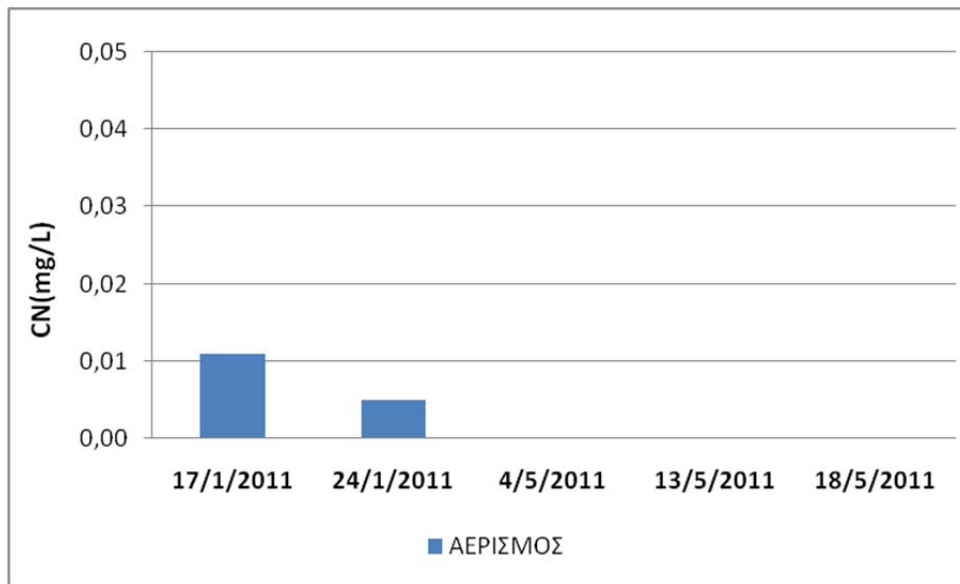
Σχήμα 39: Συγκεντρώσεις NH₄ στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



Σχήμα 40: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



Σχήμα 41: Συγκεντρώσεις Cl₂ στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού



Σχήμα 42: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού

6.4. Αποτελέσματα αναλύσεων από σημείο εκροής ΜΕΛ (εντός βιομηχανίας)

Από τις αναλύσεις των δειγμάτων που ελήφθησαν κατά τις ημέρες δειγματοληψίας από το σημείο εξόδου της επεξεργασμένης εκροής από τη ΜΕΛ παρατηρήθηκαν τιμές pH οι οποίες κυμαίνονταν από 7,08 έως 8,19. Η αγωγιμότητα είχε τιμές από 475-579 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Όσο αναφορά τα TSS και VSS στα δείγματα που μετρήθηκαν οι συγκεντρώσεις κυμαίνονταν από 6,6-43,3 mg/L και 3,33-39,3 mg/L αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις των TDS κυμαίνονταν από 187 έως 340 mg/L, του COD από 12 έως 138 mg/L και του BOD από 6 έως 74,1 mg/L. Σε δύο δείγματα ανιχνεύτηκε χλώριο σε συγκεντρώσεις 0,3 και 0,03 mg/L. Σε κάποια δείγματα ανιχνεύτηκε κυάνιο σε συγκεντρώσεις από 0,003 έως 0,023 mg/L. Σχετικά με τις ενώσεις αζώτου που μετρήθηκαν τα νιτρικά NO_3 μετρήθηκαν από 0,49 mg/L έως 36,5 mg/L με μέση τιμή 12 mg/L. Τα νιτρώδη NO_2 μετρήθηκαν από 0,066 mg/L έως 0,42 mg/L με μέση τιμή 0,157 mg/L. Τα αμμωνιακά NH_4 μετρήθηκαν από 0,056 mg/L έως 2,61 mg/L με μέση τιμή 0,92 mg/L. Σε επτά δείγματα ανιχνεύθηκαν φαινόλες από 0,053 mg/L έως 0,503 mg/L.

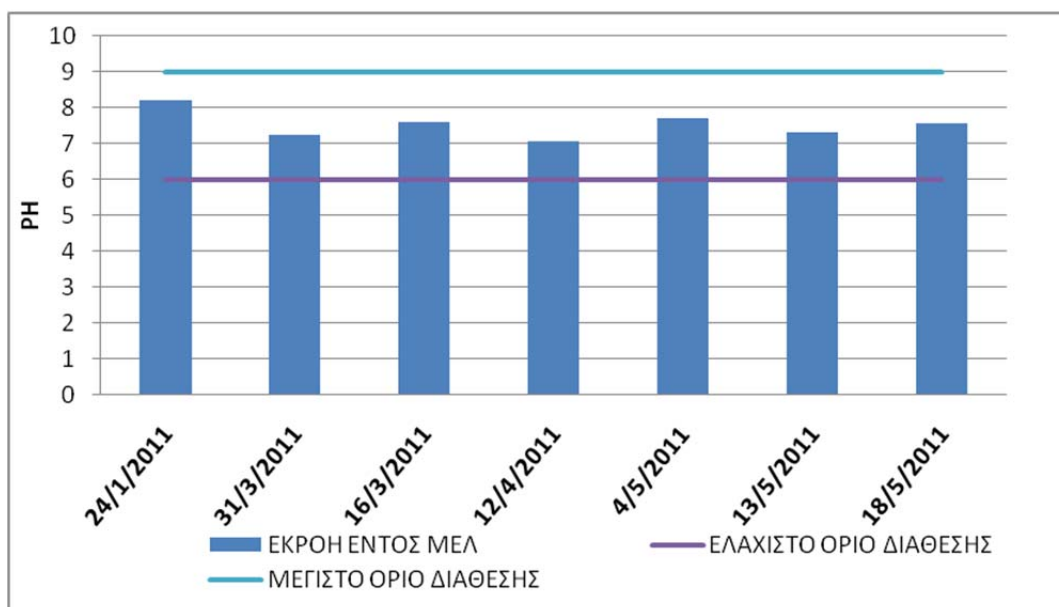
Επιπλέον για τα δείγματα που ελήφθησαν από το στάδιο της τελικής εκροής της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων και από τον 24ωρο δειγματολήπτη διερευνάται η δυνατότητα

επαναχρησιμοποίησης τους ως προς τις παραμέτρους που μετρήθηκαν και πιο συγκεκριμένα για το BOD και τα TSS.

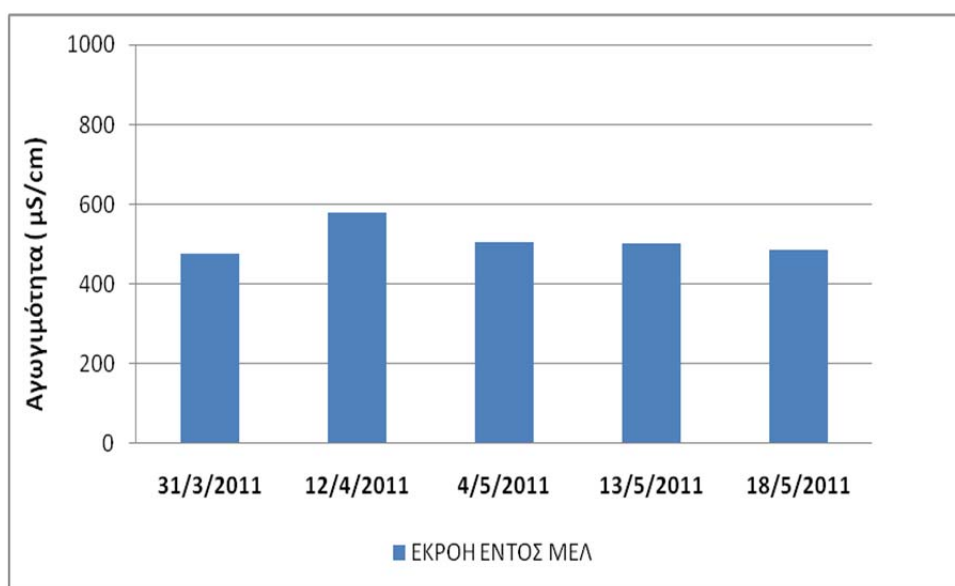
Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 25 καθώς και στα διαγράμματα που ακολουθούν ξεχωριστά για την κάθε παράμετρο που μελετήθηκε

Πίνακας 24: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από σημείο τελικής εκροής εντός της ΜΕΛ

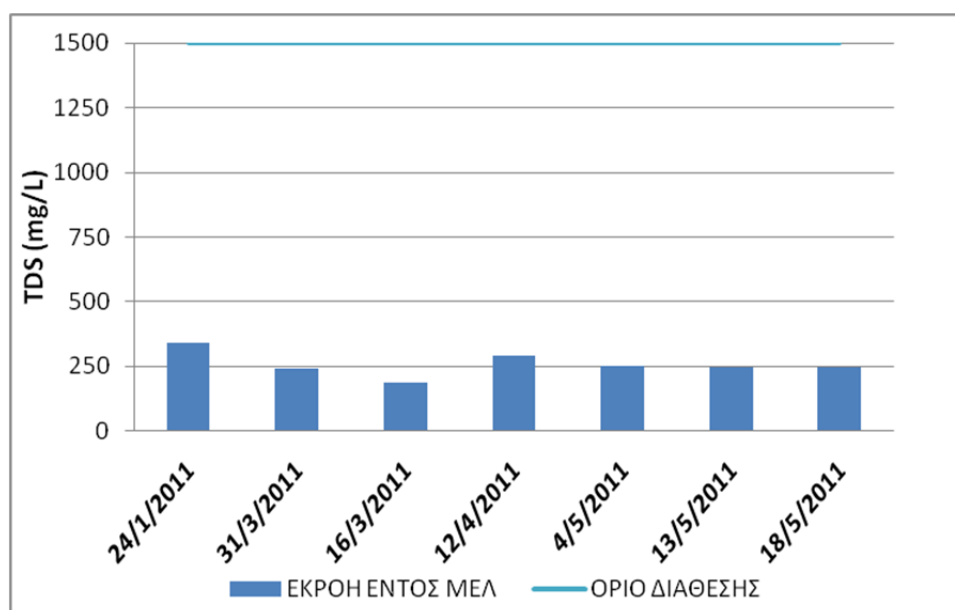
ΕΚΡΟΗ ΕΝΤΟΣ ΜΕΛ							
Παράμετροι	24/1/2011	31/3/2011	16/3/2011	12/4/2011	4/5/2011	13/5/2011	18/5/2011
pH	8,19	7,25	7,61	7,08	7,69	7,3	7,55
Αγωγιμότητα (μS/cm)	n.m.	475	n.m.	579	504	501	486
TDS (mg/L)	340	240	187	289	253	248	244
TSS (mg/L)	n.m.	30	n.m.	6,6	43,33	6,7	6,7
VSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	39,3	3,33	3,6
COD (mg/L)	54	12	124	28	46	47	12
BOD (mg/L)	n.m.	10	48	10,2	10	34	n.d
NO ₂ (mg/L)	n.m.	0,420	n.m.	0,230	0,120	0,15	0,156
NO ₃ (mg/L)	n.m.	20,1	n.m.	18,200	22,900	<0,010	3,510
NH ₄ (mg/L)	n.m.	0,084	n.m.	0,122	1,110	1,93	1,300
Φαινόλες (mg/L)	n.m.	n.d.	n.m.	0,104	<0,025	0,22	0,470
Cl ₂ (mg/L)	n.m.	n.d.	n.m.	0,300	0,030	<0,03	<0,03
CN (mg/L)	0,013	n.m.	n.m.	0,023	<0,002	<0,002	<0,002



Σχήμα 43: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όρια διάθεσης

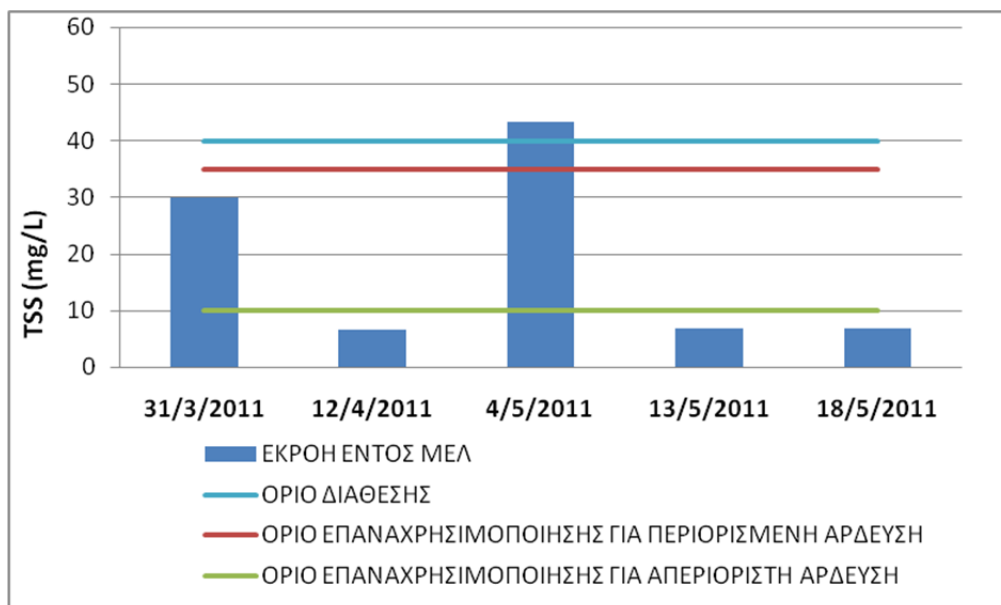


Σχήμα 44: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ

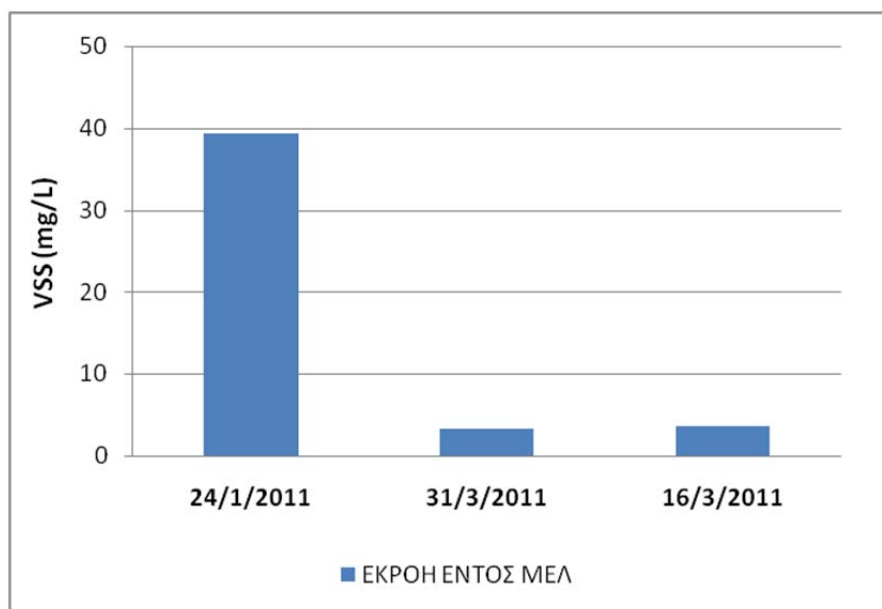


Σχήμα 45: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης

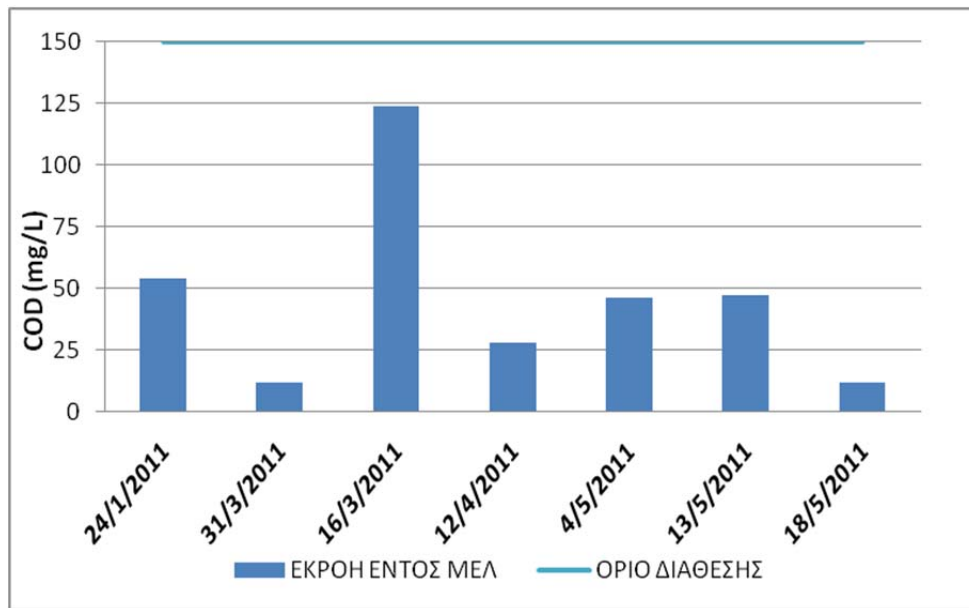
Για τα TSS παρατηρείται ότι ένα από τα δείγματα βγαίνει εκτός του ορίου διάθεσης και δύο από αυτά εκτός των ορίων επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση.



Σχήμα 46: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης

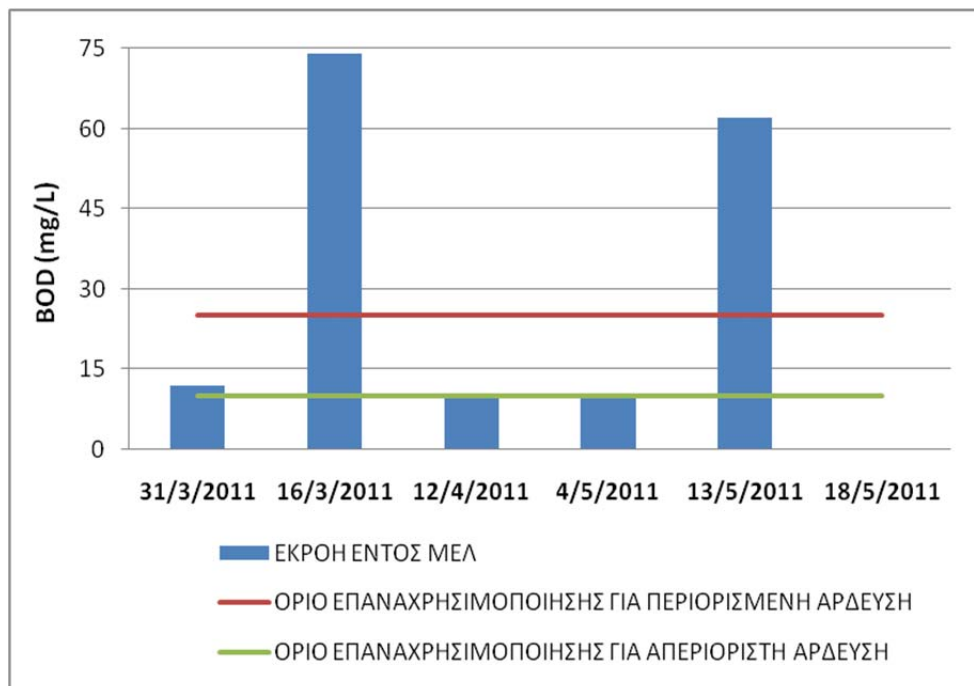


Σχήμα 47: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ

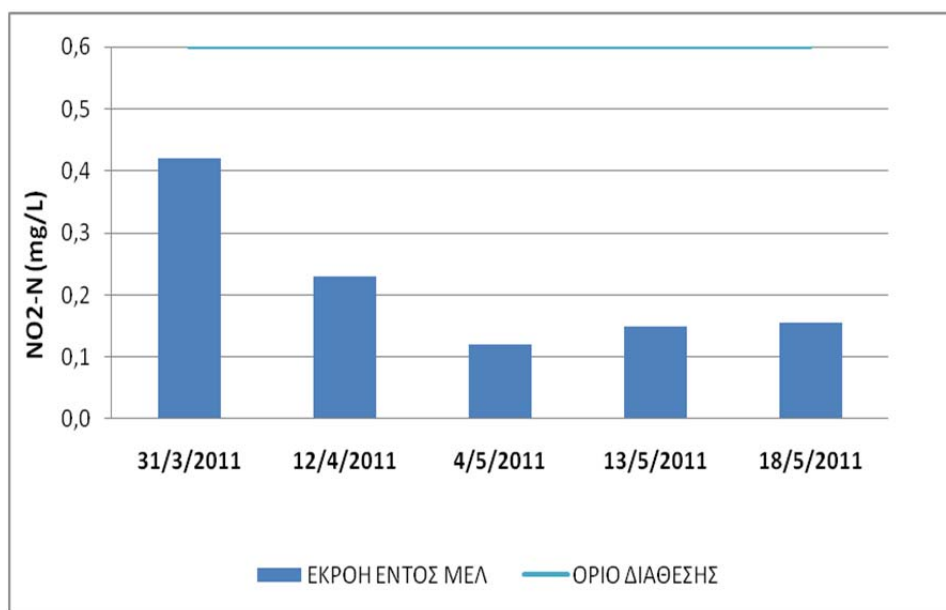


Σχήμα 48: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης

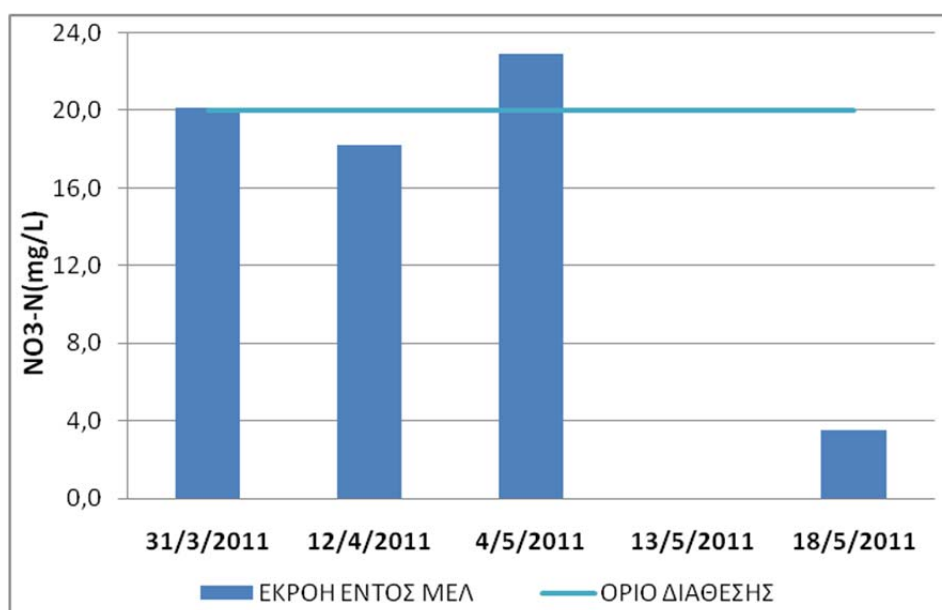
Όσο αναφορά το BOD φαίνεται και από το διάγραμμα ότι δύο από τα δείγματα έχουν αρκετά υψηλή τιμή με αποτέλεσμα να βγαίνουν εκτός των ορίων για επαναχρησιμοποίηση για περιορισμένη άρδευση



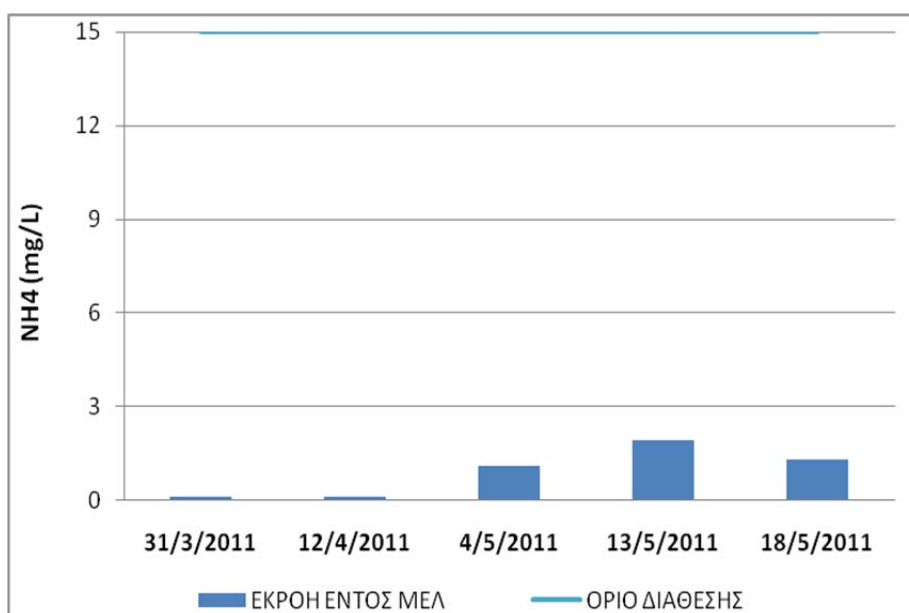
Σχήμα 49: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όρια επαναχρησιμοποίησης



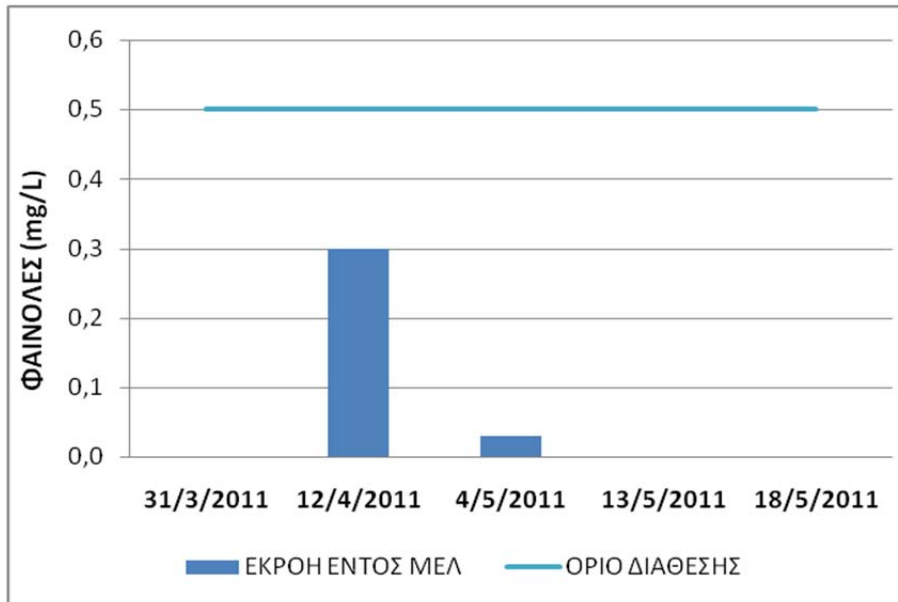
Σχήμα 50: Συγκεντρώσεις NO_2 -Νστα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



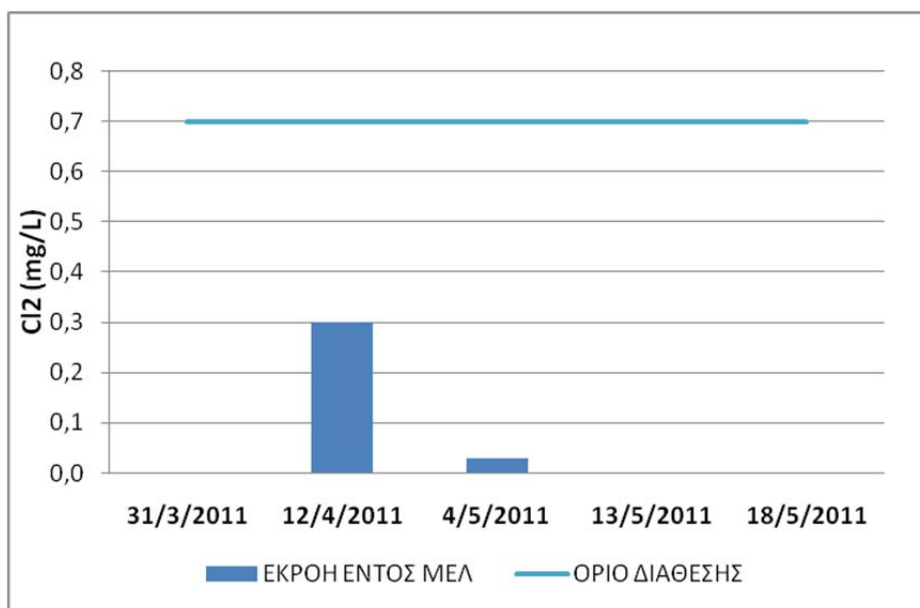
Σχήμα 51: Συγκεντρώσεις NO_3 -Νστα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



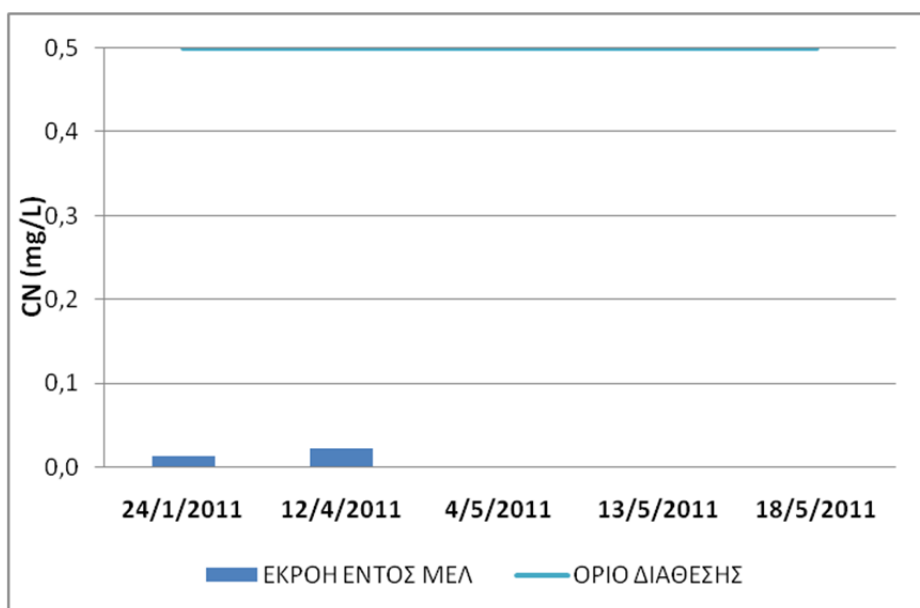
Σχήμα 52: Συγκεντρώσεις NH_4 στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



Σχήμα 53: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



Σχήμα 54: Συγκεντρώσεις Cl₂ στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



Σχήμα 55: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής της ΜΕΛ και όριο διάθεσης

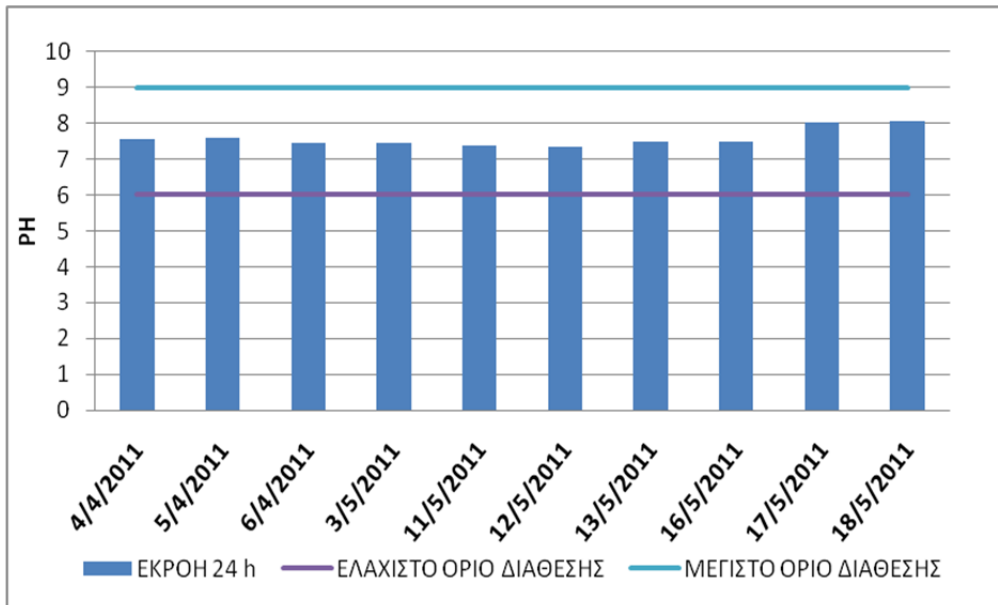
6.5. Αποτελέσματα αναλύσεων από τον 24ωρο δειγματολήπτη στην έξοδο

Από τις αναλύσεις των δειγμάτων που ελήφθησαν κατά τις ημέρες δειγματοληψίας από το σημείο εξόδου της επεξεργασμένης εκροής από τη ΜΕΛ παρατηρήθηκαν τιμές pH οι οποίες κυμαίνονταν από 7,34 έως 8,05. Οι συγκεντρώσεις των TDS κυμαίνονταν από 224-297 mg/L, του COD από 15 έως 138 mg/L και του BOD από 6 έως 66mg/L. Σε κάποια δείγματα ανιχνεύτηκε κυάνιο σε συγκεντρώσεις από 0,003 έως 0,013 mg/L. Σχετικά με τις ενώσεις αζώτου που μετρήθηκαν τα νιτρικά NO₃ μετρήθηκαν από 0,49 mg/L έως 36,5 mg/L με μέση. Τα νιτρώδη NO₂ μετρήθηκαν από 0,066 mg/L έως 0,42 mg/L με μέση τιμή 0,157 mg/L. Τα αμμωνιακά NH₄ μετρήθηκαν από 0,056 mg/L έως 2,61 mg/L με μέση τιμή 0,92 mg/L. Σε επτά δείγματα ανιχνεύθηκαν φαινόλες από 0,053mg/L έως 0,503mg/L.. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όλες οι παράμετροι εκτός των TSS ,BOD, NO₂-N είναι εντός του επιτρεπτού ορίου διάθεσης που σημαίνει ότι η λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων που μελετάται είναι αρκετά καλή.

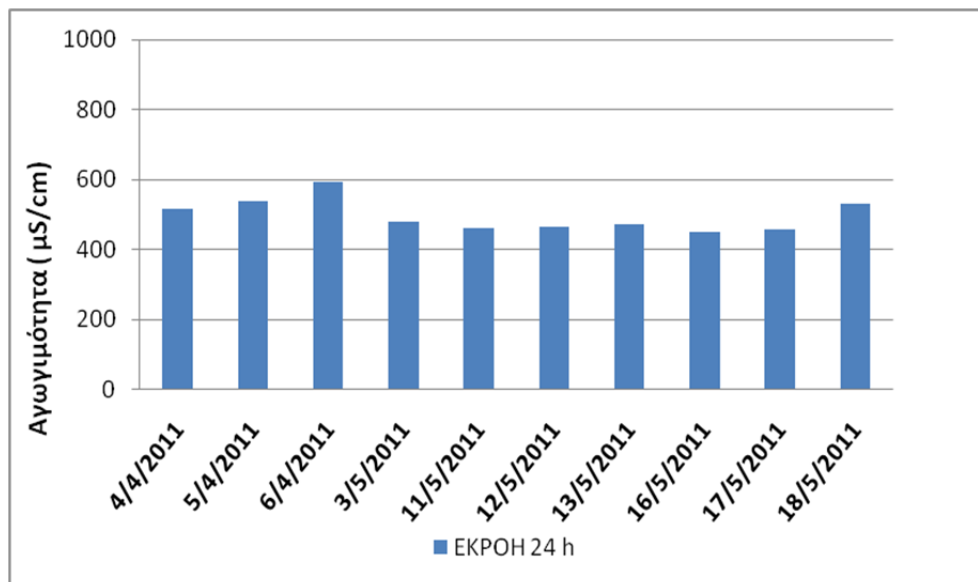
Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 26 καθώς και στα διαγράμματα που ακολουθούν ξεχωριστά για την κάθε παράμετρο που μελετήθηκε.

Πίνακας 25: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από τον 24ωρο δειγματολήπτη στην έξοδο

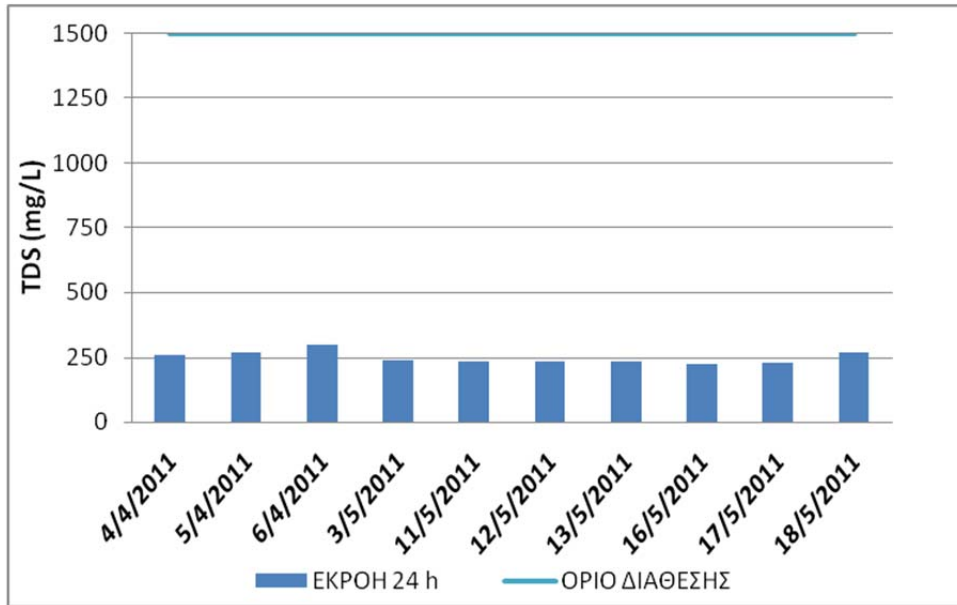
ΕΚΡΟΗ 24 h										
Παράμετροι	4/4/11	5/4/11	6/4/11	3/5/11	11/5/11	12/5/11	13/5/11	16/5/11	17/5/11	18/5/11
pH	7,55	7,6	7,45	7,43	7,37	7,34	7,47	7,47	8,02	8,05
Αγωγιμότητα (μS/cm)	517	539	592	481	462	464	471	449	458	531
TDS (mg/L)	258	269	297	240	231	232	235	224	229	266
TSS (mg/L)	23,3	3,5	10	56,67	3,3	30	16,7	24	30	10
VSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	53,33	3	20	10	18,6	24,3	20
COD (mg/L)	36	38	138	49	41	49	45	25	15	49
BOD (mg/L)	24	18	66	14	10	12	10	6	n.d	11
NO ₂ (mg/L)	0,067	0,22	0,24	0,076	0,066	0,158	0,101	<0,002	0,167	0,184
NO ₃ (mg/L)	36,5	21,1	22,7	11,1	2,41	<0,010	2,79	0,49	4,67	2,14
NH ₄ (mg/L)	0,056	0,217	0,264	1,63	1,65	0,54	0,31	0,144	1,73	2,61
Φαινόλες (mg/L)	n.d.	n.d.	0,053	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,502	0,483	0,503
Cl ₂ (mg/L)	0,180	0,480	0,050	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,010	0,030	0,020
CN (mg/L)	0,003	0,003	0,013	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,004



Σχήμα 56: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης

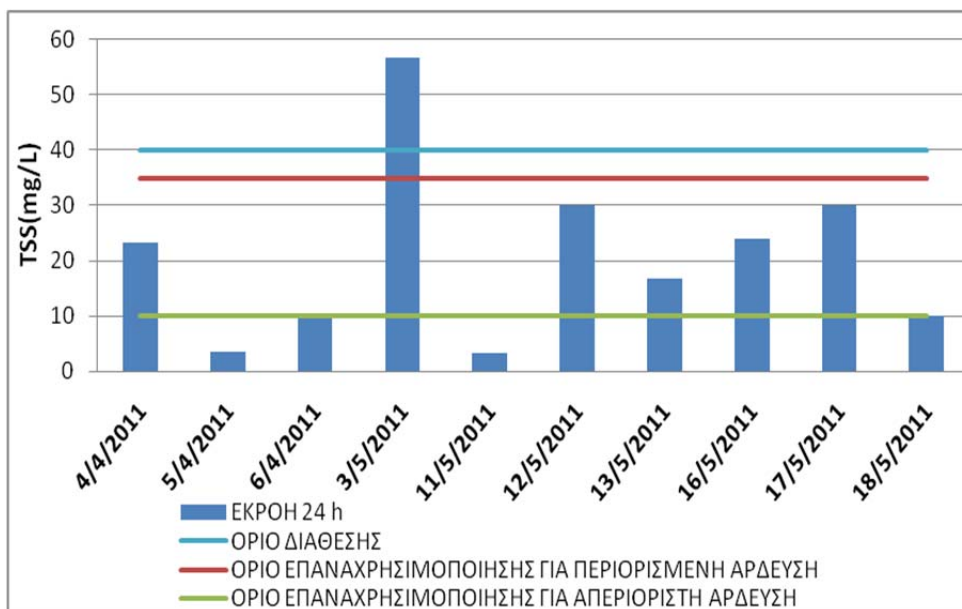


Σχήμα 57: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ

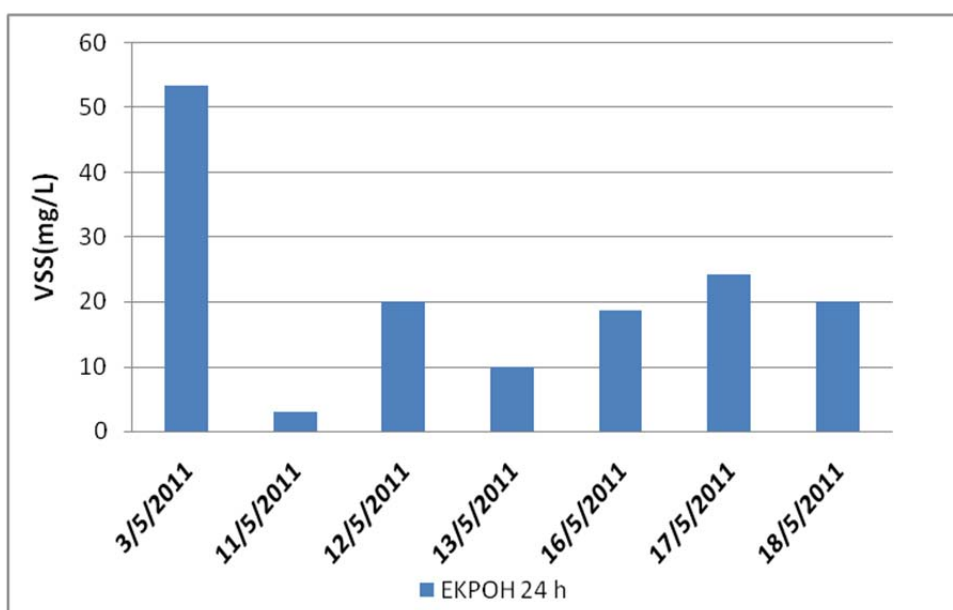


Σχήμα 58: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης

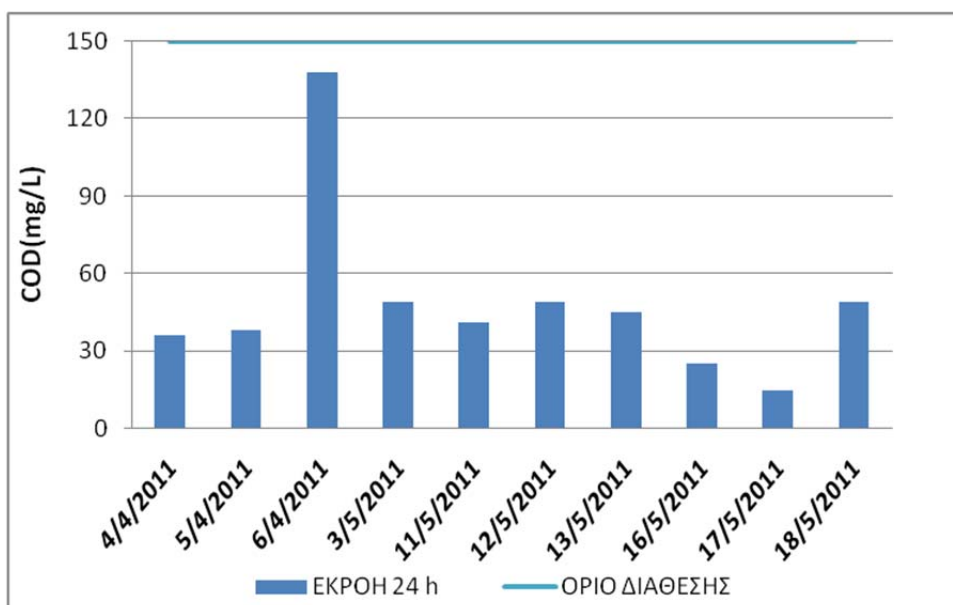
Όσο αναφορά τα TSS όλα τα δείγματα είναι εντός όχι μόνο του ορίου διάθεσης αλλά και του ορίου επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση.



Σχήμα 59: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης

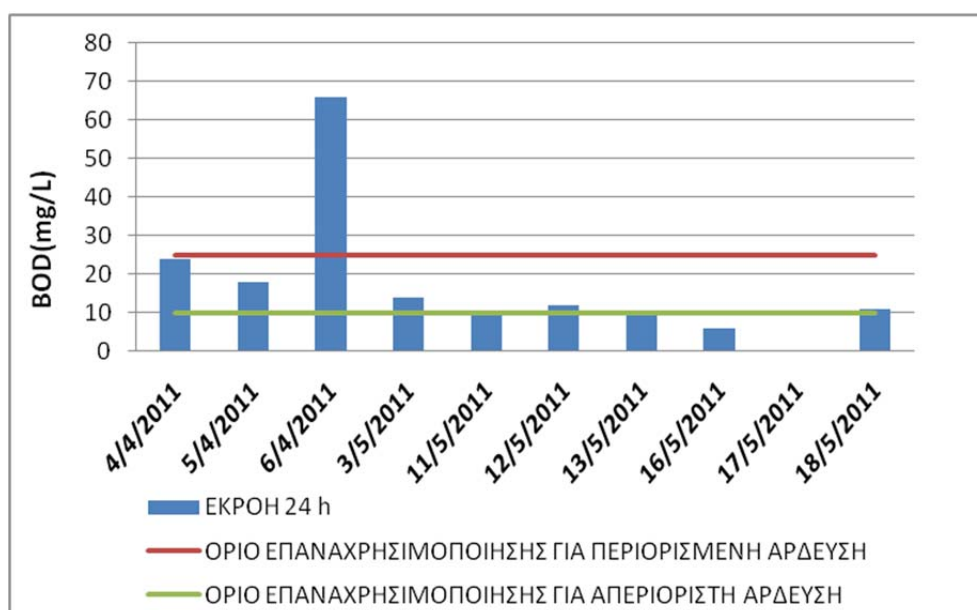


Σχήμα 60: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ

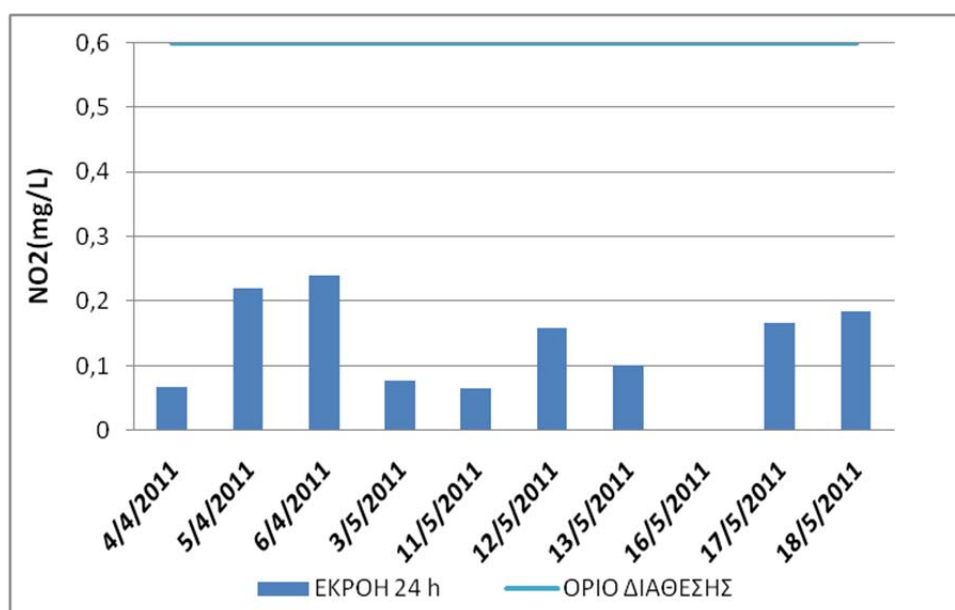


Σχήμα 61: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης

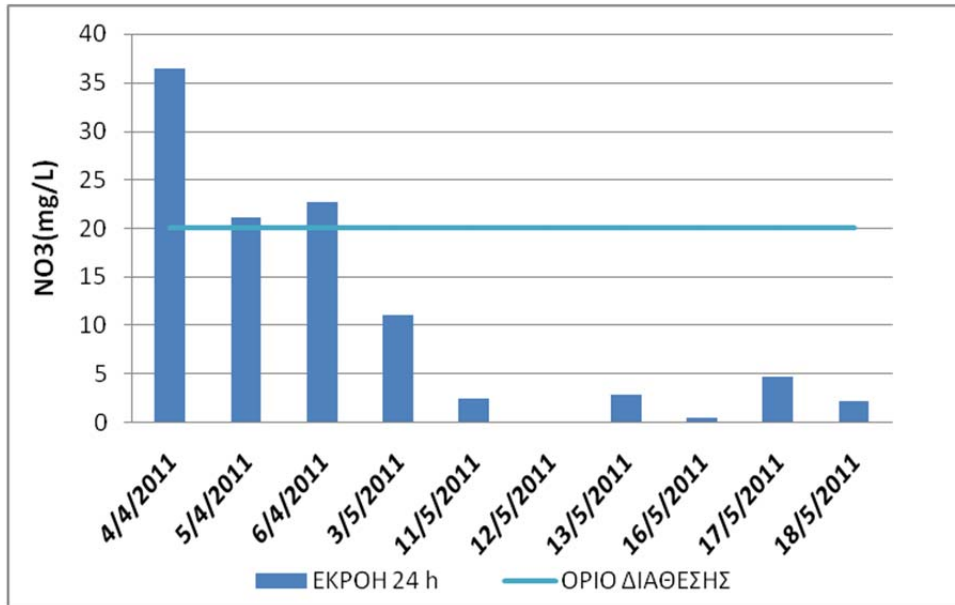
Για το BOD όλα τα δείγματα είναι εντός όχι μόνο του ορίου επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση αλλά και για απεριόριστη γεγονός που δείχνει ότι το 24ωρο δείγμα είναι πολύ καλά επεξεργασμένο.



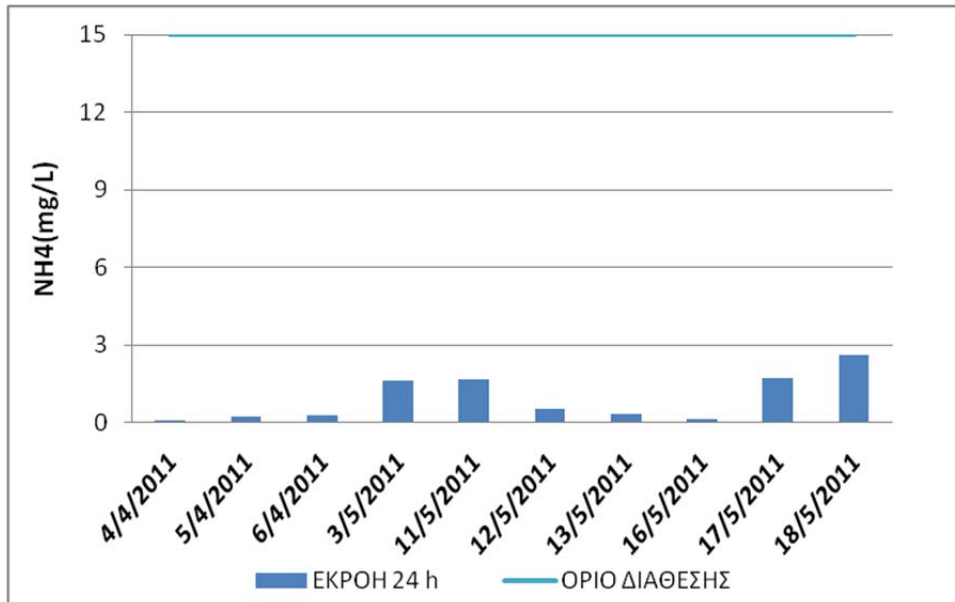
Σχήμα 62: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όρια επαναχρησιμοποίησης



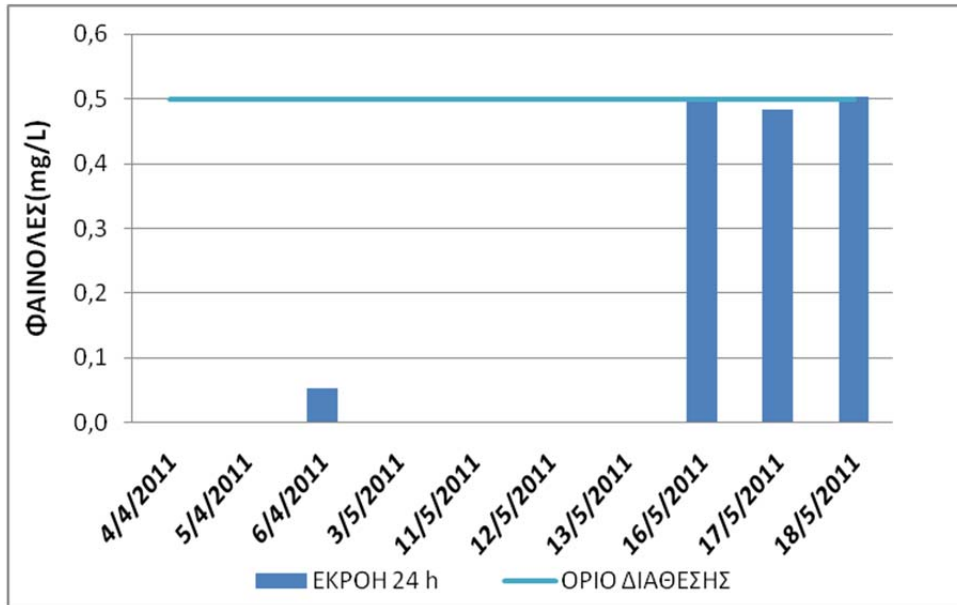
Σχήμα 63: Συγκεντρώσεις NO₂ στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



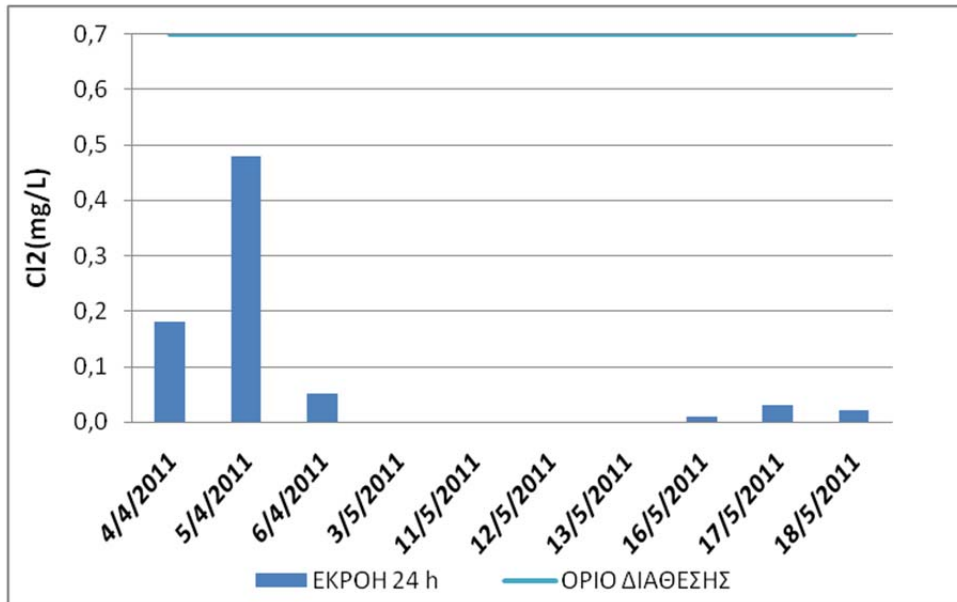
Σχήμα 64: Συγκεντρώσεις NO_3 στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



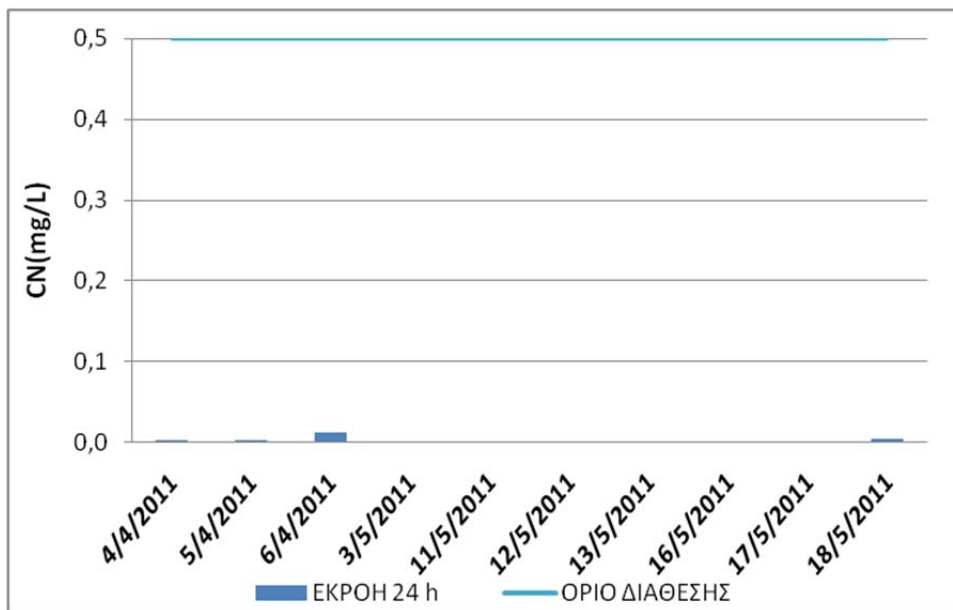
Σχήμα 65: Συγκεντρώσεις NH_4 στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



Σχήμα 66: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



Σχήμα 67: Συγκεντρώσεις Cl2 στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης



Σχήμα 68: Συγκεντρώσεις CN στα δείγματα από τον 24ωρο δειγματολήπτη της ΜΕΛ και όριο διάθεσης

6.6. Αποτελέσματα αναλύσεων από το σημείο διάθεσης της επεξεργασμένης εκροής στον ποταμό

Προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα της επεξεργασμένης εκροής της ΜΕΛ σύμφωνα με τις οριακές τιμές εκπομπών όπως αυτές ορίζονται από την Απόφαση 19649/1972 ελήφθησαν δείγματα τόσο από το σημείο εκροής της ΜΕΛ εντός των εγκαταστάσεων της βιομηχανίας όσο και από το σημείο διάθεσης στον Ασωπό ποταμό.

Από τις αναλύσεις των δειγμάτων που ελήφθησαν κατά τις ημέρες δειγματοληψίας από το σημείο διάθεσης της επεξεργασμένης εκροής από τη ΜΕΛ στον ποταμό παρατηρήθηκαν τιμές pH οι οποίες κυμαίνονταν από 7,24 έως 8,37. Οι συγκεντρώσεις των TDS κυμαίνονταν από 240 έως 665 mg/L, του BOD από 5 έως 28 mg/L και του COD από 8 έως 95 mg/L. Σε 5 από τα 10 δείγματα ανιχνεύθηκε κυάνιο (0,002 - 0,011 mg/L). Αναφορικά με τις αζωτούχες ενώσεις, στα 4 δείγματα όπου μετρήθηκαν βρέθηκαν αμμωνιακά NH_4 από 0,138 mg/L έως 2,810 mg/L, νιτρικά NO_3 από 0,74 mg/L έως 17,7 mg/L και νιτρώδη NO_2 από 0,038 mg/L έως 0,710 mg/L. Σε 3 δείγματα ανιχνεύθηκε χλώριο από 0,01 mg/L έως 0,110 mg/L.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όλες οι παράμετροι εκτός των TSS, BOD, $\text{NO}_2\text{-N}$ είναι εντός του επιτρεπτού ορίου διάθεσης που σημαίνει ότι η λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων που μελετάται είναι αρκετά καλή.

Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 27 και ακολουθούν τα διαγράμματα για την κάθε παράμετρο.

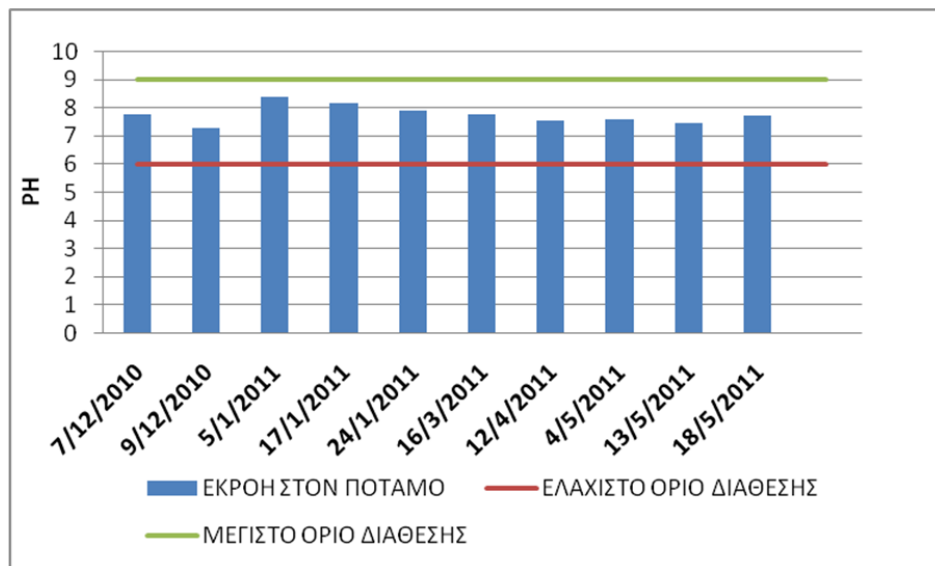
Πίνακας 26: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το σημείο διάθεσης της επεξεργασμένης εκροής στον ποταμό

ΔΙΑΘΕΣΗ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ										
Παράμετροι	7/12/2010	9/12/2010	5/1/2011	17/1/2011	24/1/2011	16/3/2011	12/4/2011	4/5/2011	13/5/2011	18/5/2011
pH	7,73	7,24	8,37	8,13	7,86	7,73	7,52	7,55	7,42	7,7
Αγωγιμότητα μS/cm	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	658	480	512	544
TDS (mg/L)	248	535	258	246	244	665	329	240	254	272
TSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	10	26,67	13,33	30
VSS (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	21	9,5	26,7
COD (mg/L)	8	95	26	81	42	39	68	28	68	14
BOD (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	25	n.m.	n.m.	28	5	19	n.d
NO₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	0,093	0,042	0,038	0,710
NO₃ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	17,700	13,500	0,740	8,000
NH₄ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	0,138	<0,010	1,420	2,810
Φαινόλες (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	0,088	<0,025	<0,025	0,459
Cl₂ (mg/L)	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	0,050	<0,03	0,010	0,110
CN (mg/L)	n.d.	0,002	0,008	n.d.	0,004	0,011	0,004	<0,002	<0,002	<0,002

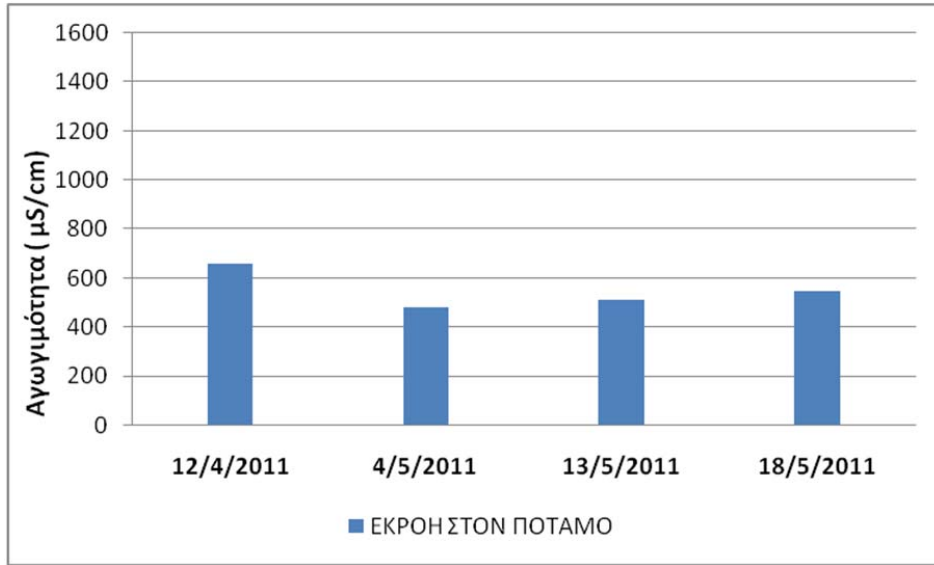
Ακολούθως υπολογίζεται ο λόγος BOD/COD και παρατηρούνται κάποιες τιμές πολύ κοντά στη μονάδα άρα το απόβλητο είναι αρκετά βιοαπεικδομήσιμο.

Πίνακας 27:Μετρήσεις BOD/COD στην τελική εκροή της Μ.ΕΛ.

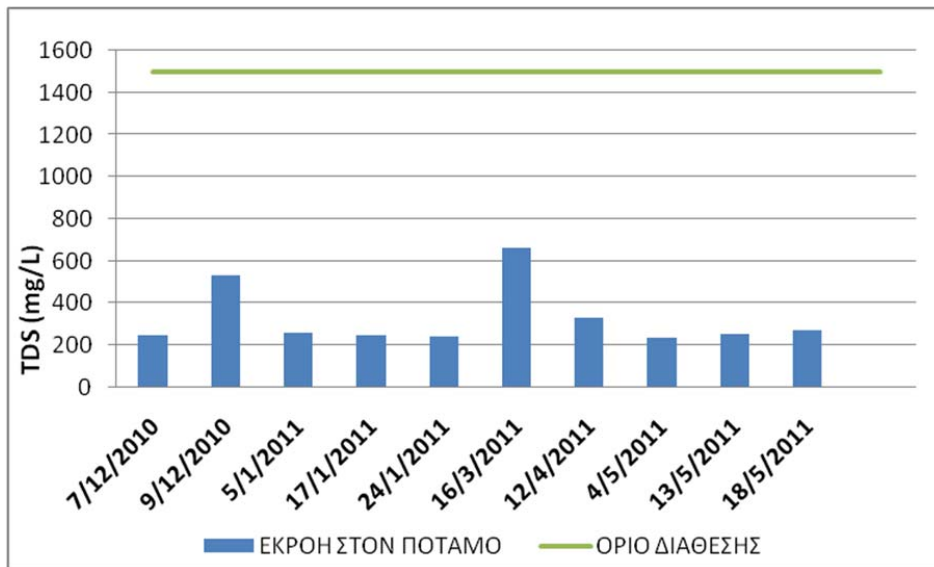
COD	BOD	BOD/COD
ΕΚΡΟΗ ΕΝΤΟΣ Μ.Ε.Λ.		
54	n.m.	-
12	10	0,83
124	48	0,39
28	10,2	0,36
46	10	0,22
47	34	0,72
12	n.d	-



Σχήμα 69: Συγκεντρώσεις pH στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης

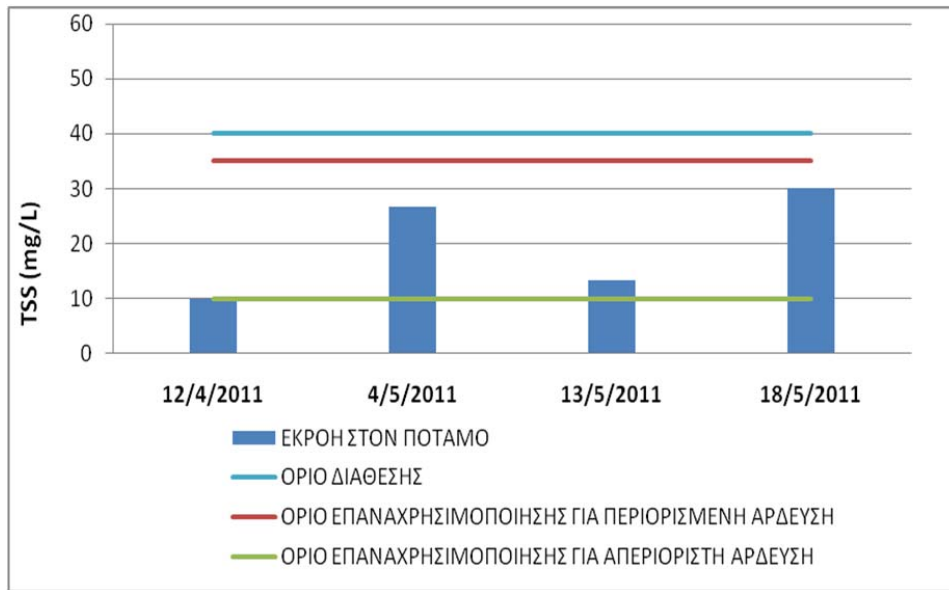


Σχήμα 70: Συγκεντρώσεις αγωγιμότητας στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό

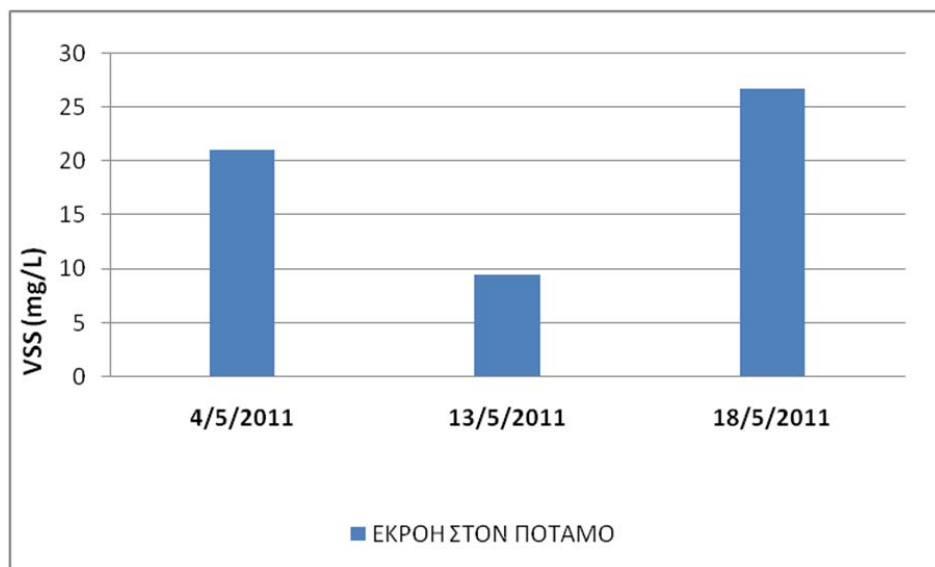


Σχήμα 71: Συγκεντρώσεις TDS στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης

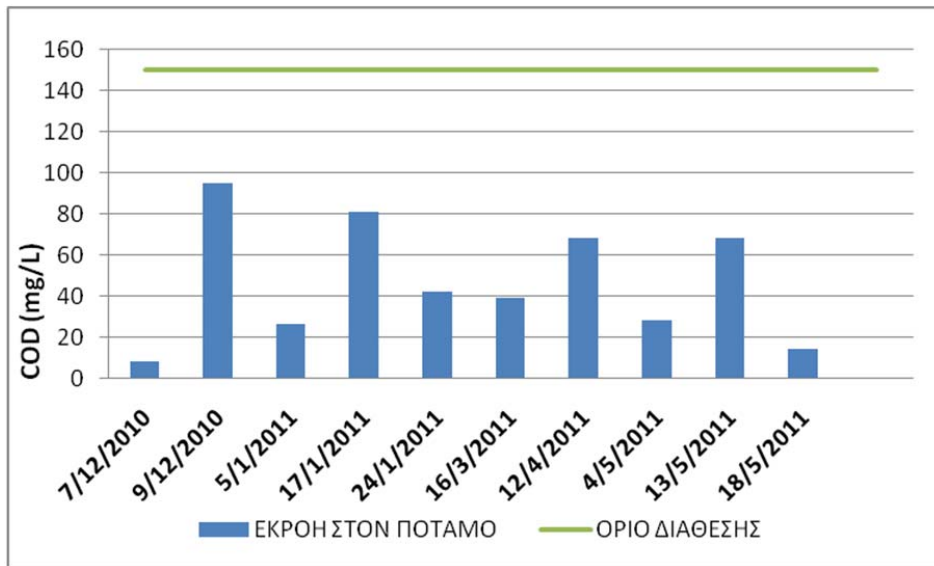
Παρατηρείται ότι η εκροή στον ποταμό είναι αρκετά χαμηλή σε TSS και είναι κατάλληλη ακόμα και για επαναχρησιμοποίηση για περιορισμένη άρδευση όχι όμως και για απεριόριστη



Σχήμα 72: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης

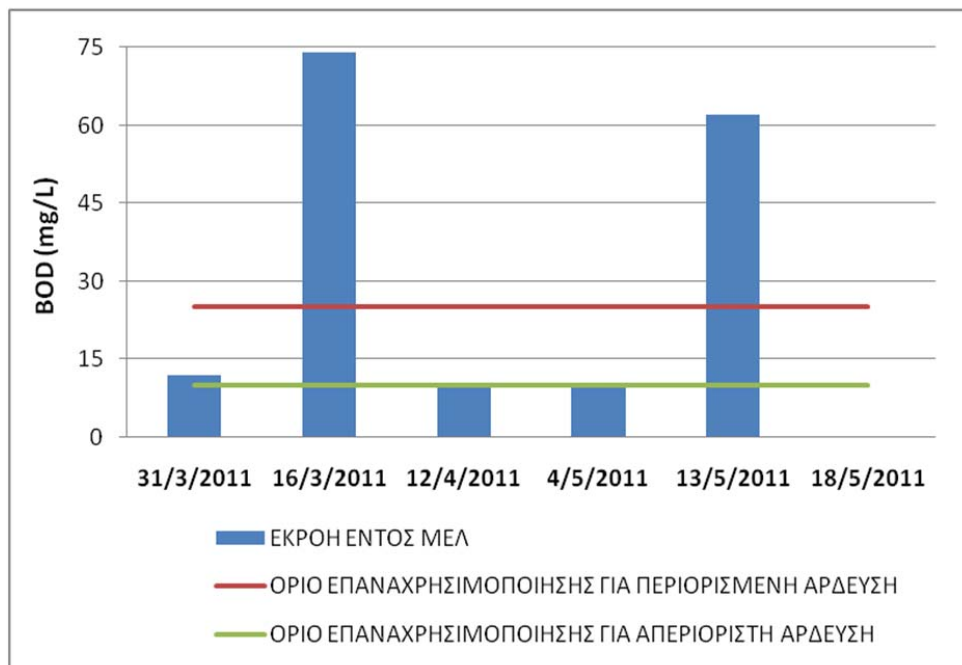


Σχήμα 73: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό

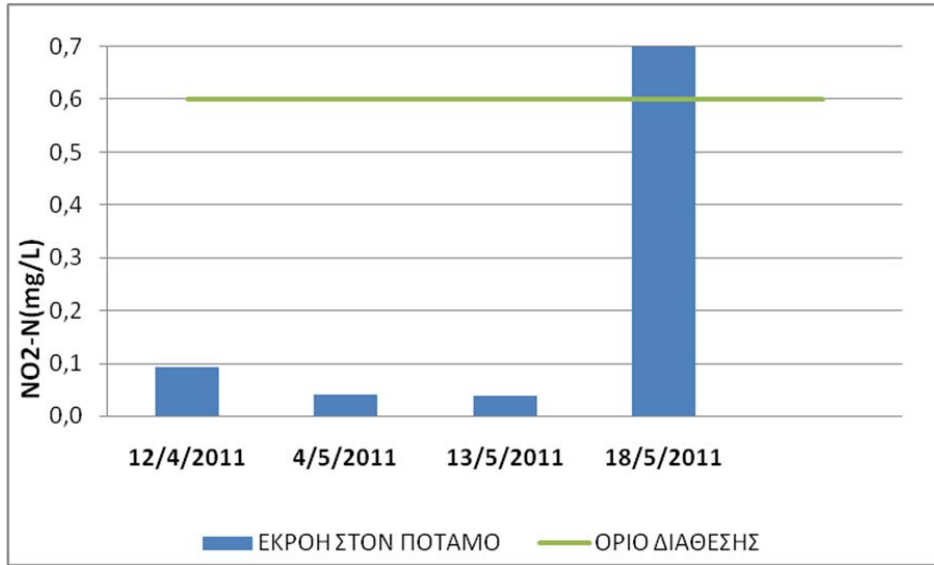


Σχήμα 74: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης

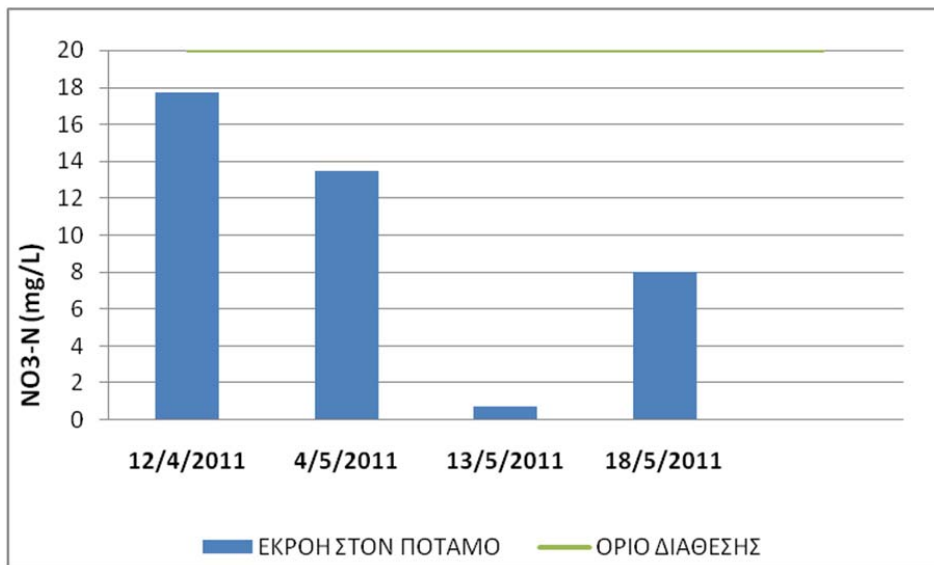
Όσο αναφορά τις συγκεντρώσεις του BOD στο σημείο διάθεσης στον ποταμό παρατηρείται ότι ξεπερνάει κατά πολύ τα όρια επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση.



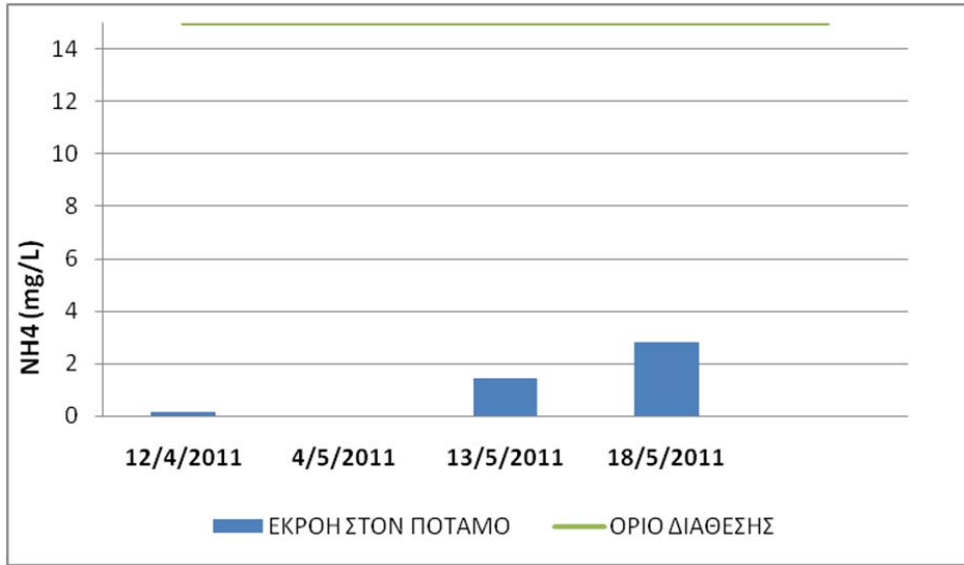
Σχήμα 75: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης



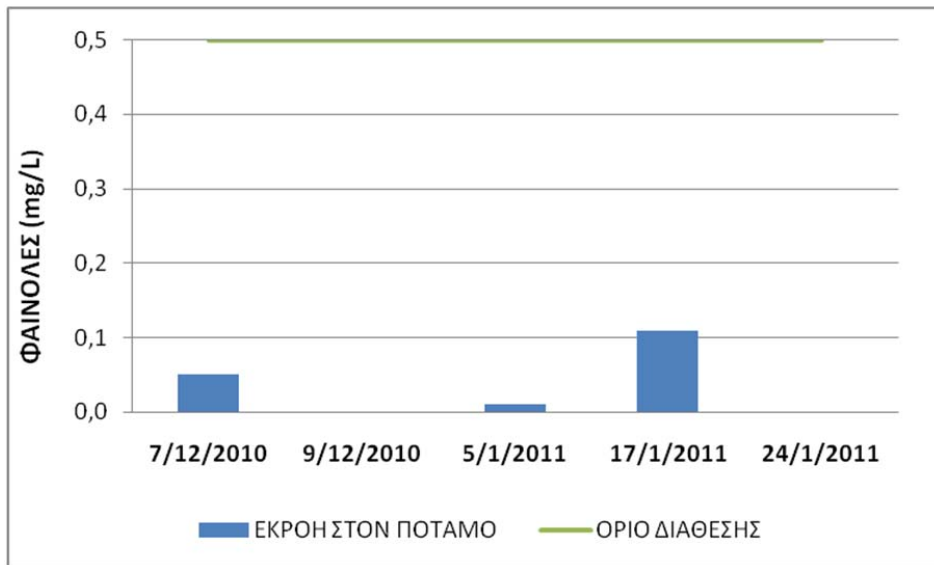
Σχήμα 76: Συγκεντρώσεις $\text{NO}_2\text{-N}$ στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης



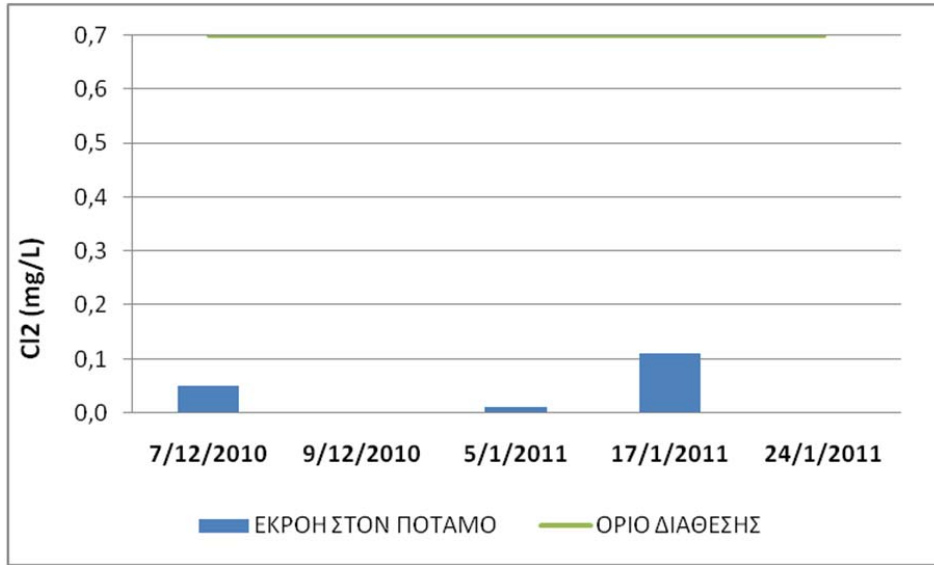
Σχήμα 77: Συγκεντρώσεις $\text{NO}_3\text{-N}$ στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης



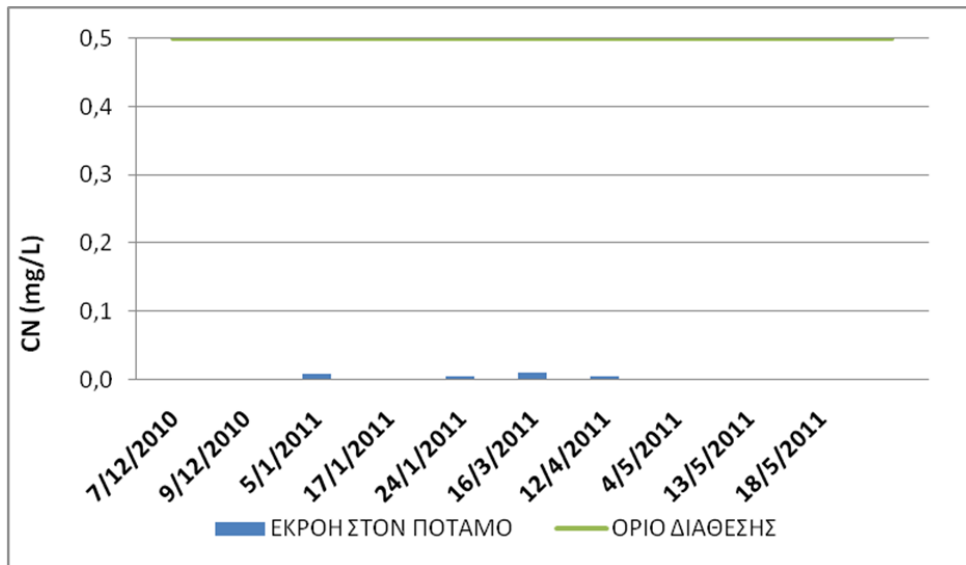
Σχήμα 78: Συγκεντρώσεις NH_4 στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης



Σχήμα 79: Συγκεντρώσεις φαινολών στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης



Σχήμα 80: Συγκεντρώσεις Cl₂ στα δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όριο διάθεσης



Σχήμα 81: Συγκεντρώσεις στα CN δείγματα από το σημείο διάθεσης στον ποταμό και όρια διάθεσης

7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MBR ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΗΣ ΕΚΡΟΗΣ

Στο πειραματικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνάται η δυνατότητα περαιτέρω μείωσης του ρυπαντικού φορτίου των λυμάτων καθώς και η επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης εκροής. Για το λόγο αυτό διεξήχθησαν δύο πειραματικοί κύκλοι :

(i) χρήση συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβράνης σε δείγματα που συλλέχθηκαν από το στάδιο του αερισμού και από την τελική εκροή της υπό παρακολούθηση μονάδας.

(ii) χρήση συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβράνης σε δείγματα που συλλέχθηκαν από το στάδιο του αερισμού της υπό παρακολούθηση μονάδας τα οποία εμπλουτίστηκαν με μέταλλα.

Δεδομένου ότι πολλές φορές τυχαίνει να ανιχνεύονται συγκεντρώσεις μετάλλων στα λύματα, γεγονός το οποίο ενδεχομένως θα απαγόρευε την επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης εκροής, διερευνάται η δυνατότητα κατακράτησης των μετάλλων από τη βιομάζα σε συνδυασμό με τη χρήση συστήματος MBR.

7.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ MBR

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα κατασκευάστηκε στο εργαστήριο της Μονάδας Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Το Σύστημα Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών με το οποίο διεξήχθησαν τα πειράματα είναι εσωτερικά εμβυθιζόμενο με κάθετη ροή διήθησης (dead-end filtration). Στην κάθετη ροή διήθησης το τροφοδοτούμενο ρεύμα κινείται κάθετα στην επιφάνεια της μεμβράνης. Η διήθηση πραγματοποιείται από το εξωτερικό των μεμβρανών προς το εσωτερικό (inside out filtration) με τη δημιουργία κατάλληλου κενού στο εσωτερικό των μεμβρανών που επιτυγχάνεται από την αντλία διήθησης. Οι μεμβράνες του συστήματος είναι τριχοειδής με κοίλες ίνες με πόρους διαμέτρου 0.04 μm . με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται η διεργασία της υπερδιήθησης. Η υπερδιήθηση εφαρμόζεται για την αφαίρεση ουσιών με μεγέθη από 0,005 μm έως 0,2 μm και αφαιρεί με επιτυχία αιωρούμενα στερεά, ιούς και κολλοειδή. Η υπερδιήθηση εφαρμόζεται για το διαχωρισμό διαλυτών μακρομοριακών ενώσεων, καθώς το σύστημα έχει τη δυνατότητα αφαίρεσης διαλυτών οργανικών ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους. Η ροή διαμέσου της μεμβράνης επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς πίεσης που αναπτύσσεται μεταξύ του ρεύματος εισόδου και εξόδου της μεμβράνης. Ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται καθαρά λόγω μεγέθους, με μηχανισμό ανάλογο του κοσκινίσματος, με τις ουσίες που είναι μεγαλύτερες από το μέγεθος των πόρων να κατακρατούνται. Οι μεμβράνες υπερδιήθησης αδυνατούν να αφαιρέσουν ανόργανες ουσίες (άλατα) και μικρές μονομερείς οργανικές ενώσεις. Όμως η κατακράτηση ουσιών από τις μεμβράνες δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το μέγεθος των πόρων, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως το σχήμα των ουσιών και το βαθμό της έμφραξης της μεμβράνης.

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω όργανα και συσκευές:

1. Κυλινδρικό δοχείο τροφοδοσίας (module): Το δοχείο αυτό έχει βάθος 280mm και εσωτερική διάμετρο 143mm και είναι από Plexiglas . Ο συνολικός ωφέλιμος όγκος του δοχείου είναι περίπου 5 λίτρα. Σε αυτό το σύστημα πραγματοποιούνταν η εμφύσηση αέρα. Ο αέρας εισερχόταν μέσα από ένα αγωγό μήκους 1 cm και εσωτερικής διαμέτρου 6mm.
2. Αντλίες παροχής αερισμού
3. Αντλία κενού παροχής αέρα: Προμηθεύτηκε από την εταιρεία Millipore, τύπου WP6I22050 230V, 50HZ και 1.7 A. Η αντλία είχε ενσωματωμένο μανόμετρο τύπου Ashcroft για τη ρύθμιση της πίεσης λειτουργίας του συστήματος. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση ήταν -100kPa και η ελάχιστη -10kPa
4. Αναδευτήρας: Προμηθεύτηκε από την εταιρεία Hellamco A.E. και ήταν τύπου Heidolph R2R 2041
5. Φούρνος: Προμηθεύτηκε από την εταιρεία Hellamco A.E.
6. Διηθητικά φίλτρα τύπου Whatman με διάμετρο πόρου 47 mm
7. Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου Perkin Elmer 2380
8. Μεμβράνη υπερδιήθησης: Η μεμβράνη είναι της εταιρείας Zenon Environmental. Οι ίνες των μεμβρανών είναι φτιαγμένες από πολυμερές PVDF και έχουν πόρους διαμέτρου 0.04 μm.
9. Διάφορες κοινές εργαστηριακές συσκευές: σιφώνια 1,5,10 ml, πιπέτες, ογκομετρικές - κωνικές φιάλες, διηθητικό χαρτί, συσκευές διήθησης υπό κενό ,ποτήρια ζέσεως 50,100,250 ml, δοκιμαστικοί σωλήνες τύπου Millipore,ζυγοί για τη μέτρηση βάρους του συλλεχθέντος διηθήματος κ.α.



Εικόνα 3: Πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε



Εικόνα 4: Η μεμβράνη με τριχοειδής κοίλες ίνες που χρησιμοποιήθηκε

7.2. Α΄ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Στα δείγματα που ελήφθησαν τόσο από το στάδιο του αερισμού όσο και από το στάδιο της τελικής εκροής από την υπό μελέτη μονάδα του βιολογικού καθαρισμού, ακολουθήθηκε η εξής πειραματική διαδικασία:

Σε κυλινδρικό αντιδραστήρα όγκου 5 λίτρων τοποθετείται η μεμβράνη κοίλων ινών και το σύστημα τροφοδοτείται με 3,5 λίτρα από το δείγμα. Η διήθηση πραγματοποιείται από το εξωτερικό της μεμβράνης προς το εσωτερικό με τη δημιουργία κατάλληλου κενού στο εσωτερικό της που επιτυγχάνεται από αντλία κενού. Με την αντλία παρέχεται η κατάλληλη υποπίεση για να πραγματοποιηθεί η διεργασία της διήθησης με αποτέλεσμα το επεξεργασμένο λύμα να διαπερνά τους πόρους της μεμβράνης ενώ η βιομάζα να παραμένει μέσα στο δοχείο. Επίσης παρέχεται αερισμός στη μονάδα έτσι ώστε να υπάρχει μια συνεχής ανάδευση κατά τη διάρκεια του πειράματος. Το διήθημα συλλέγεται σε κωνική φιάλη. Ανά 5 λεπτά η πειραματική διαδικασία διακόπτεται για μερικά δευτερόλεπτα ώστε το να ληφθεί δείγμα προς ανάλυση από το διήθημα που έχει συλλεχθεί ενώ το υπόλοιπο επιστρέφεται πίσω στο ανάμικτο υγρό.

Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα δείγματα αναλύθηκαν ως προς τις παραμέτρους τις οποίες αναμενόταν να μεταβληθούν μετά την επεξεργασία με τις μεμβράνες (TSS, VSS, COD, BOD). Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων των επεξεργασμένων δειγμάτων καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή τους σε σχέση με τα αρχικά δείγματα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Παρατηρείται ότι για τα δείγματα από το στάδιο του αερισμού η χρήση μεμβρανών είχε ως αποτέλεσμα μείωση των συγκεντρώσεων όλων των υπό εξέταση παραμέτρων από 97,5% έως 99,3% (Πίνακας 29).

Για τα δείγματα από το στάδιο της τελικής εκροής η χρήση μεμβρανών είχε ως αποτέλεσμα μείωση των συγκεντρώσεων όλων των υπό εξέταση παραμέτρων από 22% έως 82% (Πίνακας 30).

Στον αερισμό παρατηρούνται πολύ μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης (μ.ο. 98-99%) σε σχέση με την εκροή (μ.ο. 44-70%) (Πίνακας 31). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απόδοση της διεργασίας εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση του ρυπαντικού φορτίου στο δείγμα. Οι

συγκεντρώσεις όλων των παραμέτρων στο στάδιο του αερισμού είναι πολύ μεγαλύτερες με αποτέλεσμα η διεργασία να είναι πιο αποτελεσματική.

Πίνακας 28: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το στάδιο του αερισμού της ΜΕΛ ύστερα από επεξεργασία με τη μεμβράνη

ΣΤΑΔΙΟ ΑΕΡΙΣΜΟΥ						
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	13/5/2011			18/5/2011		
	ΧΩΡΙΣ MBR	ΜΕ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ MBR	ΜΕ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ
TSS (mg/L)	1673,33	13,33	99,20%	806,67	20	97,52%
VSS (mg/L)	1493,33	6	99,60%	746,67	16,67	97,77%
COD (mg/L)	2040	48	97,65%	2736	30	98,90%
BOD (mg/L)	1112	12	98,92%	1402	10	99,29%

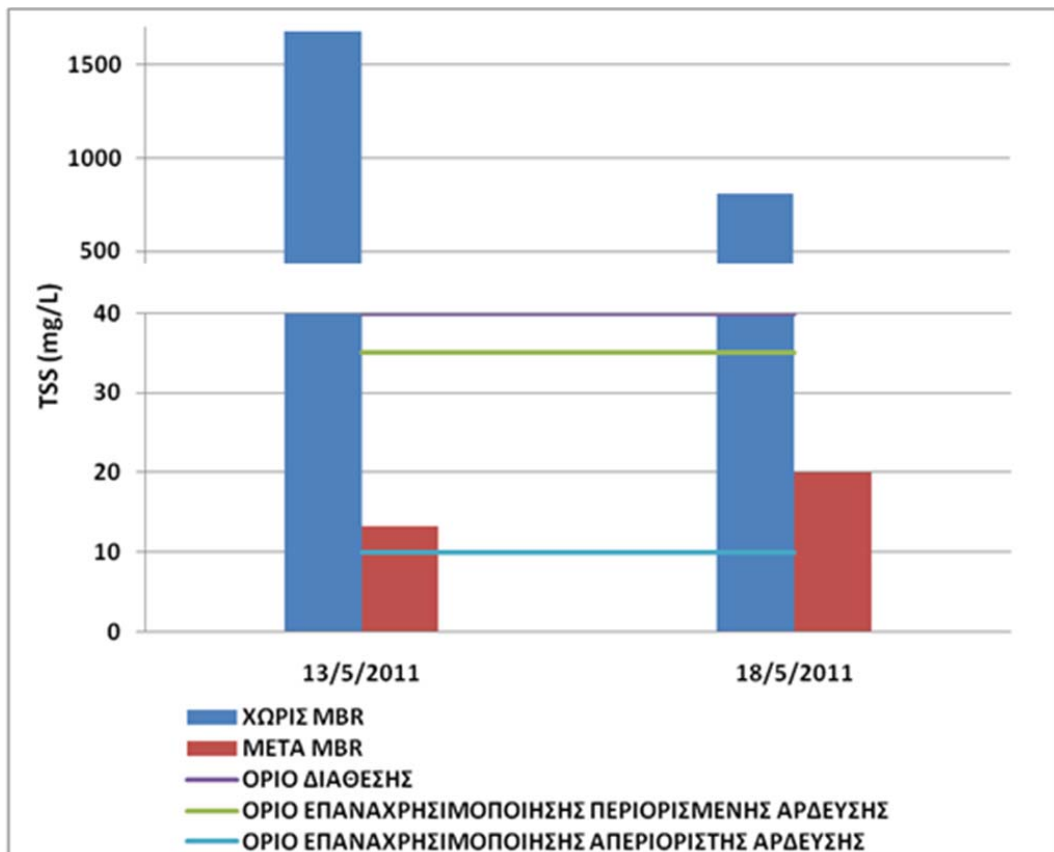
Πίνακας 29: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το στάδιο εκροής της ΜΕΛ ύστερα από επεξεργασία με τη μεμβράνη

ΣΤΑΔΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΕΝΤΟΣ ΜΕΛ															
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	31/3/2011			12/4/2011			4/5/2011			13/5/2011			18/5/2011		
	ΧΩΡΙΣ MBR	ΜΕ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ MBR	ΜΕ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ MBR	ΜΕ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ MBR	ΜΕ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ	ΧΩΡΙΣ MBR	ΜΕ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ
TSS (mg/L)	30	23,3	22%	6,7	3,3	51%	43,3	10	77%	6,7	3,3	51%	6,7	3,33	50%
VSS (mg/L)	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m	39,3	7	82%	3,33	1,2	64%	3,6	1,33	63%
COD (mg/L)	12	12	-	28	13	54%	46	17,8	61%	208	78	63%	12	7	42%
BOD (mg/L)	10	3	70%	10,2	4	61%	10	5	50%	34	24	29%	n.d	n.d	n.d

Πίνακας 30: Ποσοστιαία απομάκρυνση ρυπαντικού φορτίου δειγμάτων ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη

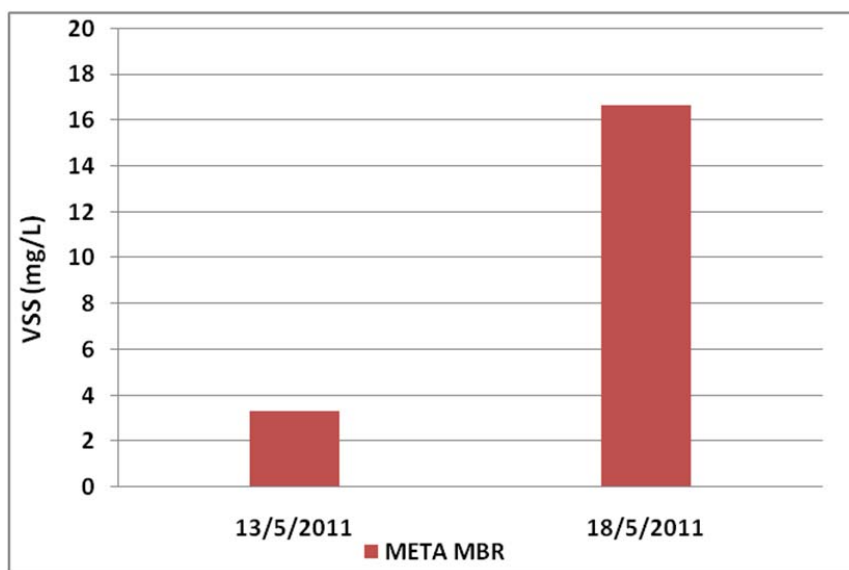
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΑΕΡΙΣΜΟΣ			ΕΚΡΟΗ ΕΝΤΟΣ ΜΕΛ					
	13/5/2011	18/5/2011	Μ.Ο. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ	31/3/2011	12/4/2011	4/5/2011	13/5/2011	18/5/2011	Μ.Ο. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ
TSS (mg/L)	99,20%	97,52%	98,36%	22%	51%	77%	51%	50%	50%
VSS (mg/L)	99,60%	97,77%	98,68%	n.m	n.m	82%	64%	63%	70%
COD (mg/L)	97,65%	98,90%	98,28%	0%	54%	61%	63%	42%	44%
BOD (mg/L)	98,92%	99,29%	99,10%	70%	61%	50%	29%	n.d	52%

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων των πειραμάτων για το στάδιο του αερισμού σε σχέση με τα όρια διάθεσης καθώς και τα προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης ξεχωριστά για την κάθε παράμετρο που μελετήθηκε.



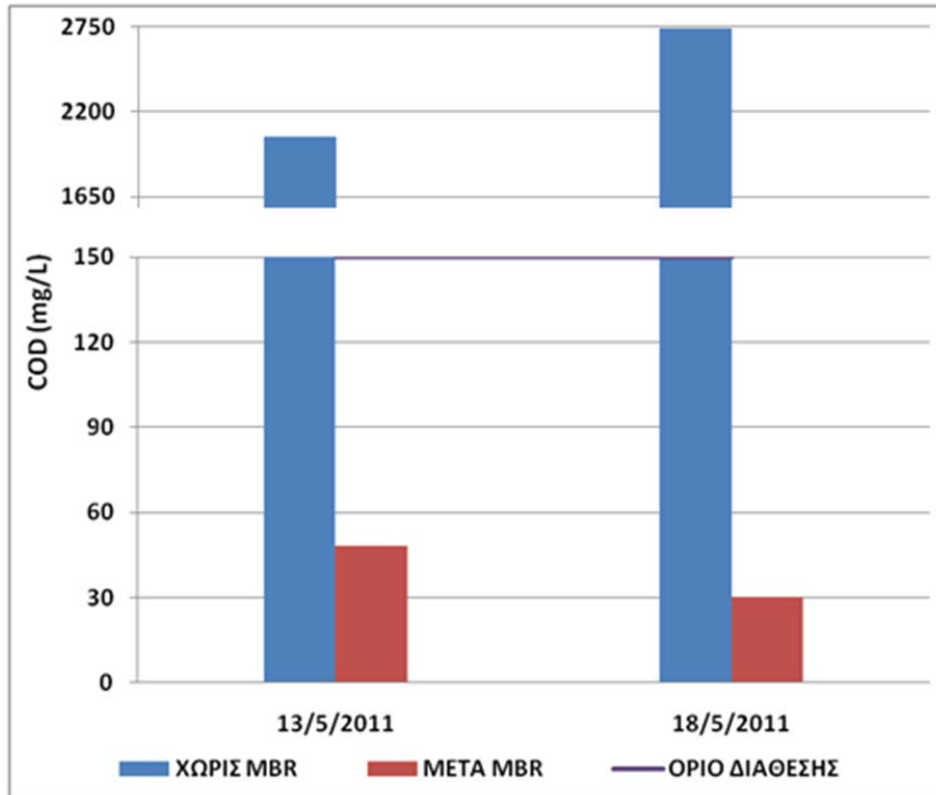
Σχήμα 82: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης

Όσον αφορά στη συγκέντρωση των TSS στα δείγματα από το στάδιο της αερισμού που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις 13,3 και 20 mg/L. Και τα δύο δείγματα ικανοποιούν τόσο τα αντίστοιχα όρια διάθεσης όσο και τα προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση.



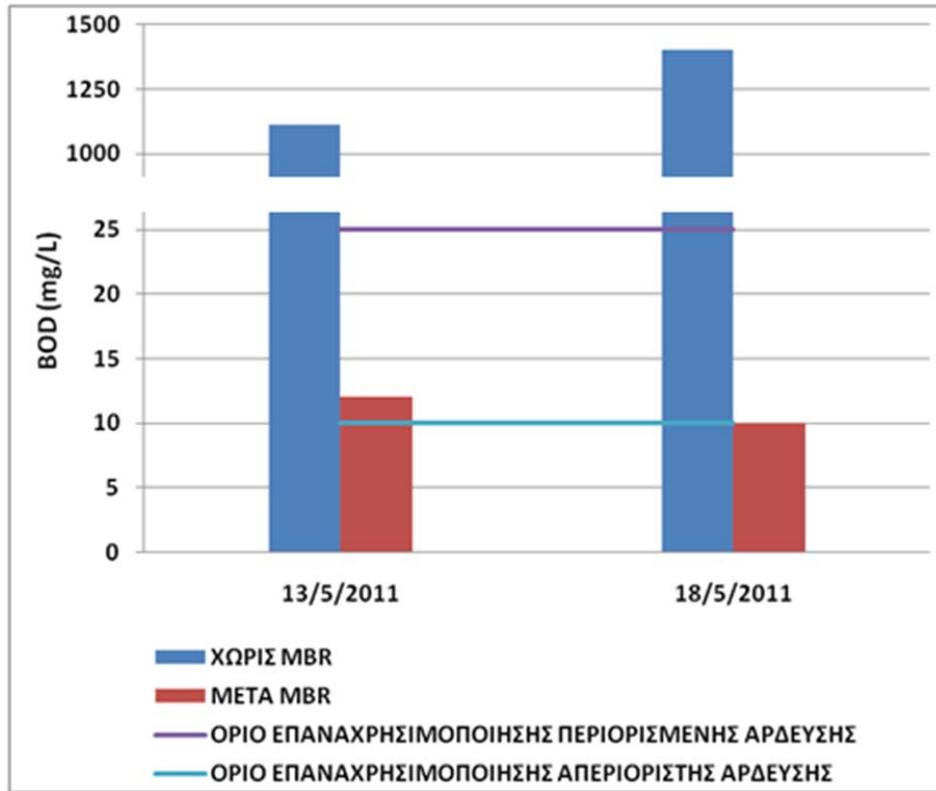
Σχήμα 83: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη

Η συγκέντρωση των VSS στα δείγματα από το στάδιο της αερισμού που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, ήταν 6 και 16,7 mg/L. Δεν υπάρχουν αντίστοιχα όρια διάθεσης ή όρια επαναχρησιμοποίησης για την εν λόγω παράμετρο.



Σχήμα 84: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όριο διάθεσης

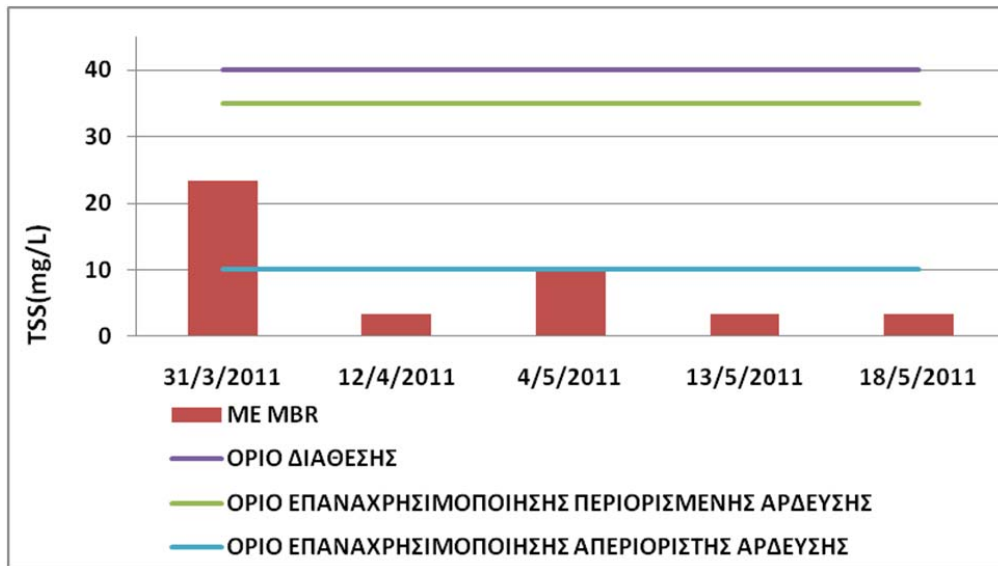
Όσον αφορά στη συγκέντρωση του COD στα δείγματα από το στάδιο της αερισμού που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις 48 και 30 mg/L. Και τα δύο δείγματα ικανοποιούν τα αντίστοιχα όρια διάθεσης. Δεν υπάρχουν αντίστοιχα όρια επαναχρησιμοποίησης για την εν λόγω παράμετρο.



Σχήμα 85: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης

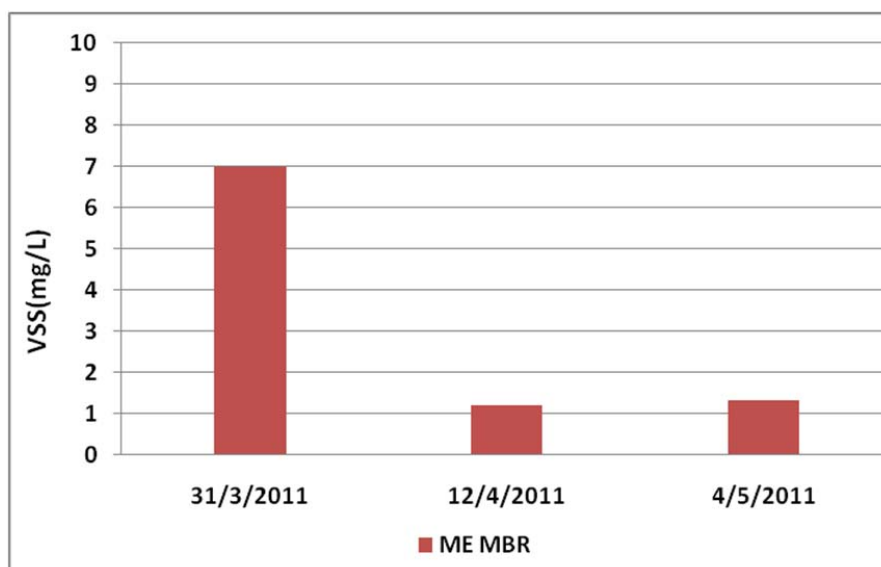
Όσον αφορά στη συγκέντρωση του BOD στα δείγματα από το στάδιο της αερισμού που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις 12 και 10 mg/L. Και τα δύο δείγματα ικανοποιούν τα αντίστοιχα τα προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση, ενώ το δεύτερο ικανοποιεί και το όριο για απεριόριστη άρδευση. Δεν υπάρχουν αντίστοιχα όρια διάθεσης για την εν λόγω παράμετρο.

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων των πειραμάτων για το στάδιο της εκροής σε σχέση με τα όρια διάθεσης καθώς και τα προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης ξεχωριστά για την κάθε παράμετρο που μελετήθηκε.



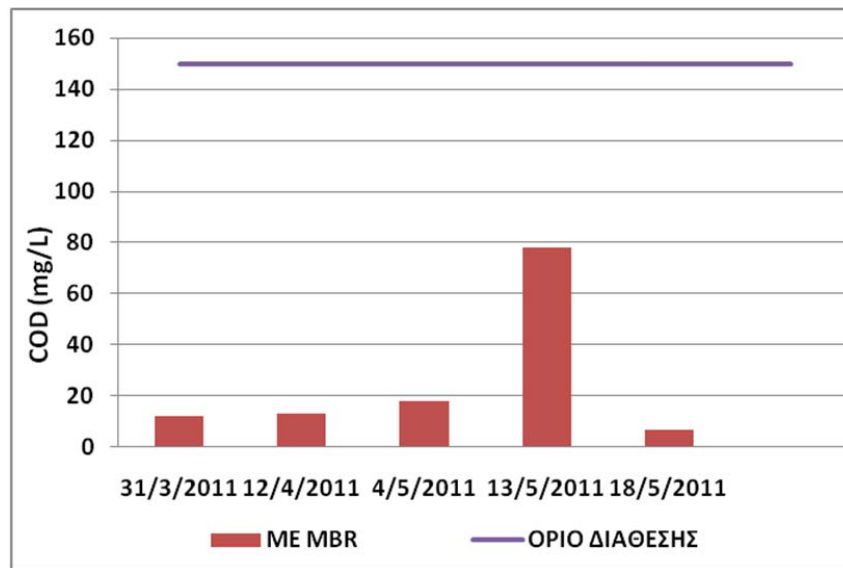
Σχήμα 86: Συγκεντρώσεις TSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια διάθεσης/επαναχρησιμοποίησης

Όσον αφορά στη συγκέντρωση των TSS στα δείγματα από το στάδιο της εκροής που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις από 3,3 - 23,3 mg/L με μέσο όρο 8,6 mg/L. Τέσσερα από τα πέντε δείγματα ικανοποιούν τα προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση ενώ και τα πέντε επεξεργασμένα δείγματα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για περιορισμένη άρδευση.



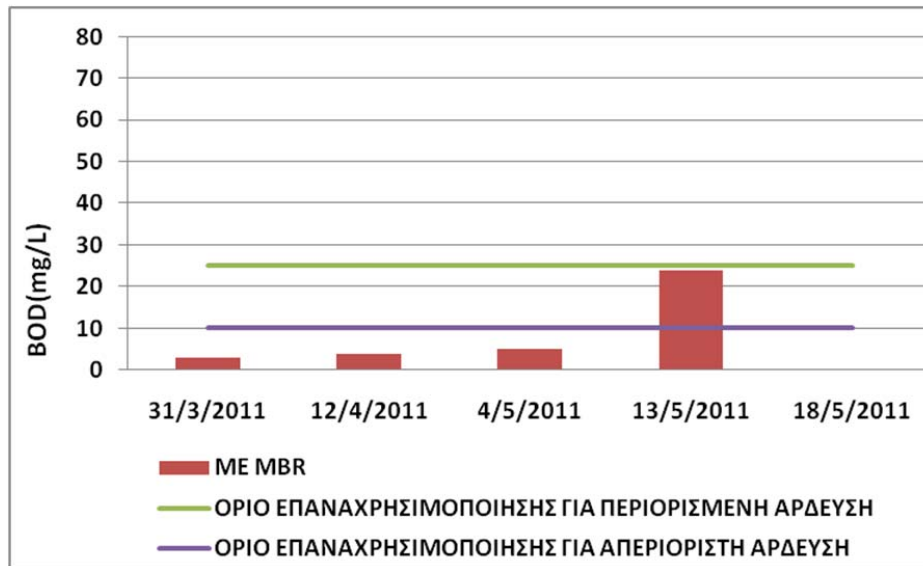
Σχήμα 87: Συγκεντρώσεις VSS στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη

Όσον αφορά στη συγκέντρωση των VSS στα δείγματα από το στάδιο της εκροής που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις από 1,2 έως 7 mg/L. Δεν υπάρχουν αντίστοιχα όρια διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης για την εν λόγω παράμετρο.



Σχήμα 88: Συγκεντρώσεις COD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όριο διάθεσης

Όσον αφορά στη συγκέντρωση του COD στα δείγματα από το στάδιο της εκροής που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, παρατηρήθηκαν συγκεντρώσεις από 7 έως 78 mg/L. Όλα τα δείγματα ικανοποιούν τα όρια διάθεσης ενώ δεν υπάρχουν αντίστοιχα όρια επαναχρησιμοποίησης για την εν λόγω παράμετρο.



Σχήμα 89: Συγκεντρώσεις BOD στα δείγματα από το σημείο τελικής εκροής ύστερα από την επεξεργασία με τη μεμβράνη και όρια επαναχρησιμοποίησης

Η συγκέντρωση του BOD στα δείγματα από το στάδιο της εκροής που έχουν υποστεί επεξεργασία με MBR, ήταν από 3 έως 24 mg/L. Όλα τα δείγματα ικανοποιούν τα όρια επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση ενώ 3 δείγματα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και για απεριόριστη άρδευση. Δεν υπάρχουν αντίστοιχα όρια διάθεσης για την εν λόγω παράμετρο.

7.3. Β' ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

7.3.1. Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από το στάδιο του αερισμού της ΜΕΛ ύστερα από επεξεργασία με τη μεμβράνη και την προσθήκη μετάλλων

Για τη διεξαγωγή του Β' πειραματικού κύκλου τα δείγματα που ελήφθησαν από το στάδιο του αερισμού εμπλουτίστηκαν με μέταλλα, έτσι ώστε η τελική συγκέντρωση για το κάθε μέταλλο (Cd,Cr,Ni,Zn,Cu,Fe,Mn,Pb) να είναι 1mg/L. Το εμπλουτισμένο δείγμα αναδεύεται για δύο ώρες στις 800 στροφές το λεπτό, έπειτα τοποθετείται στη μεμβράνη υπερδιήθησης και επαναλαμβάνεται η πειραματική διαδικασία που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Στη συνέχεια τα επεξεργασμένα δείγματα αναλύθηκαν ως προς τα υπό εξέταση μέταλλα. Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων των επεξεργασμένων δειγμάτων καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή τους σε σχέση με τα αρχικά δείγματα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Γενικά παρατηρήθηκε ιδιαίτερα ικανοποιητική απομάκρυνση των μετάλλων (100%) με εξαίρεση μόνο δύο μέταλλα και συγκεκριμένα το μαγγάνιο και το κάδμιο, τα οποία παρουσίασαν απομάκρυνση 96,7% και 97,6% αντίστοιχα. Η απομάκρυνση των ιόντων μετάλλων οφείλεται στην προσρόφηση των ιόντων στις βιοκροκίδες και στα κολλοειδή σωματίδια της ιλύος με αποτέλεσμα την κατακράτησή τους από τις μεμβράνες υπερδιήθησης (τα σωματίδια αυτά έχουν διάμετρο πόρων μεγαλύτερη από τους πόρους της μεμβράνης, που έχουν διάμετρο πόρων 0.04μm με αποτέλεσμα να κατακρατώνται στη βιομάζα και να μην διαπερνούν στην έξοδο του συστήματος). Ωστόσο η ιλύς δεν φαίνεται να παρουσιάζει την ίδια επιλεκτικότητα και για το μαγγάνιο και το κάδμιο, τα οποία κατακρατήθηκαν σε μικρότερο βαθμό.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων μειώθηκαν σε τέτοιο βαθμό ώστε να ικανοποιούν τα όρια διάθεσης αλλά και τα όρια άρδευσης για γεωργία (US EPA) τόσο για βραχυχρόνια όσο και για μακροχρόνια χρήση, με εξαίρεση το κάδμιο το οποίο δεν πληρούσε το όριο για μακροχρόνια χρήση (Πίνακας 12).

Πίνακας 31: Αποτελέσματα αναλύσεων δειγμάτων από στάδιο αερισμού με προσθήκη μετάλλων και επεξεργασία με μεμβράνη, όρια διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ (mg/L)	ΑΕΡΙΣΜΟΣ						ΟΡΙΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ	ΟΡΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	
	13/5/2011			18/5/2011				Μακρ/νια χρήση	Βραχ/νια χρήση
	ΠΡΙΝ MBR	ΜΕΤΑ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ	ΠΡΙΝ MBR	ΜΕΤΑ MBR	% ΜΕΙΩΣΗ			
Cr	1	n.d.	100%	1	n.d.	100%	2,2	0,1	1
Cu	1	n.d.	100%	1	n.d.	100%	1,5	0,2	5
Mn	1	0,07	93%	1	0,033	96,7%	2	0,2	10
Fe	1	n.d.	100%	1	n.d.	100%	2	5	20
Ni	1	n.d.	100%	1	n.d.	100%	2	0,2	2
Cd	1	0,034	96,6%	1	0,024	97,6%	0,1	0,01	0,05
Pb	1	n.d.	100%	1	n.d.	100%	0,1	-	-
Zn	1	n.d.	100%	1	n.d.	100%	7	2	10

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στη συνέχεια επιχειρείται να παρουσιαστούν συνοπτικά τα συμπεράσματα που εξάγονται βάσει των αποτελεσμάτων που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Γενικά παρατηρήθηκε ότι η εκροή της υπό μελέτη μονάδας πληρούσε τα όρια διάθεσης λυμάτων σε υδάτινο αποδέκτη που ισχύουν για την ευρύτερη περιοχή για τις περισσότερες των περιπτώσεων, ωστόσο ορισμένες φορές οι συγκεντρώσεις TSS και NO_x υπερέβαιναν τα εν λόγω όρια. Επίσης, η εκροή δεν ικανοποιούσε τα προτεινόμενα όρια επαναχρησιμοποίησης για τις παραμέτρους που εξετάστηκαν (BOD, TSS).

Η εφαρμογή συστήματος μεμβρανών στα δείγματα της εκροής μείωσε περαιτέρω το ρυπαντικό φορτίο, με αποτέλεσμα οι συγκεντρώσεις των υπό εξέταση παραμέτρων να ικανοποιούν τόσο τα όρια διάθεσης όσο και τα όρια επαναχρησιμοποίησης. Η εφαρμογή μεμβρανών στα δείγματα από το στάδιο του αερισμού, είχε ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλες απομακρύνσεις του ρυπαντικού φορτίου (έως 99%), με ταυτόχρονη ικανοποίηση των ορίων διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης. Στον αερισμό παρατηρούνται πολύ μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης σε σχέση με την εκροή δεδομένου ότι η απόδοση της διεργασίας εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση του ρυπαντικού φορτίου στο δείγμα. Οι συγκεντρώσεις όλων των παραμέτρων στο στάδιο του αερισμού είναι πολύ μεγαλύτερες με αποτέλεσμα η διεργασία να είναι πιο αποτελεσματική.

Τέλος, παρατηρήθηκε ολοκληρωτική απομάκρυνση μετάλλων (100%) από το διήθημα της βιομάζας με τη χρήση μεμβρανών, με εξαίρεση μόνο δύο μέταλλα τα οποία παρουσίασαν απομάκρυνση της τάξης του 97%. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι η ιλύς δεν είναι εξίσου επιλεκτική για τα δύο αυτά μέταλλα σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Οι συγκεντρώσεις των μετάλλων μειώθηκαν σε τέτοιο βαθμό ώστε να ικανοποιούν τα όρια διάθεσης αλλά και τα όρια άρδευσης για γεωργία τόσο για βραχυχρόνια όσο και για μακροχρόνια χρήση, με εξαίρεση το κάδμιο το οποίο δεν πληρούσε το όριο για μακροχρόνια χρήση.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Οδηγός εσωτερικού ελέγχου λειτουργίας και συντήρησης μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ,ΕΠΕΜ, Θεσσαλονίκη, 2006
2. Ολοκληρωμένη διαχείριση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων της ευρύτερης περιοχής Οινόφυτων – Σχηματαρίου, τόμος Β, 2009
3. Van der Roest, H.F., Lawrence, D.P. & Van Bentem A.G.N. (2002), Membrane Bioreactors for Municipal Wastewater treatment, IWA Publishing, London, UK
4. Humphrey, J.M. & Keller Π, G.E. (1997) Separation Process Technology:Performance, Selection, Scaleup, McGraw-Hill, New York
5. Liu R., Chen L., Wen X. & Qian Y. (2004), Operational Performance of a Submerged Membrane Bioreactor for Reclamation of Bath Wastewater, Process Biochemistry, ITC Press
6. Wintgens, T., Rosen, J., Melin, T., Brepols, C., Drensla, K. & Engelhardt, N (2003), Modelling of a Membrane Bioreactor System for Municipal Wastewater Treatment, Journal of Membrane Science, Vol 216, pp.55-65
7. Noble, R.D. & Sten, S.A. (1995), Membrane Separations Technology:Principles and Applications, Membrane Science and Technology Series, 2, Elsevier Science B.V., Amsterdam, the Netherlands
8. Γλύκα, Ε. (2003), Η Εφαρμογή των μεμβρανών στην επεξεργασία νερού και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ, Αθήνα
9. Gunder, B. (2001), The Membrane-coupled Activated Sludge Process for Municipal Wastewater Treatment, Technomic Publishing Co.,Lancaster PA
10. Li X-Y., Wang X-M. (2006), Modelling of membrane fouling in a submerged membrane bioreactor, J. Membr. Sci.
11. Stephenson T., Ju. dd, S., Jefferson, B. & Brindle, K. (2000), Membrane Bioreactors for Wastewater treatment, IWA Publishing, London
12. Ανδρεαδάκης Α., (2007), Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος με τίτλο: Παραγωγή πόσιμου και ανακτημένου νερού. ΔΠΜΣ στην Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
13. Γκίκας Π., (2003), Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

14. WHO, (1989), Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture: Report of a WHO Scientific Group. WHO Technical Report Series. Geneva.
15. FAO (1994). "Water Quality for Agriculture, R.S. Ayers & D.W. Westcot". FAO Irrigation and Drainage Paper. Rome.
16. EPA US (2004). Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108, U.S Agency for Inter. Development, Washington, DC, USA.
17. Andreadakis A., Gavalaki E., Mamais D., Tzimas A.,(2003), Wastewater Reuse Criteria in Greece. Global Nest: the Int. J. Vol. 5, No 1, pp 9-14
18. APHA-AWWA-WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, 1998
19. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater).
20. Duncan J.B., Guthrie M.D., Lueck K.J., Avila M., Laboratory Study for the reduction of chrome(VI) to chrome using sodium metabisulfite under acidic conditions, U.S. Department of Energy, Office of River Protection, July 2007
21. Eckenfelder W.W.Jr., Industrial Water Pollution Control, Second Edition, McGraw-Hill, 2000
22. European Commission, Integrated Pollution, Prevention and Control (IPPC), Reference Documents on Best Available Techniques, December 2001
23. Griffiths A. et al., The Detoxification of Gold Mill Tailings with Hydrogen Peroxide, J.S. Afr. Inst. Min. Metall., 87, 1987
24. Ingles J.C. and Scott J.S., Overview of Cyanide Treatment Methods, Cyanide in Gold Mining Seminar, Ontario, Canada, 1981
25. Marques M.J., Salvador A., Rubio-Morales A.E., de la Guardia M., Chromium speciation in liquid matrices: a survey of the literature, Fresenius J Anal Chem, 367, 601-613, 2000
26. Metcalf & Eddy, Μηχανική υγρών αποβλήτων, Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση, εκδόσεις Τζιόλα τόμος Α και Β, 2007
27. Nandy T. et al., Water conservation through implementation of ultrafiltration and reverse osmosis system with recourse to recycling of effluent in textile industry, National Environmental Engineering Research Institute, 64–77, India, 2007
28. U.S. EPA, Quality Criteria for Water 1986, U.S. EPA Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C. 20460, 1986
29. Γρηγοροπούλου Ε., Διαχείριση Βιομηχανικών Αποβλήτων, Σημειώσεις, ΕΜΠ, 2005

30. Διαμαντόπουλος Ε., Χημικές διεργασίες στην επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2006
31. Δρόγκαρης Γ., Επεξεργασία Υγρών Βιομηχανικών Αποβλήτων, ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα, 1990
32. ΚΥΑ 20488/2010 (ΦΕΚ 749/Β/31-5-2010), Καθορισμός ποιοτικών περιβαλλοντικών προτύπων στον ποταμό Ασωπό και οριακών τιμών εκπομπών υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στη λεκάνη απορροής του Ασωπού
33. Λοϊζίδου Μ., Διενέργεια δειγματοληψιών, μετρήσεων και αναλύσεων σε ύδατα και υγρά απόβλητα, ΕΜΠ, 2006
34. Λοϊζίδου Μ., Υγρά Απόβλητα, Σημειώσεις ΕΜΠ, 2006
35. Λοϊζίδου Μ. και συνεργάτες, Ίδρυση και Λειτουργία Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας βιομηχανικών Αποβλήτων της Περιοχής Ασωπού και Αστικών Λυμάτων Αυλώνα, τόμος Α, Β, Γ, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 1997
36. Μαρκαντωνάτος Γ., Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων: Αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα, Β' Έκδοση, Αθήνα 1990
37. Ολοκληρωμένη διαχείριση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και λυμάτων της ευρύτερης περιοχής Οινοφύτων – Σχηματαρίου, τόμος Α, Β, Γ, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 2010
38. Παρπέρη Κ., Χαρακτηρισμός και επεξεργασία αποβλήτων από κατεργασίες επιφανειών αλουμινίου, ΕΜΠ, 1998
39. Τσίτσα Α., Μελέτη Επεξεργασίας Υγρών Βιομηχανικών Αποβλήτων Εργαστηρίου Επιμετάλλωσης Σιδέρης Ι. & Υιοι Ο.Ε, 2000
40. Μαλαμής Σ. Α., (2005), Διερεύνηση της χρήσης μεμβρανών στην δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων»
41. ΕΚ (1998), Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, 98/83/ΕΚ της 3ης Νοεμβρίου 1998
42. WHO, (2001), Environmental Health Criteria, Zinc. Geneva
43. Αγγελάκης Α. Ν., Παρανυχιάκης Ν. Β., (2005), Επαναχρησιμοποίηση Επεξεργασμένων Αστικών Υγρών Απόβλητων: Ανάγκη Θέσπισης Κριτηρίων.
44. WHO, (2003), Zinc in drinking water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva
45. WHO, (2006), Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva

46. WHO, FAO, IAEA, (1996), Trace elements in human health and nutrition. Geneva
47. EC (1975), Council Directive concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States, 75/440/EEC of 16 June 1975
48. EPA US, (2003), National Drinking Water Standards. Safe Drinking Water Act
49. FAO (1992). "Wastewater Treatment and Use in Agriculture, M.B. Westcot". FAO Water Report 10. FAO. Rome.
50. Διαχείριση υγρών αποβλήτων, Δημήτριος Β. Βαγενάς, Αγρίνιο 2003
51. Μαλαμής Σ. Α., (2005), Διερεύνηση της χρήσης μεμβρανών στην δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων»
52. Metcalf & Eddy, Inc. (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th ed., McGraw-Hill Companies, Inc., New York