

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Συνδυασμένη Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων
Πυρηνελαιουργείου με Ηλεκτροχημική Οξείδωση και
Σύστημα Τεχνητού Υδροβιότοπου»**

Γραφιάς Πέτρος

Εξεταστική Επιτροπή:

Ε. Διαμαντόπουλος (επιβλέπων)
Α. Κατσαούνης
Ι. Καραφύλλης

Χανιά
Οκτώβριος 2008

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη επεξεργασίας υγρών αποβλήτων προερχόμενα από Πυρηνελαιουργείο με τον συνδυασμό της ηλεκτροχημικής οξειδωσης και ένα σύστημα τεχνητού υδροβιότοπου. Όσο αφορά την ηλεκτροχημική οξείδωση έγινε χρήση μια νέας τεχνολογίας, στην οποία χρησιμοποιείται ηλεκτρολυτικό κελί DiaCell[®] με ηλεκτρόδιο BDD/Si (Boron Doped Diamond on Silicon – Διαμάντι με πρόσμιξη βορίου σε υπόστρωμα πυριτίου). Το σύστημα τεχνητού υδροβιότοπου κάθετης ροής αποτελείται από δύο παράλληλες κλίνες Η κλίνη «Α» θεωρείται σαν μετέπειτα στάδιο επεξεργασίας του πρώτου σταδίου στο οποίο γίνεται η χρήση της ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Η εναλλαγή στη σειρά των δύο μεθόδων επεξεργασίας αποτελεί τον δεύτερο συνδυασμό ή εναλλακτικό σενάριο. Ο νέος αυτός συνδυασμός πραγματοποιείται με την ύπαρξη της κλίνης «Β» που θεωρείται σαν το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

Μελετήθηκε η μείωση του οργανικού φορτίου και του αποχρωματισμού του αποβλήτου και με τους δύο συνδυασμούς και τα αποτελέσματα είναι εκπληκτικά. Με τον κατάλληλο συνδυασμό και τις βέλτιστες συνθήκες η μείωση του οργανικού φορτίου έφτασε το 91,54% και ο αποχρωματισμός του στο 91,15% .

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ευάγγελο Διαμαντόπουλο , ως επιβλέποντα καθηγητή , για την υποδείξη του θέματος, καθώς και για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και την άποψη συνεργασία μας καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την υπεύθυνη του εργαστηρίου «Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος» κ. Βέτα Κουκουράκη για την πολύτιμη βοήθεια, καθοδήγηση, τις συμβουλές, την υποστήριξη, την υπομονή της κατά την διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων και στην συντέλεση της ποιοτικής αναβάθμισης της εργασίας μου.

Εκφράζονται ακόμη θερμές ευχαριστίες σε όλους όσους συμμετείχαν με οποιοδήποτε τρόπο ώστε να ολοκληρωθεί η παρούσα διπλωματική εργασία:

Στον καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Διονύσιο Μαντζαβίνο για την παραχώρηση χώρου και την συσκευή της ηλεκτροχημικής οξείδωσης στο Εργαστήριο « Τεχνικής Χημικών Διεργασιών & Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων»

Στον Δόκτορα. Χημικό Ξεκουκουλωτάκη Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθεια του, τη συνεργασία και τις υποδείξεις του σε όλη την διάρκεια των πειραμάτων.

Στην υποψήφια διδάκτορα Ελευθερία Λουμπασάκη για την υποστήριξη και τον χρόνο που διέθεσε για το στήσιμο του τεχνητού υδροβιότοπου και το μέρος των αναλυτικών μετρήσεων.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς του εργαστηρίου για την βοήθεια τους και την συνεργασία τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Α. Κατσαούνη και τον κ. Ι. Καραφύλλη για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της παρούσας εργασίας.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
Πίνακας Περιεχομένων.....	3
Πίνακας Πινάκων.....	5
Πίνακας Εικόνων.....	6
Πίνακας Διαγραμμάτων.....	7
Πίνακας Ακρωνύμων.....	8
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας.....	10
Κεφάλαιο 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	11
2.1 Λειτουργία του Πυρηνελαιουργείου.....	11
2.2 Διάγραμμα Ροής του Πυρηνελαιουργείου.....	11
2.3 Υγρά Απόβλητα του Πυρηνελαιουργείου.....	14
2.4 Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας.....	15
2.5 Τεχνητοί Υγροβιότοποι.....	15
2.5.1 Πλεονεκτήματα Τεχνητών Υγροβιότοπων.....	16
2.5.2 Μειονεκτήματα Τεχνητών Υγροβιότοπων.....	17
2.5.3 Είδη Τεχνητών Υγροβιότοπων.....	17
2.5.4 Σύγκριση Μεταξύ Υγροβιότοπων FWS και SF.....	18
2.5.5 Βλάστηση.....	18
2.5.6 Υπόστρωμα.....	20
2.5.7 Μικροοργανισμοί.....	20
2.5.8 Μηχανισμοί Απομάκρυνσης.....	21
2.6 Τεχνητοί Υγροβιότοποι Κάθετης Ροής.....	22
2.6.1 Ρυθμός Μεταφοράς Οξυγόνου.....	23
2.6.2 Παράμετροι Σχεδιασμού και Λειτουργίας.....	25
2.6.3 Φαινόμενα Φραγίσματος των Πόρων.....	27
2.7 Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.....	27
2.7.1 Μειονεκτήματα της Μεθόδου.....	28
2.7.2 Πλεονεκτήματα της Μεθόδου.....	28
2.7.3 Άμεση Ανοδική Οξείδωση.....	29
2.7.4 Έμμεση Ανοδική Οξείδωση.....	29
2.7.5 Απόδοση της Ανοδικής Οξείδωσης.....	29
2.7.6 Ενδιάμεσα Παράγωγα της Μεθόδου.....	31
2.7.7 Η τεχνολογία DiaCell.....	32
2.7.8 Ερευνητικά Αποτελέσματα.....	34
2.8 Επεξεργασία των Στραγγισμάτων.....	35
Κεφάλαιο 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	37
3.1 Περιγραφή Δειγματοληψιών.....	37
3.2 Πειραματική Διαδικασία.....	38
3.2.1 Πειραματική Διάταξη Τεχνητού Υγροβιότοπου.....	38
3.2.2 Πληρωτικά Υλικά.....	40
3.2.3 Βλάστηση.....	41
3.2.4 Λειτουργία του Τεχνητού Υγροβιότοπου.....	42
3.2.5 Πειραματική Διάταξη της Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	43
3.2.6 Λειτουργία της Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	48
3.3 Αναλυτικές Μέθοδοι.....	49
3.3.1 COD.....	49
3.3.2 DOC - TOC.....	50

3.3.3	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)	50
3.3.4	Ολικός Φωσφόρος (TP)	51
3.3.5	Ολικό Άζωτο (TN)	52
3.3.6	pH.....	52
3.3.7	Χρώμα	52
3.3.8	Τοξικότητα.....	53
3.3.9	Αγωγιμότητα.....	55
Κεφάλαιο 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		56
4.1	Αποτελέσματα από την Ηλεκτροχημική Οξείδωση.	56
4.2	Αποτελέσματα από τους Τεχνητούς Υγροβιότοπους	58
4.3	Σύγκριση των 2 Συνδυασμών Λειτουργίας	65
Κεφάλαιο 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ		68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....		73
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....		74
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ		81
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....		86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV		110

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Προσεγγιστική ανάλυση(5).	14
Πίνακας 2: Στοιχειακή Ανάλυση επί ξηρού (5).	14
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Υδροχαρών Φυτών για Τεχνητούς Υγροβιότοπους (9).	19
Πίνακας 4:Χαρακτηριστικά ειδών μέσων τεχνητών υγροβιότοπων (9).....	20
Πίνακας 5: Μηχανισμοί Απομάκρυνσης σε έναν Τεχνητό Υγροβιότοπο (14).	22
Πίνακας 6: Κύρια Χαρακτηριστικά Ηλεκτροδίων BDD/Si (35).....	32
Πίνακας 7: Τεχνολογίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων στα ελαιουργεία (3).	36
Πίνακας 8:Χρονοδιάγραμμα Δειγματοληψιών από το Πυρηνελαιουργείο	37
Πίνακας 9: Λειτουργία Τεχνητών Υγροβιότοπων.....	43
Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά τροφοδοτικού ηλεκτρικού ρεύματος (35).	46
Πίνακας 11: Πειράματα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.	49
Πίνακας 12: Απομακρύνσεις στα 6 πειράματα των Η.Ο.....	57
Πίνακας 13:Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ποσοστών απομάκρυνσης οργανικού φορτίου στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους.....	61
Πίνακας 14: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ποσοστών απομάκρυνσης του χρώματος στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους.....	64
Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απομακρύνσεων για τα 2 σενάρια λειτουργίας.	66
Πίνακας 16: Αποτελέσματα της τοξικότητας βασισμένα στον 2 ^ο πλήρη χαρακτηρισμό.....	67
Πίνακας 17: Απαιτούμενη Ποιότητα Εκροών (55).	80
Πίνακας 18: Πλήρης Χαρακτηρισμός του Υγρού Αποβλήτου στις 22/5/08.....	86
Πίνακας 19: Πλήρης Χαρακτηρισμός του Υγρού Αποβλήτου στις 15/6/08.....	87
Πίνακας 20: Αποτελέσματα Μετρήσεων του Τεχνητού Υγροβιότοπου "Α" κατά την Διάρκεια του Πειράματος.	88
Πίνακας 21: Αποτελέσματα Μετρήσεων του Τεχνητού Υγροβιότοπου "Β" κατά την διάρκεια του Πειράματος.	89
Πίνακας 22: 1 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	90
Πίνακας 23: 2 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	90
Πίνακας 24: 3 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	92
Πίνακας 25: 4 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	93
Πίνακας 26: 5 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	95
Πίνακας 27: 6 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	96
Πίνακας 28:Υπολογισμός απομακρύνσεων στην Η.Ο για το 1 ^ο σενάριο λειτουργίας.....	108
Πίνακας 29: Υπολογισμός απομακρύνσεων στον Τ.Υ «Α» για το 1 ^ο σενάριο λειτουργίας..	108
Πίνακας 30: Υπολογισμός απομακρύνσεων στον Τ.Υ «Β» για το 2 ^ο σενάριο λειτουργίας..	109
Πίνακας 31:Υπολογισμός απομακρύνσεων στην Η.Ο για το 2 ^ο σενάριο λειτουργίας.....	109

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Διάγραμμα Ροής του Πυρηνελαιουργείου	13
Εικόνα 2: Αλληλεπιδράσεις στην ριζόσφαιρα ενός τεχνητού υγροβιότοπου (10).....	16
Εικόνα 3: Τεχνητός Υγροβιότοπος Επιφανειακής Ροής (12).....	17
Εικόνα 4: Τεχνητός Υγροβιότοπος Υποεπιφανειακής Ροής (12).....	18
Εικόνα 5: Τεχνητός Υγροβιότοπος Κατακόρυφης Υπόγειας Ροής (17).	23
Εικόνα 6: Τοποθέτηση βράχων για αερισμό	25
Εικόνα 7: Διαδικασία Απομάκρυνσης Ρύπων (27).	28
Εικόνα 8: Απόδοση διαφορετικών υλικών ανόδου στην ηλεκτροχημική οξείδωση (32).	30
Εικόνα 9: Δυναμικά έκλυσης οξυγόνου για διαφορετικά υλικά ανόδου (32).	31
Εικόνα 10: Οξειδωτικό Μονοπάτι του Κουμαρικού Οξέος (33).....	31
Εικόνα 11: Δημιουργία παραπροϊόντων κατά την οξείδωση των φαινολών (34).....	32
Εικόνα 12: Επιφάνεια ηλεκτροδίου BDD/Si όπως φαίνεται από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο(37).....	33
Εικόνα 13: Απεικόνιση της μείωσης των χημικών ρύπων στο νερό και στα υγρά απόβλητα(37).	34
Εικόνα 14: Φρεάτιο Συλλογής Στραγγισμάτων.....	37
Εικόνα 15: Λίμνη Εξάτμισης των υγρών αποβλήτων του πυρηνελαιουργείου.....	37
Εικόνα 16 : Αρχικό Σύστημα SF (Πρόσωση και Πλάγια όψη).	39
Εικόνα 17: Τροποποιημένο Σύστημα SF.	39
Εικόνα 18: Σύστημα Αποστράγγισης.....	40
Εικόνα 19: Έξοδος από τον Τεχνητό Υγροβιότοπο "B".....	40
Εικόνα 20: Διαστρωμάτωση Πληρωτικού Υλικού στις Δεξαμενές.	41
Εικόνα 21: Ανάπτυξη Νέων Ριζών και Καλαμιών	42
Εικόνα 22: Εξαρτήματα Ηλεκτρολυτικού Κελιού DiaCell (35).	44
Εικόνα 23: Συναρμολόγηση DiaCell σε 11 βασικά βήματα (37).....	45
Εικόνα 24: Τροφοδοτικό Παροχής Ηλεκτρικού Ρεύματος για το DiaCell (35).....	46
Εικόνα 25: Σχέδιο συστήματος Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (35).	47
Εικόνα 26: Πειραματική Διάταξη Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.....	47
Εικόνα 27: Θερμοαντιδραστήρας χώνευσης.	50
Εικόνα 28: Συσκευή διήθησης υπό κενό.....	51
Εικόνα 29: Διαδικασία χώνευσης.....	51
Εικόνα 30: Συσκευή Model 500 Analyzer(1998) της εταιρίας AZUR Environmental.....	53
Εικόνα 31: Επιφάνεια εργασίας της συσκευής.....	53
Εικόνα 32: Αποχρωματισμός του αποβλήτου μετά την 6 ^η πειραματική δοκιμή H.O.	58

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Συντελεστής Διάχυσης Συναρτήσει του Χρόνου μετά την Τελευταία Φόρτιση σε Διάφορα Βάθη(18).....	24
Διάγραμμα 2 : Απομένων Ποσοστό COD% Συναρτήσει του Χρόνου.....	56
Διάγραμμα 3 : Απομένων Ποσοστό TCU% Συναρτήσει του Χρόνου.....	57
Διάγραμμα 4: Οργανικό φορτίο του COD (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Α».....	58
Διάγραμμα 5: Οργανικό Φορτίο του COD (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Β».....	59
Διάγραμμα 6: Οργανικό φορτίο του COD (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Α».....	59
Διάγραμμα 7: Οργανικό Φορτίο του COD (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Β».....	60
Διάγραμμα 8: Σύγκριση των οργανικών φορτίσεων στους τεχνητούς Υγροβιότοπους «Α» και «Β».....	60
Διάγραμμα 9: Σύγκριση των ποσοστών απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους.....	61
Διάγραμμα 10 : Χρώμα TCU (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Α».....	62
Διάγραμμα 11: Χρώμα TCU (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Β».....	62
Διάγραμμα 12: Χρώμα TCU (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Α».....	63
Διάγραμμα 13: Χρώμα TCU (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Β».....	63
Διάγραμμα 14: Σύγκριση των ποσοστών απομάκρυνσης του χρώματος στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους «Α» & «Β»	64
Διάγραμμα 15: Εισερχόμενες και Εξερχόμενες Ποσότητες στον Τ.Υ «Α».....	65
Διάγραμμα 16: Εισερχόμενες και Εξερχόμενες Ποσότητες στον Τ.Υ «Β».....	65
Διάγραμμα 17: Καμπύλη Βαθμονόμησης COD για 25-1500ppm.....	81
Διάγραμμα 18: Καμπύλη Βαθμονόμησης COD για 500-10000ppm.....	82
Διάγραμμα 19: Καμπύλη Βαθμονόμησης Χρώματος.....	83
Διάγραμμα 20: Καμπύλη Βαθμονόμησης Ολικού Φωσφόρου (TP).....	84
Διάγραμμα 21: Καμπύλη Βαθμονόμησης Ολικού Αζώτου (TN).....	85
Διάγραμμα 22: 1 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (COD-Χρόνος).....	90
Διάγραμμα 23: 2 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (COD-Χρόνος).....	91
Διάγραμμα 24: 2 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (TCU-Χρόνος).....	91
Διάγραμμα 25: 3 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (COD-Χρόνος).....	92
Διάγραμμα 26: 3 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (TCU-Χρόνος).....	93
Διάγραμμα 27: 4 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (COD-Χρόνος).....	94
Διάγραμμα 28: 4 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (TCU-Χρόνος).....	94
Διάγραμμα 29: 5 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (COD-Χρόνος).....	95
Διάγραμμα 30: 5 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (TCU-Χρόνος).....	96
Διάγραμμα 31: 6 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (COD-Χρόνος).....	97
Διάγραμμα 32: 6 ^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης (TCU-Χρόνος).....	97

Πίνακας Ακρωνύμων

Ελληνικά Ακρωνύμια

A.Θ.Δ Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη.
ABEA Ανώνυμος Βιομηχανική Εταιρία ‘’Ανατολή’’
ΔΕΗ Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.
Η.Ο Ηλεκτροχημική Οξείδωση
Κ.Θ.Δ Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη
Τ.Υ Τεχνητός Υγροβιότοπος

Αγγλικά Ακρωνύμια

ABS Absorption (Απορρόφηση)
AOPs Advance Oxidation Processes (Προηγμένες Διεργασίες Οξείδωσης)
COD Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο
DOC Διαλυτός Οργανικός Άνθρακας
FWS Free Water Surface (Υγροβιότοπος Επιφανειακής Ροής)
ppm parts per million (μέρη στο εκατομμύριο)
SF Subsurface Flow (Υγροβιότοπος Υποεπιφανειακής Ροής)
TCU True Color Unit
TN Ολικό Άζωτο
TOC Ολικός Οργανικός Άνθρακας
TP Ολικός Φώσφορος
TSS Ολικά Αιωρούμενα Στερεά

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Ένα πυρηνελαιουργείο θεωρείται ως μετέπειτα στάδιο επεξεργασίας των στερεών αποβλήτων ενός ελαιοτριβείου (ελαιοπυρήνα). Οι ποσότητες του ελαιοπυρήνα που εισέρχονται σε ένα πυρηνελαιουργείο διακυμαίνονται ανάλογα με την αντίστοιχη παραγωγή ελιάς της περιοχής. Επίσης ο πυρήνας που συλλέγεται στα πυρηνελαιουργεία διαφέρει ως προς το ποσοστό υγρασίας που περιέχει, εάν αυτό προέρχεται από τριφασικό ή διφασικό ελαιοτριβείο. Τα ελαιουργεία είναι κατά κανόνα μικρές μονάδες διασκορπισμένες σε όλη την έκταση κάποιας περιοχής και λειτουργούν εποχιακά. Στο νομό Ηρακλείου λειτουργούν, 250 ελαιουργεία, τα περισσότερα από τα οποία είναι φυγοκεντρικά (πάνω από 200) και τα υπόλοιπα κλασσικά, δηλαδή με πιεστήρια. Σε επίπεδο Κρήτης ο αριθμός ανέρχεται σε 629 ενώ στην Ελλάδα λειτουργούν περίπου 3.500 ελαιοτριβεία κυρίως εποχιακού χαρακτήρα. Από αυτά παράγονται κάθε χρόνο 400.000 tn ελαιολάδου που αντιστοιχεί στο 15% της παγκόσμιας παραγωγής (1).

Τα υγρά απόβλητα του Πυρηνελαιουργείου δεν προέρχονται από την παραγωγική διαδικασία, αλλά από τα στραγγίσματα της αποθηκευμένης ελαιοπυρήνας. Τα απόβλητα του Πυρηνελαιουργείου χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό φορτίο, χαμηλό pH, φυτοτοξικότητα, οσμή και χρώμα. Εξαιτίας των χαρακτηριστικών αυτών, τα απόβλητα προκαλούν καταστρεπτικά αποτελέσματα στο περιβάλλον και στα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Επίσης το υψηλό κόστος επεξεργασίας των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί σήμερα (αναερόβια χώνευση, χημική επεξεργασία) καθώς και περιορισμένη δυνατότητα εφαρμογής άλλων μεθόδων (δεξαμενές εξάτμισης) επιβάλλουν την εξεύρεση καινούργιων λύσεων για την επεξεργασία των αποβλήτων αυτών.

Η χρήση των τεχνητών υδροβιότοπων ξεκίνησε πριν 40 περίπου χρόνια σε Βόρεια Αμερική και Ευρώπη (2). Η ιδέα προέκυψε από την χρήση των υδροβιότοπων είτε για επεξεργασία υγρών αποβλήτων είτε ως αποδέκτες επεξεργασμένων εκροών. Αυτή η πρακτική είχε ως συνέπεια την υποβάθμιση του οικοσυστήματος των υδροβιότοπων. Έτσι ξεκίνησε πειραματικά η χρήση τεχνητών υδροβιότοπων όπου παρατήρησαν οι επιστήμονες την ικανότητα απομάκρυνσης οργανικών και ανόργανων ρύπων που βρίσκονταν στα υγρά απόβλητα και την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο υπόστρωμα. Με την πάροδο των χρόνων η διαδικασία κατασκευής και λειτουργίας βελτιώθηκε και σήμερα οι τεχνητοί υδροβιότοποι ως τεχνολογία επεξεργασίας χρησιμοποιούνται σε παρά πολλές χώρες για επεξεργασία αστικών και οικιακών λυμάτων, απόβλητα βιομηχανίας τροφίμων, στραγγίσματα χωρών υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Η ηλεκτροχημική μέθοδος επεξεργασίας του νερού προτάθηκε για πρώτη φορά στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1889. Όμως λόγω του μεγάλου κεφαλαίου που απαιτούνταν και της υψηλής τιμής του ηλεκτρισμού, οι τεχνολογίες επεξεργασίας νερού και αποβλήτων δεν βρήκαν ευρεία εφαρμογή την εποχή εκείνη.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Το πυρηνελαιουργείο της ΑΒΕΑ στις Μουρνίες Χανίων διοχετεύει τα υγρά του απόβλητα σε μια λίμνη εξάτμισης. Τα συγκεκριμένα όμως απόβλητα παρουσιάζουν πολύ αργούς ρυθμούς εξάτμισης, με αποτέλεσμα με τις πρώτες βροχές να υπερχειλίζει η λίμνη αυτή και ένα μεγάλο μέρος των υγρών αποβλήτων να καταλήγει σε πλησίον ρέμα που οδηγεί στο Θέρισο (περιοχή NATURA). Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε κατά κάποιο τρόπο σε μία προηγούμενη εργασία που μελέτησε τα συγκεκριμένα υγρά απόβλητα (3). Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσουμε την επεξεργασία αυτών των υγρών αποβλήτων με τον συνδυασμό ενός συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου κάθετης ροής και ενός συστήματος ηλεκτροχημικής οξειδωσης. Τα συγκεκριμένα υγρά απόβλητα χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό φορτίο και το μαύρο σκούρο χρώμα που τα καθιστά αντιαισθητικά για την γύρω περιοχή και με αποτέλεσμα τον περιορισμό διάθεσης τους σε φυσικό αποδέκτη. Έτσι με αυτή την εργασία θα γίνει προσπάθεια για την εύρεση του κατάλληλου συνδυασμού και με τις βέλτιστες συνθήκες, έτσι ώστε να έχουμε μέγιστη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και τον μέγιστο αποχρωματισμό του υγρού αποβλήτου.

Κεφάλαιο 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Λειτουργία του Πυρηνελαιουργείου

Η μονάδα παραγωγής πυρηνέλαιου προβλέπεται να επεξεργάζεται τον ελαιοπυρήνα και την ψίχα της ελιάς τα οποία παραμένουν μετά την αφαίρεση του ελαιόλαδου στα ελαιοτριβεία. Το εργοστάσιο παραλαμβάνει τον ελαιοπυρήνα χύμα, σε ποσότητες δεκάδων τόνων ετησίως (4).

Ο ελαιοπυρήνας αυτός είναι ένα μίγμα από :

- Πυρηνέλαιο (5%)
- Πυρηνόξυλο (45%)
- Νερό (50% ή 65%) εξαρτάται εάν προέρχεται από τριφασικό ή διφασικό ελαιοτριβείο, αντίστοιχα.

Σε ένα εργοστάσιο παραγωγής πυρηνέλαιου υπάρχουν δύο βασικά στάδια(4):

- Η διαδικασία ξήρανσης , όπου ο ελαιοπυρήνας μεταφέρεται σε μεγάλα κυλινδρικά ξηραντήρια που θερμαίνονται και περιστρέφονται. Με τον τρόπο αυτό εξατμίζεται η μεγάλη ποσότητα νερού που περιέχει, κάτι το οποίο είναι ανεπιθύμητο στο επόμενο στάδιο παραγωγής.
- Η διαδικασία εκχύλισης, όπου είναι μια διεργασία που χρησιμοποιείται το καθαρό εξάνιο (C_6H_{14}), το οποίο εκχυλίζει το λάδι μέσα από τον ξηρό ελαιοπυρήνα. Το μίγμα αυτό του λαδιού – εξανίου μεταφέρεται σε ειδικές δεξαμενές απόσταξης , όπου τα δύο συστατικά διαχωρίζονται τελείως. Μετά από αυτό το στάδιο το πυρηνέλαιο είναι έτοιμο προς αποθήκευση.

Η περίοδος λειτουργίας του εργοστασίου επεξεργασίας ελαιοπυρήνας διαρκεί 5 μήνες και τοποθετείται ημερολογιακά μεταξύ των μηνών Νοεμβρίου και Μαρτίου.

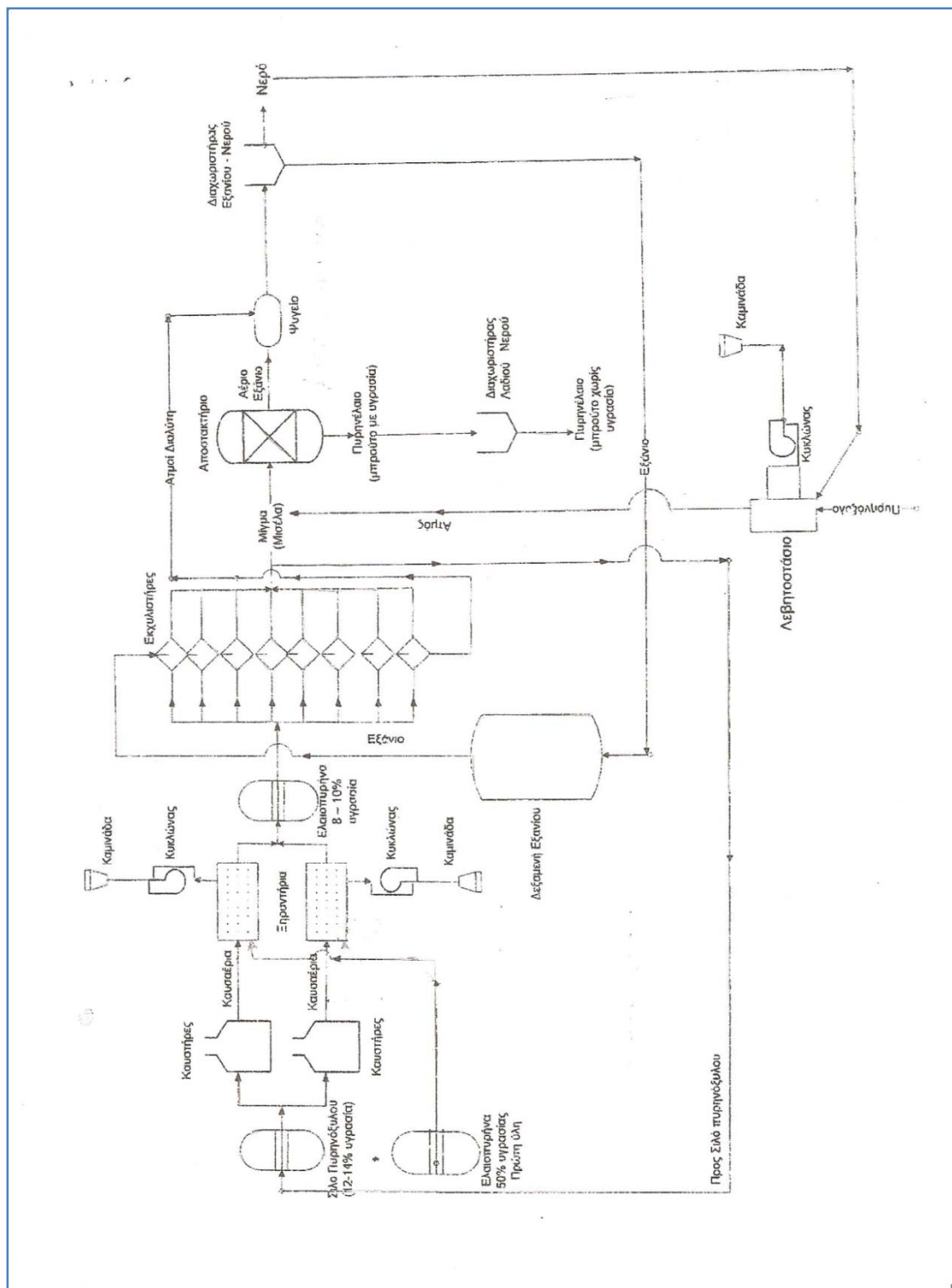
2.2 Διάγραμμα Ροής του Πυρηνελαιουργείου

Στο διάγραμμα ροής του πυρηνελαιουργείου στην Εικόνα 1 φαίνεται η παραγωγική διαδικασία. Αναλύοντας την παραγωγική διαδικασία έχουμε(4):

- Παραλαβή-Αποθήκευση νωπού ελαιοπυρήνα : Οι ποσότητες νωπού ελαιοπυρήνα παραλαμβάνονται από ελαιοτριβεία και αποθηκεύονται προσωρινά στο πυρηνελαιουργείο.
- Ξήρανση νωπού ελαιοπυρήνα : (μείωση της υγρασίας του στο 8-10%). Οι ελαιοπυρήνες παραλαμβάνονται με μεταφορικούς κοχλίες από τον χώρο αποθήκευσής τους και οδηγούνται με αναβατόρια σε σφαιρόμυλους. Η ξήρανση γίνεται σε δύο περιστροφικά ξηραντήρια, των οποίων η δυναμικότητα διαφέρει από εργοστάσιο σε εργοστάσιο, αλλά μία συνήθης δυναμικότητα είναι αυτή των 200 τόνων ελαιοπυρήνα / ημέρα για κάθε ξηραντήριο.
- Εκχύλιση ξηρού ελαιοπυρήνα : Μετά την ξήρανση, ο ξηρός ελαιοπυρήνας οδηγείται στο εκχυλιστήριο, όπου λαμβάνει χώρα εκχύλιση με διαλύτη (συνήθως εξάνιο). Από τη διεργασία παραλαμβάνεται πυρηνόξυλο, και μείγμα εξανίου-ελαίου-υγρασίας, το οποίο οδηγείται σε σύστημα απόσταξης.
- Απόσταξη : Μετά το πέρας της εκχύλισης, απομακρύνεται το μείγμα από τα εκχυλιστήρια και οδηγείται διαδοχικά σε πύργους απόσταξης, όπου με τη

βοήθεια ατμού αποστάζουν, ως προϊόντα κορυφής το εξάνιο και το τυχόν περιεχόμενο νερό. Το έλαιο παραλαμβάνεται από τον πυθμένα των αποστακτήρων (παρασύροντας και ορισμένη ποσότητα εξανίου) και αποθηκεύεται σε δεξαμενές. Ο ατμός μετά τους αποστακτήρες διέρχεται από εναλλάκτη θερμότητας, όπου προθερμαίνει τη μισέλλα (το μίγμα ελαίου και εξανίου) και ακολούθως ανακυκλοφορεί προς τον ατμολέβητα.

- Συμπύκνωση εξανίου-νερού : Το μείγμα των ατμών εξανίου-νερού συμπυκνώνεται ακολούθως, διερχόμενο από σερπαντίνες, οι οποίες είναι βυθισμένες σε δεξαμενές, όπου κυκλοφορεί κρύο νερό (ψύκτης εξανίου). Το νερό ψύξης ανακυκλοφορεί στις δεξαμενές αυτές, μετά το πέραςμά του από πύργο ψύξης.
- Διαχωρισμός εξανίου-νερού : Ο διαχωρισμός γίνεται σε απλά δοχεία, και στηρίζεται στην αμελητέα διαλυτότητα του εξανίου στο νερό ($\sim 70 \text{ mg/m}^3$). Από την κορυφή του δοχείου παραλαμβάνεται το ελαφρό κλάσμα, που είναι το εξάνιο, το οποίο οδηγείται στις δεξαμενές αποθήκευσής του, και από τον πυθμένα το νερό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νερό τροφοδοσίας του ψύκτη εξανίου. Οι απώλειες εξανίου (κυρίως λόγω παράσυρσης με το έλαιο, αλλά και λόγω διαρροών από το δίκτυο κυκλοφορίας του) αναπληρώνονται με φρέσκο.
- Αποθήκευση : Το πυρηνέλαιο οδηγείται στις δεξαμενές πυρηνελαίου. Το πυρηνόξυλο αποθηκεύεται σε ειδικά στεγασμένους χώρους.



Εικόνα 1:Διάγραμμα Ροής του Πυρηνελαιουργείου.

Στο πυρηνελαιουργείο πραγματοποιείται επεξεργασία περίπου 30.000-40.000 τόνων ελαιοπυρήνα ανά έτος. Η χρονική περίοδος λειτουργίας του πυρηνελαιουργείου είναι από Νοέμβρη μέχρι Φλεβάρη (περίπου 5 μήνες). Η δυναμικότητα των 2 ξηραντήριων είναι 400tn πυρήνα/ ημέρα. Η δυναμικότητα κάθε εκχυλιστήρα στο πυρηνελαιουργείο είναι 28tn πυρήνα, ο οποίος μετά την εκχύλιση με το εξάνιο δίνει 16 tn πυρηνόξυλο με ποσοστό υγρασίας 17% και λάδι μπρούτο 1200-1700 λίτρα. Γενικότερα στο πυρηνελαιουργείο παράγεται πυρηνέλαιο, σε ποσότητα 4-5% περίπου της συνολικής ποσότητας ελαιοπυρήνα. Η ποσότητα του πυρηνόξυλου που παράγεται είναι 55% περίπου της συνολικής ποσότητας ελαιοπυρήνα. Ένα ποσοστό 23-25% καταναλώνεται μέσα στο πυρηνελαιουργείο (περίπου 3.800-5.500 τόνοι ανά έτος), ενώ ποσοστό 30-40%, δηλαδή περίπου 4.950-7.700 τόνοι πυρηνόξυλο ανά έτος πωλείται στην ελεύθερη αγορά.

Στον Πίνακα 1 και Πίνακα 2 φαίνεται η προσεγγιστική ανάλυση του πυρηνόξυλου, καθώς και η στοιχειομετρική του ανάλυση:

Πίνακας 1: Προσεγγιστική ανάλυση(5).

Δείγμα	Υγρασία %	Τέφρα ως έχει %	Τέφρα επί ξηρού %	Καύσιμη ύλη επί ξηρού %
Πυρηνόξυλο	5,56	4,11	4,35	95,65

Πίνακας 2: Στοιχειακή Ανάλυση επί ξηρού (5).

Δείγμα	C(%)	H(%)	N(%)	O(%)	S(%)	A.Θ.Δ επί ξηρού (Kcal/Kg)	K.Θ.Δ ως έχει (Kcal/Kg)
Πυρηνόξυλο	49,71	6,07	1,63	38,16	0,084	5063,09	4489,88

Λόγω της μεγάλης θερμογόνου δύναμης του πυρηνόξυλου, μπορεί να διατεθεί για παραγωγή θερμότητας/ψύξης για τις ανάγκες του εργοστασίου ή για παραγωγή ηλεκτρισμού εκμεταλλεύσιμου από το εργοστάσιο ή διάθεσης αυτού στη ΔΕΗ.

2.3 Υγρά Απόβλητα του Πυρηνελαιουργείου

Τα υγρά απόβλητα ενός πυρηνελαιουργείου προέρχονται από τις παρακάτω διαδικασίες της λειτουργίας του πυρηνελαιουργείου (4):

- *Υγρά απόβλητα από παραγωγικές διαδικασίες*
 - Απόνερα που προκύπτουν από το διαχωριστή εξανίου - νερού στο εκχυλιστήριο (πρόκειται για αποσταγμένο νερό).
 - Νερόλαδα από την απονέρωση του ελαίου (μικρές ποσότητες).

- *Υγρά απόβλητα από καθαρισμούς δαπέδων και εξοπλισμού*

Υγρά απόβλητα που προέρχονται από πλυσίματα δεξαμενών και μηχανημάτων και δαπέδων, τα ξεπλύματα των δεξαμενών, των μηχανημάτων και των εγκαταστάσεων του εργοστασίου. Τα απόβλητα αυτά είναι υψηλού βιολογικού φορτίου και σχετικά χαμηλού υδραυλικού φορτίου.

- *Υγρά αποβλήτα από τα όμβρια ύδατα*

Πρόκειται για στραγγίσματα, τα οποία προκύπτουν όταν η βροχή παρασέρνει τις αποθηκευμένες ποσότητες ελαιοπυρήνα. Τα στραγγίσματα αυτά αποτελούν και την σημαντικότερη ποσότητα των υγρών αποβλήτων του πυρηνελαιουργείου

2.4 Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας

Όπως είναι γνωστό, στο φυσικό περιβάλλον λαμβάνουν χώρα διάφορες φυσικές, χημικές, και βιολογικές διεργασίες, οι οποίες οφείλονται στην αλληλεπίδραση του νερού, του εδάφους, της ατμόσφαιρας και των φυτικών και ζωικών οργανισμών. Τις τελευταίες δεκαετίες κατασκευάστηκαν συστήματα έτσι, ώστε να χρησιμοποιούν τα πλεονεκτήματα τέτοιων διεργασιών για να βελτιώσουν την ποιότητα του νερού και για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. (6)

Πολλές φορές, οι διεργασίες που εμπλέκονται στα φυσικά συστήματα επεξεργασίας είναι οι ίδιες με αυτές που συμβαίνουν στα μηχανικά ή συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, όπως είναι η καθίζηση, το φιλτράρισμα, η μεταφορά αερίων, η προσρόφηση, η ιοντική εναλλαγή, η χημική κατακρήμνιση, η χημική οξείδωση και αναγωγή και η βιολογική μετατροπή και αποδόμηση και άλλες, που είναι μοναδικές σε φυσικά συστήματα, όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξείδωση και η πρόσληψη από φυτά. (7)

Στα φυσικά συστήματα οι διεργασίες συντελούνται με φυσικές ταχύτητες και τείνουν να διενεργούνται περισσότερες από μία συγχρόνως, σε ένα «οικοσυστηματικό αντιδραστήρα», σε αντίθεση με τα μηχανικά συστήματα στα οποία συμβαίνουν διαδοχικά και σε διαφορετικούς, σε σειρά αντιδραστήρες ή δεξαμενές, με επιταχυνόμενες ταχύτητες ως αποτέλεσμα της εισρέουσας σε αυτές ενέργειας. (7)

Γενικά, φυσικά συστήματα ονομάζονται αυτά που η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου διενεργείται με φυσικά μέσα και διεργασίες, όπως είναι οι φυσικές, χημικές ή συνδυασμό τους, που συμβαίνουν στο περιβάλλον “έδαφος- φυτό- απόβλητο”. Τα φυσικά συστήματα κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες (7):

- Αυτά που βασίζονται στο έδαφος ή τα γήινα συστήματα επεξεργασίας. Μετά την εφαρμογή προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια του εδάφους, επιταχύνεται περαιτέρω επεξεργασία τους δια μέσου των φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, που συμβαίνουν στο έδαφος και βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα υδραυλικά φορτία εφαρμογής πρέπει να είναι συμβατά με το δυναμικό του κάθε συστήματος. Οι κύριοι τύποι συστημάτων επεξεργασίας με εφαρμογή τους στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι οι:
 - βραδείας εφαρμογής.
 - ταχείας διήθησης.
 - επιφανειακής ροής.
 - συνδυασμένοι τύποι.
- Τα συστήματα που βασίζονται στα υδροχαρή φυτά, όπως είναι οι φυσικοί και τεχνητοί υγροβιότοποι και τα συστήματα των επιπλεόντων υδροχαρών φυτών.

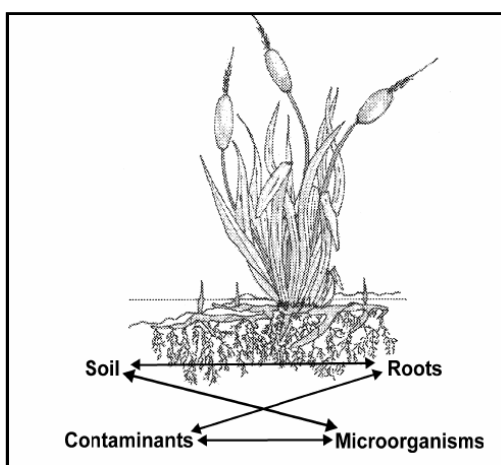
2.5 Τεχνητοί Υγροβιότοποι

Οι υγροβιότοποι είναι τμήματα εδάφους, κατακλυσμένα με νερό, συνήθως μικρού βάθους, στα οποία αναπτύσσονται κάποια είδη φυτών. Η φυτική βλάστηση

προσφέρει το κύριο υπόστρωμα ανάπτυξης βακτηρίων, βοηθά στο φιλτράρισμα και την προσρόφηση συστατικών του αποβλήτου, μεταφέρει οξυγόνο στη μάζα του νερού και ελέγχει την ανάπτυξη των αλγών, με τον περιορισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του αποβλήτου στο σύστημα. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο οι τεχνητοί, όσο και οι φυσικοί υγροβιότοποι (8).

Με τον όρο ‘τεχνητό υγροβιότοπο’ εννοούμε το τεχνητό σύστημα που κατασκευάζεται με σκοπό την επεξεργασία υγρών αποβλήτων με διεργασίες ίδιες με αυτές που θα συνέβαιναν σε έναν φυσικό υγροβιότοπο (9).

Η περιοχή που γίνεται η διαδικασία της επεξεργασίας είναι κυρίως η ριζόσφαιρα, το μέρος όπου αναπτύσσονται οι ρίζες του φυτού, γιατί εκεί λαμβάνουν χώρα οι φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Αλληλεπιδράσεις στην ριζόσφαιρα ενός τεχνητού υγροβιότοπου (10).

2.5.1 Πλεονεκτήματα Τεχνητών Υγροβιότοπων

Τα συστήματα τεχνητών υγροβιότοπων αποτελούν μια οικονομικά αποδοτική και τεχνητά εφικτή προσέγγιση της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων για τους εξής λόγους (11):

- Είναι φθηνότερα στην κατασκευή, σε σχέση με άλλα συστήματα επεξεργασίας.
- Τα έξοδα λειτουργίας (προσωπικό, ενέργεια, χημικά) και συντήρησης είναι χαμηλά.
- Η λειτουργία και η συντήρηση απαιτούν μόνο περιοδική και όχι συνεχή εργασία στο έργο.
- Μπορούν να αντιμετωπίσουν διακυμάνσεις στη ροή.
- Διευκολύνουν την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση του νερού.
- Μπορούν να κατασκευαστούν έτσι ώστε να ταιριάζουν αρμονικά με το τοπίο.
- Παρέχουν πολλά οφέλη παράλληλα με την βελτίωση της ποιότητας του νερού, όπως είναι η παροχή κατοικίας για θηλαστικά, πουλιά και ψάρια καθώς και ο εμπλουτισμός της αισθητικής των ανοιχτών χώρων.
- Παρέχουν παθητική ψυχαγωγία, όπως είναι η παρακολούθηση των πουλιών και η φωτογράφιση τους.
- Παρέχουν ενεργητική ψυχαγωγία, όπως είναι το κυνήγι.

2.5.2 Μειονεκτήματα Τεχνητών Υγροβιότοπων

Υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί που συνδέονται με την χρήση των τεχνητών υγροβιότοπων, όπως είναι οι εξής (11):

- Γενικά, απαιτούν μεγαλύτερες εκτάσεις σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η χρήση υγροβιότοπων είναι οικονομικά αποδοτική σε σχέση με άλλες μεθόδους επεξεργασίας μόνο όταν η εδαφική έκταση είναι διαθέσιμη και η απόκτηση της είναι οικονομικά εφικτή.
- Η απόδοση μπορεί να είναι λιγότερο συνεπής σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, καθώς η απόδοση μεταβάλλεται εποχιακά εξαιτίας των αλλαγών στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αν και η μέση απόδοση στο τέλος του χρόνου μπορεί να είναι αποδεκτή, η χρήση του υγροβιότοπου δεν μπορεί να βασιστεί σε αυτό, στις περιπτώσεις που η ποιότητα της εκροής πρέπει να ικανοποιεί διαρκώς κάποια αυστηρά όρια εκροής.
- Τα βιολογικά συστατικά είναι ευαίσθητα σε τοξικά χημικά, όπως είναι η αμμωνία και τα μικροβιοκτόνα.
- Τα φυτά απαιτούν μία ελάχιστη ποσότητα νερού για να επιβιώσουν. Αν και μπορούν να αντέξουν την πλήρη ξηρασία.

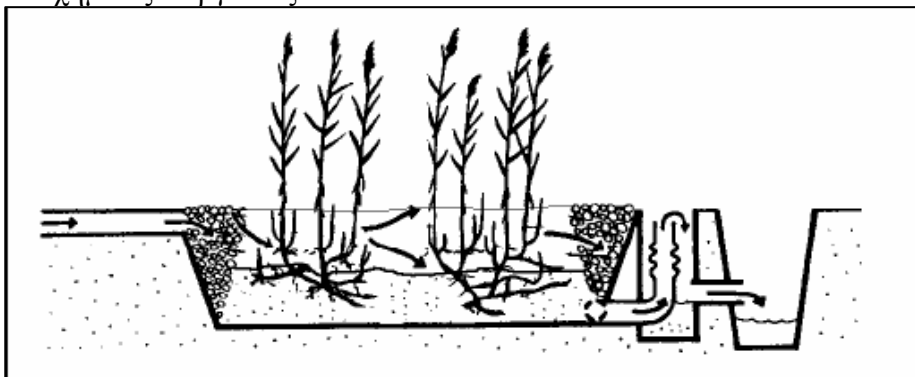
Τέλος, επειδή η χρήση των τεχνητών υγροβιότοπων για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι σχετικά πρόσφατη πρακτική, δεν υπάρχει ομοφωνία για τον βέλτιστο σχεδιασμό των συστημάτων αυτών, καθώς ούτε πολλές πληροφορίες για την μακροχρόνια επίδοσή τους και οι εξισώσεις σχεδιασμού είναι εμπειρικές.

2.5.3 Είδη Τεχνητών Υγροβιότοπων

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

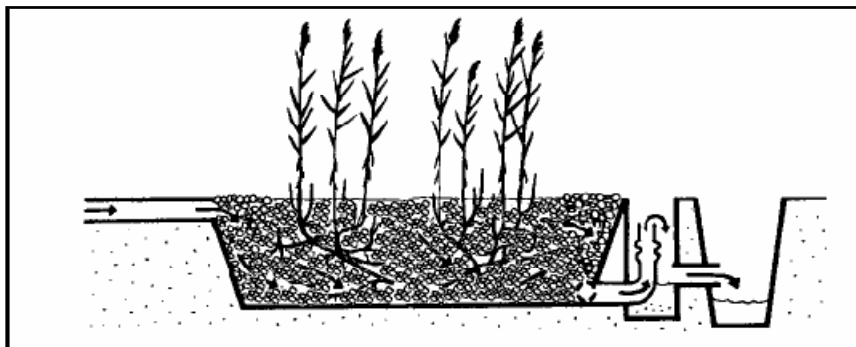
- Επιφανειακής ροής (Free Water Surface).
- Υποεπιφανειακής ροής (Subsurface Flow).

Στους τεχνητούς υγροβιότοπους επιφανειακής ροής η ροή του νερού είναι οριζόντια και πάντα πάνω από την επιφάνεια του υποστρώματος (Εικόνα 3). Το υπόστρωμα είναι χώμα σε μια δεξαμενή που ο πυθμένας είναι στρωμένος με ένα αδιαπέραστο υλικό (συνήθως από πλαστικό) ώστε να μην υπάρχουν διαρροές. Η επεξεργασία των αποβλήτων γίνεται καθώς αυτά διέρχονται διάμεσου της βλάστησης από βακτήρια και φυσιολογικές διεργασίες.



Εικόνα 3: Τεχνητός Υγροβιότοπος Επιφανειακής Ροής (12).

Οι υγροβιότοποι υποεπιφανειακής ροής είναι συστήματα στα οποία η ροή γίνεται είτε οριζόντια είτε κάθετα πάντα κάτω από την επιφάνεια του υποστρώματος (Εικόνα 4) που είναι τις περισσότερες φορές συνδυασμός άμμου και χαλικιού με τον πυθμένα να έχει κλίση από 0–1%. Σημαντική παράμετρος για τον σχεδιασμό αυτών των συστημάτων αποτελεί το πορώδες του υποστρώματος.



Εικόνα 4: Τεχνητός Υγροβιότοπος Υποεπιφανειακής Ροής (12).

2.5.4 Σύγκριση Μεταξύ Υγροβιότοπων FWS και SF

Συγκρίνοντας ένα τεχνητό υγροβιότοπο επιφανειακής ροής με ένα υποεπιφανειακής ροής θα δούμε ότι:

- Ο επιφανειακής ροής τεχνητός υγροβιότοπος έχει μικρότερο κόστος κατασκευής από ένα υποεπιφανειακής ροής. Σε ένα SF έχουμε σχετικά μεγαλύτερο κόστος το οποίο προκύπτει από την απόκτηση, την μεταφορά και την τοποθέτηση του υποστρώματος στις λεκάνες των υγροβιότοπων, παρόλο που η συνολική έκταση τους είναι μικρότερη από αυτή σε ένα FWS.
- Ο επιφανειακής ροής τεχνητός υγροβιότοπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επεξεργασία υγρών αποβλήτων με υψηλές συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα στερεά σε αντίθεση με έναν υποεπιφανειακής ροής όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις αιρούμενων στερεών μπορούν να οδηγήσουν σε κλείσιμο των πόρων και γενικά σε δυσλειτουργία του συστήματος.
- Τα συστήματα SF δεν παρουσιάζουν προβλήματα οσμών και εντόμων, γιατί το επίπεδο του νερού βρίσκεται συνεχώς κάτω από την επιφάνεια του υποστρώματος. Καθώς επίσης εξασφαλίζουν καλύτερη θερμική προστασία σε ψυχρά κλίματα λόγω του ότι η επιφάνεια του νερού δεν είναι εκτεθειμένη.
- Πολύ σημαντικός είναι και ο περιορισμός της έκθεσης του κοινού στα συστήματα SF, της επαφής του με το υγρό απόβλητο, λόγω του ότι η επιφάνεια του είναι καλυμμένη.
- Οι τεχνητοί υγροβιότοποι SF απαιτούν λιγότερη έκταση σε σχέση με τους FWS και έχουν υψηλότερους ρυθμούς αντίδρασης αφού το υπόστρωμα (π.χ. άμμος) τους παρέχει μεγαλύτερη επιφάνεια για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

2.5.5 Βλάστηση

Ένα κύριο χαρακτηριστικό των τεχνητών υγροβιότοπων είναι η παρουσία βλάστησης και συγκεκριμένα των υδροχαρών φυτών όπως ονομάζονται. Οι πιο σημαντικές λειτουργίες που επιτελούν σε έναν τεχνητό υγροβιότοπο και οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση του είναι :

- Σταθεροποίηση του υποστρώματος.
- Φυσική φίλτρανση των στερεών.
- Βοηθούν στην ομαλή ροή των αποβλήτων διαμέσου του τεχνητού υδροβιότοπου αυξάνοντας τον χρόνο παραμονής και ενισχύοντας την καθίζηση των αιρούμενων στερεών.
- Στους τεχνητούς υδροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής οι ρίζες βοηθούν στο να εμποδίζουν το φράξιμο των πόρων καθώς διαπερνούν το υπόστρωμα ανοίγοντας νέους "δρόμους" για τα απόβλητα.

Η πιο σημαντική λειτουργία των υδροχαρών φυτών είναι ο ρόλος τους στην απομάκρυνση των ρύπων από το απόβλητο. Αυτό συμβαίνει και άμεσα και έμμεσα. Άμεσα συμβαίνει όταν το φυτό απορροφά βαρέα μέταλλα και θρεπτικά (άζωτο και φώσφορο) από το απόβλητο. Η λειτουργία αυτή είναι σημαντική όταν ο υδροβιότοπος χρησιμοποιείται για επεξεργασία "αδύνατου" αποβλήτου, για παράδειγμα όταν χρησιμοποιείται για τριτοβάθμια επεξεργασία.

Ο έμμεσος τρόπος με τον οποίο τα φυτά βοηθούν στην απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου είναι ότι προσφέρουν κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών τόσο στην ριζόσφαιρα όσο και στο κορμό του φυτού, αν μιλάμε για τεχνητό υδροβιότοπο επιφανειακής ροής. Αυτό συμβαίνει γιατί κυρίως από τις ρίζες αλλά και από το κορμό του φυτού απελευθερώνεται οξυγόνο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα του οξυγόνου που απελευθερώνεται από την ριζόσφαιρα των φυτών είναι το pH, η θερμοκρασία, το είδος του φυτού και η φάση ανάπτυξης στην οποία βρίσκεται αυτό.

Επιπλέον από τις ρίζες απελευθερώνονται οργανικές ενώσεις (ζάχαρα, βιταμίνες, οργανικά οξέα) οι οποίες χρησιμοποιούνται από τους μικροοργανισμούς ως υπόστρωμα και γενικά βοηθούν στην ανάπτυξη τους, ιδιαίτερα στο στάδιο προσαρμογής των φυτών στο τεχνητό υδροβιότοπο, όταν ακόμα δεν έχει ξεκινήσει η επεξεργασία. Αυτή η λειτουργία είναι σημαντική όταν ο τεχνητός υδροβιότοπος τροφοδοτείται με εκροές δευτεροβάθμιας επεξεργασίας που είναι χαμηλές σε οργανικό άνθρακα και θρεπτικά.

Τα είδη των φυτών (Πίνακας 3) που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι καλάμια (του γένους *Phragmites*) είδη βούρλων (του γένους *Scirpus*) και είδη ψαθιού (του γένους *Typha*).

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Υδροχαρών Φυτών για Τεχνητούς Υδροβιότοπους (9).

Κοινή Ονομασία	Επιστημονική Ονομασία	Θερμοκρασία Ανάπτυξης (°C)	Μέγιστη Ανεκτή Αλατότητα (ppt)	pH	Βάθος Ανάπτυξης Ριζών (m)
Καλάμι	<i>Phragmites</i>	12 – 23	45	2-8	> 0.6
Βούρλα	<i>Scirpus</i>	18 – 27	20	4-9	0.8
Ψάθα	<i>Typha</i>	10 – 30	30	4-10	0.3

Τα κριτήρια επιλογής του είδους βλάστησης είναι :

- Ανοχή σε τοπικές κλιματικές συνθήκες , έντομα και ασθένειες.
- Ανοχή σε ρύπους.
- Γρήγορη προσαρμογή και ανάπτυξη.
- Υψηλή ικανότητα απομάκρυνσης είτε έμμεσα είτε άμεσα.
- Να είναι οικολογικά αποδεκτό.

2.5.6 Υπόστρωμα

Το υπόστρωμα στους τεχνητούς υγροβιότοπους παίζει σημαντικό ρόλο στην καλή λειτουργία του γι' αυτό και η σωστή επιλογή του είναι πολύ σημαντική. Το υπόστρωμα συμμετέχει στις διαδικασίες απομάκρυνσης των ρύπων με πολλούς τρόπους. Στην επιφάνειά του αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στις διάφορες βιοχημικές διεργασίες και σε αυτό αναπτύσσονται οι ρίζες των φυτών. Επίσης οι φυσικοχημικές ιδιότητες του υλικού που χρησιμοποιείται παίζουν ρόλο όπως για παράδειγμα στην απομάκρυνση του φωσφόρου. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα είναι η άμμος, το χαλίκι και απλό χώμα. Το τελευταίο χρησιμοποιείται σε τεχνητούς υγροβιότοπους επιφανειακής ροής ενώ σε αυτούς με υποεπιφανειακή ροή χρησιμοποιούνται διάφοροι συνδυασμοί των δυο πρώτων υλικών σε διάφορα μεγέθη. Προχωρώντας από το ανώτερο στρώμα στο κατώτερο η διάμετρος των υλικών αυξάνει. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά διαφόρων άμμων και χαλικιών που έχουν χρησιμοποιηθεί ως υπόστρωμα σε τεχνητούς υγροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά ειδών μέσων τεχνητών υγροβιότοπων (9).

Είδος	Μέγεθος (mm)	Πορώδες (%)	Υδραυλική Αγωγιμότητα $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
Αδρόκοκκη άμμος	2	32	100-1.000
Χαλικώδης άμμος	8	35	500-5.000
Λεπτόκοκκο χαλίκι	16	38	1.000-10.000
Ενδιάμεσο χαλίκι	32	40	10.000-50.000
Αδρόκοκκη πέτρα	128	45	50.000-250.000

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέγεται το κατάλληλο υπόστρωμα είναι το μέγεθος, το πορώδες, η υδραυλική αγωγιμότητα και το κόστος. Το είδος του υποστρώματος επηρεάζει την ευκολία με την οποία τα λύματα διέρχονται μέσα από αυτό. Τα μικρότερου μεγέθους υλικά παρουσιάζουν πλεονεκτήματα όπως μεγαλύτερη διαθέσιμη επιφάνεια για επεξεργασία των λυμάτων ή καλύτερες συνθήκες για την ανάπτυξη των ριζών. Από την άλλη λεπτόκοκκο υλικό συνεπάγεται και φράξιμο των πόρων γρηγορότερα. Αυτός είναι και ο λόγος που γίνεται συνδυασμός των διάφορων μεγεθών άμμων ή/και χαλικιών, από τη μία η ύπαρξη ικανοποιητικής επιφάνειας για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και από την άλλη ικανοποιητικό πορώδες για την διέλευση των λυμάτων.

Με την πάροδο του χρόνου το πορώδες αλλά και η υδραυλική αγωγιμότητα αλλάζουν τόσο από την εναπόθεση των στερεών που περιέχονται στα λύματα, όσο και από το “βιοφίλμ” που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του υποστρώματος. Αλλά, και η προσροφητική ικανότητα του υποστρώματος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, αφού καταλαμβάνονται συνεχώς οι θέσεις που είναι διαθέσιμες για προσρόφηση.

2.5.7 Μικροοργανισμοί

Στους τεχνητούς υγροβιότοπους οι μικροοργανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο καθώς αποτελούν τον κύριο μηχανισμό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου και του αζώτου. Σε έναν τεχνητό υγροβιότοπο θα συναντήσουμε πολλά είδη μικροοργανισμών όπως βακτηρία, μύκητες, νηματοειδή και πρωτόζωα. Άλλα από αυτά είναι χημειοτερότροφα και άλλα χημειοαυτότροφα. Επίσης διαφοροποίηση

στους μικροοργανισμούς υπάρχει και στο αν είναι αερόβιοι, επαμφοτερίζοντες ή αναερόβιοι. Κοντά στην επιφάνεια και σχεδόν πάνω στην επιφάνεια των ριζών ή στον κορμό (σε επιφανειακής ροής συστήματα) επικρατούν αερόβιοι μικροοργανισμοί. Όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια συναντάμε από επαμφοτερίζοντες μέχρι και αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η αποδόμηση του οργανικού άνθρακα, για παράδειγμα, βασίζεται στα ετερότροφα βακτήρια ενώ η απομάκρυνση του αζώτου είναι συνδυασμός της δράσης χημειοαυτότροφων αερόβιων βακτηρίων (νιτροσομονάδες και νιτροβακτήρια) και ακολούθως η απονιτροποίηση βασίζεται σε χημειοετερότροφα επαμφοτερίζοντα βακτηρίδια (*Pseudomonas*, *Agrobacterium*) (13).

2.5.8 Μηχανισμοί Απομάκρυνσης

Οι μηχανισμοί απομάκρυνσης σε έναν τεχνητό υδροβιότοπο διακρίνονται σε 2 κατηγορίες : στους αβιοτικούς , δηλαδή το σύνολο των φυσικοχημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα, και στους βιοτικούς που οφείλονται στη δράση των μικροοργανισμών και των φυτών. Ανάλογα με το είδος του ρύπου και τις συνθήκες λειτουργίας οι μηχανισμοί αυτοί μπορεί να δρουν ταυτόχρονα ή διαδοχικά.

Οι αβιοτικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης είναι :

- καθίζηση
- ρόφηση (προσρόφηση - απορρόφηση)
- χημική οξείδωση
- εξάτμιση
- φωτοαποδόμηση

Οι βιοτικοί παράγοντες είναι :

- βιοαποδόμηση (αερόβια, αναερόβια)
- φυτοσυσσώρευση - φυτοσταθεροποίηση
- φυτοαποδόμηση – ριζοαποδόμηση
- φυτοεξάτμιση – εξατμισοδιαπνοή

Πίνακας 5: Μηχανισμοί Απομάκρυνσης σε έναν Τεχνητό Υγροβιότοπο (14).

Ρύπος	Φυσικοί	Χημικοί	Βιολογικοί
Ολικά αιωρούμενα στερεά	Καθίζηση		Βιοαποδόμηση
Απαίτηση οξυγόνου	Καθίζηση	Οξείδωση	Βιοαποδόμηση
Οργανικές Ενώσεις	Διάχυση Εξάτμιση Καθίζηση	Φωτοχημική οξείδωση	Βιοαποδόμηση Φυτοεξάτμιση
Ενώσεις του αζώτου	Καθίζηση		Αμμωνιοποίηση Νιτροποίηση- Απονιτροποίηση Πρόσληψη από φυτά
Ενώσεις του φωσφόρου	Καθίζηση	Προσρόφηση Κατακρήμνιση	Πρόσληψη από φυτά Μικροοργανισμοί
Μέταλλα	Καθίζηση	Προσρόφηση Κατακρήμνιση Εναλλαγή ιόντων	Πρόσληψη από φυτά
Παθογόνοι μικροοργανισμοί		UV ακτινοβολία	Μικροοργανισμοί

2.6 Τεχνητοί Υγροβιότοποι Κάθετης Ροής

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κάθετης ροής, όπως δηλώνει και το όνομα τους, είναι υγροβιότοποι, όπου η ροή του αποβλήτου γίνεται κάθετα κατά μήκος της επιφάνειάς τους (Εικόνα 5). Ο λόγος που τα συστήματα αυτά είναι πιο ελκυστικά σε σχέση με άλλα συστήματα υγροβιότοπων, είναι η μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς οξυγόνου με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης οργανικού φορτίου και αμμωνίας (15). Η πρακτική που ακολουθείται είναι ότι όσες μέρες διαρκεί η τροφοδοσία, το ίδιο ή το διπλάσιο διάστημα διαρκεί η περίοδος ξεκούρασης του συστήματος. Επίσης, η τροφοδοσία γίνεται με ασυνεχή τρόπο με αποτέλεσμα ενώ γίνεται η αποστράγγιση του αποβλήτου, οι κενοί πόροι να γεμίζουν με αέρα (16).

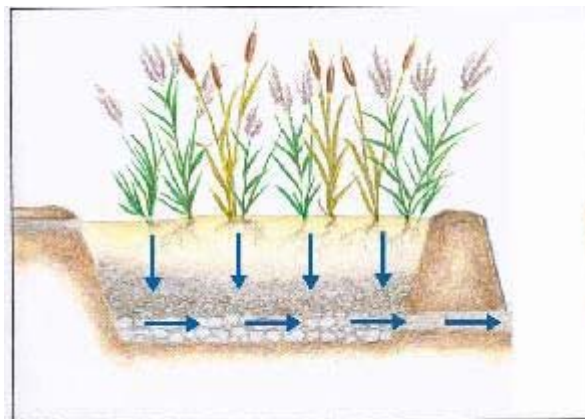
Το γεγονός ότι με αυτού του είδους υγροβιότοπων μπορούμε να πετύχουμε υψηλές αποδόσεις απομάκρυνσης COD, TSS, NH_4 και P, ανάλογα με το υλικό του υποστρώματος, οδήγησε στο να χρησιμοποιούνται για επεξεργασία υγρών αποβλήτων χωρίς πρωτοβάθμια επεξεργασία.

Σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να επιτευχθούν με τον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων είναι :

- Η επιφάνεια να είναι ικανή έτσι ώστε, το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο τροφοδοσιών τα υγρά απόβλητα να έχουν ήδη διεισδύσει στο σύστημα.

- Ο χρόνος επαφής του λύματος με το υπόστρωμα να είναι ικανός, ώστε να έρθει σε επαφή με τη μικροβιακή μάζα που αναπτύσσεται σε αυτό.
- Να παρέχει ικανοποιητική επιφάνεια για την ανάπτυξη της βιομάζας.
- Να επιτρέπει ικανοποιητική μεταφορά οξυγόνου.

Ένα μειονέκτημα που έχουν αυτού του είδους τα συστήματα είναι το φράξιμο των πόρων. Λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης στερεών στα ανεπεξέργαστα λύματα, είναι δυνατόν να φράξουν οι πόροι του συστήματος και μετά από αρκετό χρονικό διάστημα να μειωθεί η προσροφητική ικανότητα του υποστρώματος με αποτέλεσμα να μειωθεί και η απόδοση απομάκρυνσης του φωσφόρου. Επίσης απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά την τροφοδοσία, να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή του λύματος στην επιφάνεια εφαρμογής ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο να έχουμε έξοδο σε λιγότερο χρόνο με αποτέλεσμα μικρή επεξεργασία.



Εικόνα 5: Τεχνητός Υγροβιότοπος Κατακόρυφης Υπόγειας Ροής (17).

2.6.1 Ρυθμός Μεταφοράς Οξυγόνου

Το οξυγόνο σε έναν τεχνητό υγροβιότοπο μπορεί να εισέλθει με τρεις τρόπους (18):

- Με συμμεταφορά
- Από τις ρίζες
- Με διάχυση

Η συμμεταφορά είναι ο μηχανισμός με τον οποίο το οξυγόνο εισέρχεται στο σύστημα και έχει να κάνει με την κλίση της ατμοσφαιρικής πίεσης στο σύστημα. Καθώς το απόβλητο εξέρχεται από το σύστημα δημιουργεί κενό το οποίο καταλαμβάνεται από αέρα ή απόβλητο. Αν το χρονικό διάστημα από την εφαρμογή της τροφοδοσίας μέχρι την πλήρη έξοδο από το σύστημα είναι μικρό, τότε όλος ο κενός χώρος θα καλυφθεί από αέρα(18).

Η διάχυση είναι ο μηχανισμός με τον οποίο το οξυγόνο κατανέμεται στο σύστημα, αφού ο αέρας ο οποίος εισέρχεται στο σύστημα δεν κατανέμεται ομοιόμορφα σε αυτόν και επίσης υπάρχει κατανάλωση οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς και αυτή η διάφορα στη συγκέντρωση του οξυγόνου στα διάφορα σημεία είναι η δρώσα δύναμη για τη διάχυση (18).

Σε ότι αφορά τις ρίζες η συνεισφορά τους είναι μικρή καθώς δημιουργούν μια πολύ μικρή ζώνη πάχους κάποιων μm γύρω τους.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα υπολογισμού της ποσότητας οξυγόνου που εισέρχεται στο σύστημα. Μερικά από αυτά είναι :

$$1. \frac{[(BOD_{IN}-BOD_{OUT})+((NH_4-N)_{IN}-(NH_4-N)_{OUT})\times 4,3]}{\text{Επιφάνεια Κλίνης}} \times \text{Παροχή}$$

Οι συγκεντρώσεις είναι σε ppm, η επιφάνεια σε m² και η παροχή σε L/d.
Ο τύπος αυτό προτάθηκε από τον Cooper (19). Δεν υπολογίζει την απομάκρυνση του BOD λόγω καθίζησης, την απώλεια της αμμωνίας λόγω της βλάστησης και την απομάκρυνση του BOD λόγω της απονιτροποίησης(19) .

2. Μια άλλη μέθοδος υπολογισμού βασίζεται σε χαρακτηριστικά στοιχεία της τροφοδοσίας όπως ο όγκος του λύματος σε κάθε τροφοδοσία, ο αριθμός των τροφοδοσιών και το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών τροφοδοσιών. Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο αριθμητικές σχέσεις. Μία για τη μεταφορά οξυγόνου λόγω συµμεταφοράς και μία λόγω διάχυσης (18).

- Λόγω διάχυσης

$$OI_D = J \times A \times (24 - t \times n)$$

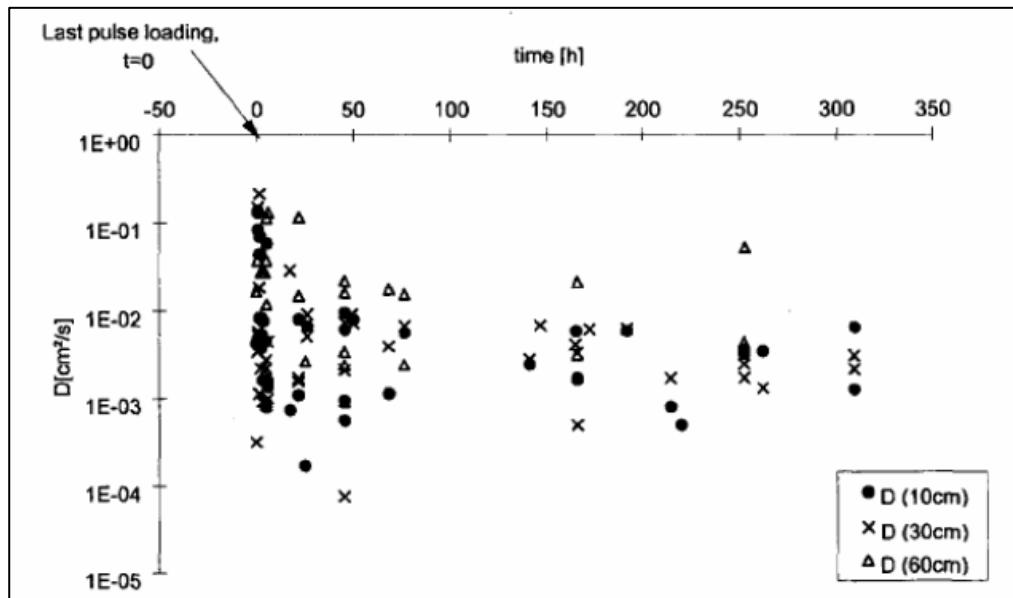
OI_D = συγκέντρωση οξυγόνου g / d

J = flux οξυγόνου με βάση τον πρώτο νόμο του Fick

A = η επιφάνεια του υδροβιότοπου m²

t = χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών τροφοδοσιών h

n = ο αριθμός των τροφοδοσιών



Διάγραμμα 1: Συντελεστής Διάχυσης Συνάρτησις του Χρόνου μετά την Τελευταία Φόρτιση σε Διάφορα Βάθη(18).

Για τον υπολογισμό του συντελεστή διάχυσης χρησιμοποιείται το Διάγραμμα 1 όπου στον άξονα x είναι ο χρόνος σε ώρες μεταξύ δύο διαδοχικών τροφοδοτήσεων του συστήματος και στον άξονα y ο συντελεστής διάχυσης σε cm² / sec για διάφορα βάθη.

- Λόγω συµµεταφοράς

Η µεταφορά οξυγόνου λόγω συµµεταφοράς οφείλεται στο υδραυλικό φορτίο εφαρµογής. Για µικρούς χρόνους εφαρµογής ο αέρας που εισέρχεται στο σύστηµα είναι ίσος µε τον όγκο του αποβλήτου που βγαίνει από αυτό. Ο αέρας περιέχει 300 mg O₂/L οπότε :

$$OI_C = 0,3 \times V \times 1000$$

OI_C = συγκέντρωση οξυγόνου λόγω συµµεταφοράς g/d.

V = όγκος λύµατος ανά τροφοδοσία m³/d.

Άρα η συνολική συγκέντρωση του οξυγόνου που εισέρχεται στο σύστηµα είναι το άθροισµα των δύο επιµέρους

Η µέχρι τώρα εµπειρία από τα συστήµατα αυτά έχει δείξει ότι ο ρυθµός µεταφοράς οξυγόνου είναι τουλάχιστον 28 g O₂/m²·d (19).

2.6.2 Παράµετροι Σχεδιασµού και Λειτουργίας

Ο σχεδιασµός των τεχνητών υγροβιότοπων κάθετης ροής περιλαµβάνει:

- την επιλογή προεπεξεργασίας (ανεπεξεργαστα λύµατα ή από πρωτοβάθµια επεξεργασία).
- τον τρόπο τροφοδοσίας (ασυνεχής ή όχι).
- την επιλογή και την τοποθέτηση του υποστρώµατος.
- την εµφύτευση της βλάστησης.
- κάποιες κατασκευές στα σηµεία εισόδου και εξόδου.
- τους ρυθµούς φόρτισης για την έκταση της επιφάνειας.

Μπορεί, επίσης να είναι απαραίτητες εγκαταστάσεις σωληνώσεων αποστράγγισης και µεταφοράς. Λόγω της µειωµένης ποσότητας διαλυµένου οξυγόνου στην εκροή των υγροβιότοπων, πολλές φορές είναι απαραίτητος ο αερισµός. Όταν το επιτρέπει η τοπογραφία της περιοχής, ο αερισµός αυτός µπορεί να επιτευχθεί µε την διαδοχική τοποθέτηση βράχων(20). Μια τέτοια διάταξη παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Τοποθέτηση βράχων για αερισµό

Οι τεχνητοί υγροβιότοποι κάθετης ροής αποτελούνται κυρίως από δύο στάδια. Και τα δύο αποτελούνται από τρία στρώµατα µε διαφορετικό υλικό ως προς το µέγεθος (16):

- >30 cm πάχος µε λεπτόκοκκο χαλίκι (2 – 8 mm).
- µεταβατικό στρώµα πάχους 10 – 20 cm µε χαλίκι 5 – 20 mm.
- στρώµα αποστράγγισης πάχους 10 – 20 cm µε χαλίκι 20 – 40 mm.

Η διαστρωμάτωση για το δεύτερο στάδιο είναι :

- >30 cm πάχος με άμμο ($0.25 \text{ mm} < d_{10} < 0.40 \text{ mm}$).
- μεταβατικό στρώμα πάχους 10 – 20 cm με χαλίκι 3 – 10 mm.
- στρώμα αποστράγγισης πάχους 10 – 20 cm με χαλίκι 20 – 40 mm.

Παρατηρούμε ότι τα δυο στάδια δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Η κύρια διαφορά παρατηρείται στο επιφανειακό στρώμα και κυρίως στο πληρωτικό υλικό. Έτσι στο πρώτο στάδιο τοποθετείται λεπτόκοκκο χαλίκι για την αποφυγή φραξίματος των πόρων καθώς δέχεται ανεπεξέργαστο λύμα, ενώ στο δεύτερο επιφανειακό στρώμα τοποθετείται άμμος.

Επίσης, αυτή η διαφοροποίηση του επιφανειακού στρώματος συμβαίνει για να υπάρχει έλεγχος της βιομάζας που αναπτύσσεται στο πρώτο στάδιο, καθώς και για να διασφαλιστεί η ύπαρξη αερόβιων συνθηκών. Το κλειδί για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η τροφοδοσία. Αυτή διαρκεί συνήθως 3 με 4 ημέρες (21) και ακολουθεί μια περίοδος διπλάσια σε χρονική διάρκεια που δεν γίνεται τροφοδοσία. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχεται η ανάπτυξη της βιομάζας στο υπόστρωμα, ενισχύεται ο αερισμός και ενισχύεται η βιοδιάσπαση των οργανικών στερεών που παραμένουν στην επιφάνεια του πρώτου σταδίου. Επίσης κατά την περίοδο που γίνεται η τροφοδοσία αυτή, γίνεται ασυνεχώς έτσι ώστε εκτός από την ενίσχυση των αερόβιων συνθηκών, να διασφαλιστεί η ομοιόμορφη κατανομή του λύματος και των στερεών σε ολόκληρη την επιφάνεια.

Επίσης οι υγροβιότοποι μπορούν να θεωρηθούν ως συστήματα προσκολλημένης βιομάζας και απόδοση τους δύναται να υπολογιστεί από την κινητική αντίδραση πρώτης τάξης για plug flow αντιδραστήρες με τροφοδοσία στο ένα άκρο της κλίνης και συλλογή της εκροής στο άλλο άκρο της.

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T t) \text{ \& } t = \frac{A d n}{Q}$$

Επομένως με τον συνδυασμό των δύο αυτών τύπων έχουμε τον ακόλουθο τύπο με τον οποίο υπολογίζουμε την ελάχιστη επιφάνεια για τη μείωση του οργανικού φορτίου είναι ο παρακάτω (22):

$$A = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_T * d * n}$$

Όπου:

C_o = Συγκέντρωση BOD στην είσοδο του υγροβιότοπου.

C = Συγκέντρωση BOD στην έξοδο του υγροβιότοπου.

A = Η επιφάνεια του υγροβιότοπου m^2 .

K_T = Κινητικός συντελεστής διάσπασης του οργανικού φορτίου d^{-1} .

$K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)} = 0.678 * (1.06)^{(15-20)}$ (τυπική τιμή $= 0.506 \text{ d}^{-1}$).

d = το βάθος του νερού στον υγροβιότοπο, $\approx 0.6 \text{ m}$.

n = Πορώδες: ≈ 0.4 .

t = υδραυλικός χρόνος παραμονής (ημέρες).

Λοιποί περιοριστικοί παράμετροι για τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας τεχνητού υγροβιότοπου (SF) είναι οι εξής:

- Μέγιστη υδραυλική φόρτιση: $12 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{d}$ (23).
- Μέγιστη οργανική φόρτιση: $37 \text{ gCOD}/\text{m}^2 * \text{d}$ (23).

2.6.3 Φαινόμενα Φράξιματος των Πόρων

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά φαινόμενα που συναντάμε στους τεχνητούς υγροβιότοπους κάθετης ροής είναι το φράξιμο των πόρων του υποστρώματος. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και δε εμφανίζεται σε όλα τα συστήματα στο ίδιο χρονικό διάστημα. Αυτοί είναι ο ρυθμός φόρτισης του αποβλήτου, η συγκέντρωση στα στερεά, το είδος του υποστρώματος, η πυκνότητα της βλάστησης και η θερμοκρασία (24).

Το φράξιμο των πόρων στην επιφάνεια κυρίως τον προκαλούν τα ανόργανα σωματίδια ανάλογα με το υδραυλικό φορτίο φόρτισης του συστήματος και τη συγκέντρωσή τους σε αυτό. Αντίθετα το φράξιμο των πόρων προκαλείται από την ανάπτυξη της βιομάζας που εξαρτάται με τη σειρά της από την περιεκτικότητα του λύματος σε οργανικά στερεά, το χρόνο επαφής και τη θερμοκρασία αλλά και με τον χρόνο για τον οποίο το σύστημα παραμένει χωρίς τροφοδοσία.

Ένας δεύτερος παράγοντας είναι οι ρίζες που αναπτύσσονται σε βάθος άλλα αυτό είναι ένα φαινόμενο εποχικό και ουσιαστικά είναι ένας κύκλος ζωής και θανάτου των ριζών.

Το φράξιμο των πόρων κατηγοριοποιείται στις εξής τρεις καταστάσεις (25):

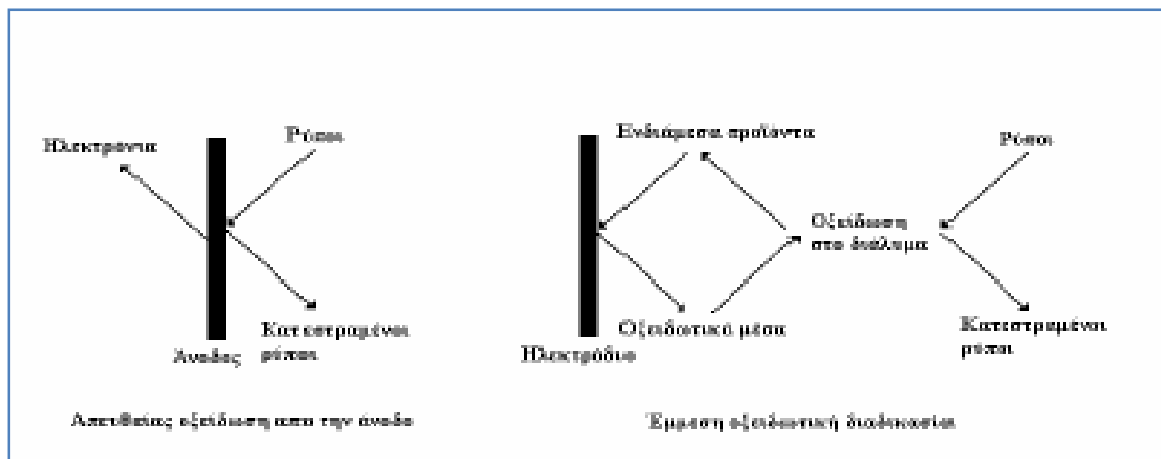
- Καθόλου φράξιμο : ≤ 30 % του λύματος παραμένει στην επιφάνεια μεταξύ του χρονικού διαστήματος δυο δόσεων.
- Μερικό φράξιμο : $30 - 80$ % του λύματος παραμένει στην επιφάνεια μεταξύ του χρονικού διαστήματος δύο δόσεων.
- Πλήρες φράξιμο : ≥ 80 % του λύματος παραμένει στην επιφάνεια μεταξύ του χρονικού διαστήματος δύο δόσεων.

2.7 Ηλεκτροχημικές Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Οι ηλεκτροχημικές διεργασίες βασίζονται στην διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των ηλεκτροδίων μιας ηλεκτροχημικής κυψέλης. Στην κυψέλη βρίσκεται ή διέρχεται το λύμα. Επίσης οι διεργασίες αυτές βασίζονται στις χημικές μετατροπές που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων (άμεσος ηλεκτροχημικός καθαρισμός) αλλά και στις επακόλουθες φυσικοχημικές δράσεις στο διάλυμα (έμμεσος καθαρισμός) με τη βοήθεια ηλεκτροχημικά παραγόμενων αντιδραστηρίων ή τέλος, στην διαφορετική κινητικότητα ιόντων διαμέσων κατάλληλων μεμβρανών παρουσία του ηλεκτρικού πεδίου της κυψέλης (26).

Με την ηλεκτροχημική επεξεργασία αποβλήτων μπορεί να επιτευχθεί μερική μείωση της τοξικότητας ή και πλήρης αποικοδόμηση των ρύπων. Η πλήρης αποικοδόμηση, δηλαδή η οξείδωση της οργανικής ύλης σε αέρια, όπως N_2 και CO_2 απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

Η οξείδωση οργανικής ύλης μέσω ηλεκτροχημικής επεξεργασίας μπορεί να διακριθεί σε άμεση οξείδωση στην επιφάνεια της ανόδου του ηλεκτροδίου και σε έμμεση οξείδωση μακριά από την επιφάνεια της ανόδου.



Εικόνα 7: Διαδικασία Απομάκρυνσης Ρύπων (27).

2.7.1 Μειονεκτήματα της Μεθόδου

Έως τώρα υπάρχουν λίγες εφαρμογές ηλεκτροχημικής επεξεργασίας σε βιομηχανική κλίμακα, καθώς παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα όπως ο περιορισμένος χρόνος ζωής των ηλεκτροδίων και η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Άλλα μειονεκτήματα οφείλονται στην ετερογενή φύση των ηλεκτροχημικών διεργασιών όπως η απόδοση μπορεί να υπόκειται σε περιορισμούς μεταφοράς μάζας και να εξαρτάται ισχυρά από την επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Ένα άλλο σημαντικό σημείο είναι η μακροπρόθεσμη χημική σταθερότητα των συστατικών του ηλεκτροδίου παρουσία δραστικών μέσων. Επίσης ο πιθανός σχηματισμός ενδιάμεσων χλωριωμένων οργανικών ενώσεων ή τελικών προϊόντων, εμποδίζει την ευρεία εφαρμογή της μεθόδου. Επιπλέον αν το περιεχόμενο του αποβλήτου σε χλώριο είναι χαμηλό, πρέπει να προστεθεί μεγάλη ποσότητα χλωριούχου νατρίου ή θειικό νάτριο (Sodium Sulphate) ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα της διεργασίας.

2.7.2 Πλεονεκτήματα της Μεθόδου

Οι εταιρείες που εκφράζουν ενεργό ενδιαφέρον για την ηλεκτροχημική επεξεργασία είναι βιομηχανίες ανάκτησης μετάλλων, επεξεργασίας πόσιμου νερού κι επεξεργασίας διάφορων αποβλήτων από βυρσοδεψεία ηλεκτροεπικαλύψεις, γαλακτοκομικά προϊόντα, επεξεργασία υφασμάτων, ελαιοτριβεία κ.α. Σήμερα η ηλεκτροχημική τεχνολογία έχει φτάσει σε ένα επίπεδο όπου είναι συγκρίσιμη σε επίπεδο κόστους με άλλες μεθόδους και πιο αποδοτική. Σε κάποιες περιπτώσεις η ηλεκτροχημική επεξεργασία αποτελεί απαραίτητο βήμα για τις διεργασίες επεξεργασίας κάποιων επίμονων ρυπαντών σε απόβλητα(28).

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι (29):

- Η καταλληλότητα για πλήθος εφαρμογών (οξείδωση, διαχωρισμός φάσεων, συγκέντρωση ή διάλυση, απολύμανση) και σε ποικιλία μέσων (αέρια, υγρά, στερεά) ανεξάρτητα του όγκου επεξεργασίας.
- Η καλή ενεργειακή απόδοση, καθώς οι ηλεκτροχημικές διεργασίες γενικά έχουν μικρότερες θερμοκρασιακές απαιτήσεις. Τα ηλεκτρόδια και τα ηλεκτρολυτικά κελιά μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες ισχύος που προκαλούνται από τη μη ομογενή κατανομή του ρεύματος, πτώσεις της τάσης και παράπλευρες αντιδράσεις.
- Η δυνατότητα αυτοματοποίησης της διεργασίας, μέσω του εύκολου ελέγχου των μεταβλητών (δυναμικό ηλεκτροδίου και ένταση ρεύματος, παροχή κλπ).

- Το κόστος είναι σχετικό χαμηλό δεδομένου ότι η κατασκευή των ηλεκτρολυτικών κελιών είναι αρκετά απλή και με σωστό σχεδιασμό μπορεί να είναι οικονομική.

2.7.3 Άμεση Ανοδική Οξείδωση

Στη μέθοδο της άμεσης ανοδικής οξείδωσης οι ρύποι απορροφούνται πρώτα στην επιφάνεια της ανόδου και στη συνέχεια καταστρέφονται από την αντίδραση μεταφοράς ηλεκτρονίων που πραγματοποιείται στην άνοδο.

Ενώ έχει αρχίσει η ανοδική οξείδωση στο απόβλητο, η έμμεση οξείδωση μπορεί να λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα στο απόβλητο που περιέχει χλώριο. Ο ρυθμός άμεσης οξείδωσης των οργανικών συστατικών του αποβλήτου εξαρτάται από :

- την καταλυτική ικανότητα της ανόδου.
- τον ρυθμό διάχυσης των οργανικών συστατικών στα ενεργά σημεία της ανόδου.
- την εφαρμοζόμενη τάση του ρεύματος.

2.7.4 Έμμεση Ανοδική Οξείδωση

Στην έμμεση μέθοδο οξείδωσης, ισχυρά οξειδωτικά όπως υποχλωρίτες, χλώριο, όζον, υπεροξείδιο του υδρογόνου παράγονται ηλεκτροχημικά. Οι ρύποι τότε καταστρέφονται στο κυρίως διάλυμα με αντίδραση οξείδωσης εξαιτίας των παραγόμενων οξειδωτικών. Όλα τα οξειδωτικά παράγονται *in-situ* (επί τόπου) και χρησιμοποιούνται αμέσως (30). Η απομάκρυνση των ρύπων είναι πιο αποδοτική κυρίως κατά την άμεση ηλεκτροχημική οξείδωση γιατί τα δευτερεύοντα οξειδωτικά δεν είναι ικανά να μετατρέψουν όλα τα οργανικά σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό(31).

Ο ρυθμός της έμμεσης οξείδωσης εξαρτάται από :

- τον ρυθμό διάχυσης των δευτερογενών οξειδωτικών μέσων στο διάλυμα.
- τη θερμοκρασία.
- το pH.

2.7.5 Απόδοση της Ανοδικής Οξείδωσης.

Η αποτελεσματική αποδόμηση των συστατικών του αποβλήτου βασίζεται στην άμεση ηλεκτροχημική διαδικασία, επειδή τα δευτερογενή οξειδωτικά μέσα δεν είναι ικανά να μετατρέψουν όλα τα οργανικά σε νερό και διοξείδιο του άνθρακα (27). Δύο παράμετροι που εκφράζουν την απόδοση της ανόδου είναι η ροή (πυκνότητα) του ρεύματος (*current density*) και η απόδοση της ανόδου (*current efficiency*).

Στην Εικόνα 8 δίνονται οι τιμές των δύο παραμέτρων για διαφορετικούς τύπους ηλεκτροδίων και διαφορετικές πειραματικές συνθήκες.

Anode	Pollutant	Current density (A/m ²)	CE (%)	Removal efficiency	Comment
Granular graphite	Phenol	0.03–0.32	70	70, 50% mineralization	5-month stable operation
Planar graphite	Phenol	10–100	24.6–63.5	6–17%, COD	NaOH as electrolyte
Pt or Ti/Pt	Phenol	300		30%, TOC	pH 12, initial concentration 1000 mg/l, in 0.25 M Na ₂ SO ₄
	Ammonia	8.5	53	95%	pH 8.2 using phosphate buffer, poor performance for organics
	Glucose 15 organics	100–900	15–20 5	30%	1 M H ₂ SO ₄
PbO ₂	Aniline	$I = 2 \text{ A}$	15–40	>90% in 1 h	Initial concentration 2.7 mM, pH 2, packed bed of PbO ₂
	Phenol	$I = 1, 2, 3 \text{ A}$		46–80%	Anodic cell: initial concentration 14–56 mM, in 1.0 sulfuric acid, packed bed of PbO ₂
Ti/PbO ₂	Phenol	300		40%, TOC	pH 12, initial concentration 1000 mg/l, in 0.25 M Na ₂ SO ₄
	Landfill leachate	50–150	30% for COD 10% for NH ₄ ⁺ -N	90% for COD 100% for NH ₄ ⁺ -N	
	Glucose	100–900	30–40	100%	1 M H ₂ SO ₄
	2-Chlorophenol	80–160	35–40	80–95%, COD	Pb ²⁺ formation, initial COD = 1000 mg/l, 25 °C
IrO ₂	Organic	Low	17		
	1,4-Benzoquinone				Rupture of rings only
	Chlorinated phenols	0.6 50	54 1.8		Na ₂ SO ₄
Ti/SnO ₂ –Sb ₂ O ₃	2-Chlorophenol	80–160	35–40	80–95%, COD	Oxalic acid as intermediates
	Glucose	100–900	<20	30%	1 M H ₂ SO ₄
	Phenol	300		100%	pH 12, initial concentration 1000 mg/l, in 0.25 M Na ₂ SO ₄
		500	58		70 °C, 10 mM
	Landfill leachate				CV method, similar to PbO ₂ Similar to PbO ₂
Ebonex®	Trichloroethylene	Fixed potential 2.5–4.3 V	<32	10–70%	Stable in aqueous media, Ti ₄ O ₇ to TiO ₂

Εικόνα 8: Απόδοση διαφορετικών υλικών ανόδου στην ηλεκτροχημική οξείδωση (32).

Η καταλυτική ικανότητα της ανόδου για την υποστήριξη της άμεσης οξείδωσης θέτει δυο βασικές ιδιότητες αυτής:

- την σταθερότητα στη διάβρωση από τα συστατικά και τον ηλεκτρολύτη.
- την υψηλή υπέρταση έκλυσης οξυγόνου (oxygen overpotential).

Η υπέρταση έκλυσης υπεροξειδίου του υδρογόνου εξαρτάται από:

- το μέταλλο της ανόδου,
- την πυκνότητα (ροή) του ρεύματος.
- την κατάσταση της επιφάνειας της ανόδου.

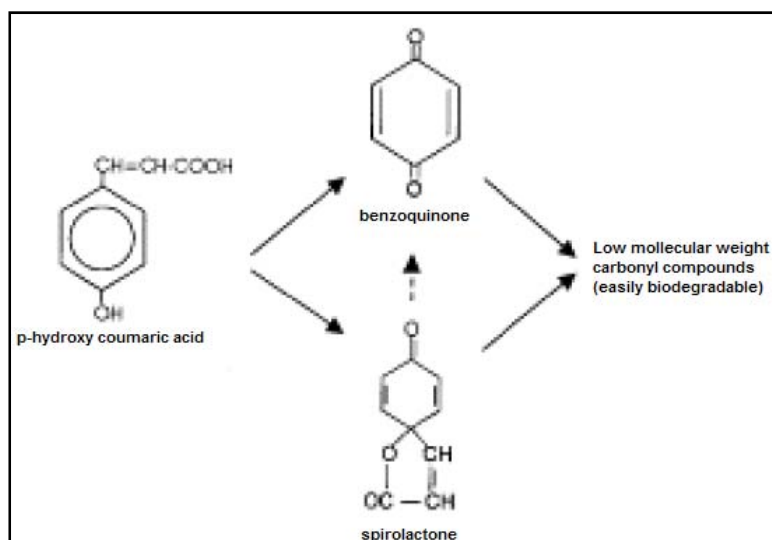
Στην Εικόνα 9 δίνονται τα δυναμικά υπέρτασης έκλυσης υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂) για διαφορετικά υλικά ανόδου. Από τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι η άνοδος από πλατίνα (Pt) έχει το χαμηλότερο δυναμικό και χρησιμοποιείται συχνότερα ως υλικό ανόδου.

Anode	Value (V)	Conditions
Pt	1.3	0.5 M H ₂ SO ₄
Pt	1.6	0.5 M H ₂ SO ₄
IrO ₂	1.6	0.5 M H ₂ SO ₄
Graphite	1.7	0.5 M H ₂ SO ₄
PbO ₂	1.9	1 M HClO ₄
SnO ₂	1.9	0.5 M H ₂ SO ₄
Pb-Sn (93:7)	2.5	0.5 M H ₂ SO ₄
Ebonex [®] (titanium oxides)	2.2	1 M H ₂ SO ₄
Si/BDD	2.3	0.5 M H ₂ SO ₄
Ti/BDD	2.7	0.5 M H ₂ SO ₄
DiaChem	2.8	0.5 M H ₂ SO ₄

Εικόνα 9: Δυναμικά έκλυσης (H₂O₂) για διαφορετικά υλικά ανόδου (32).

2.7.6 Ενδιάμεσα Παράγωγα της Μεθόδου

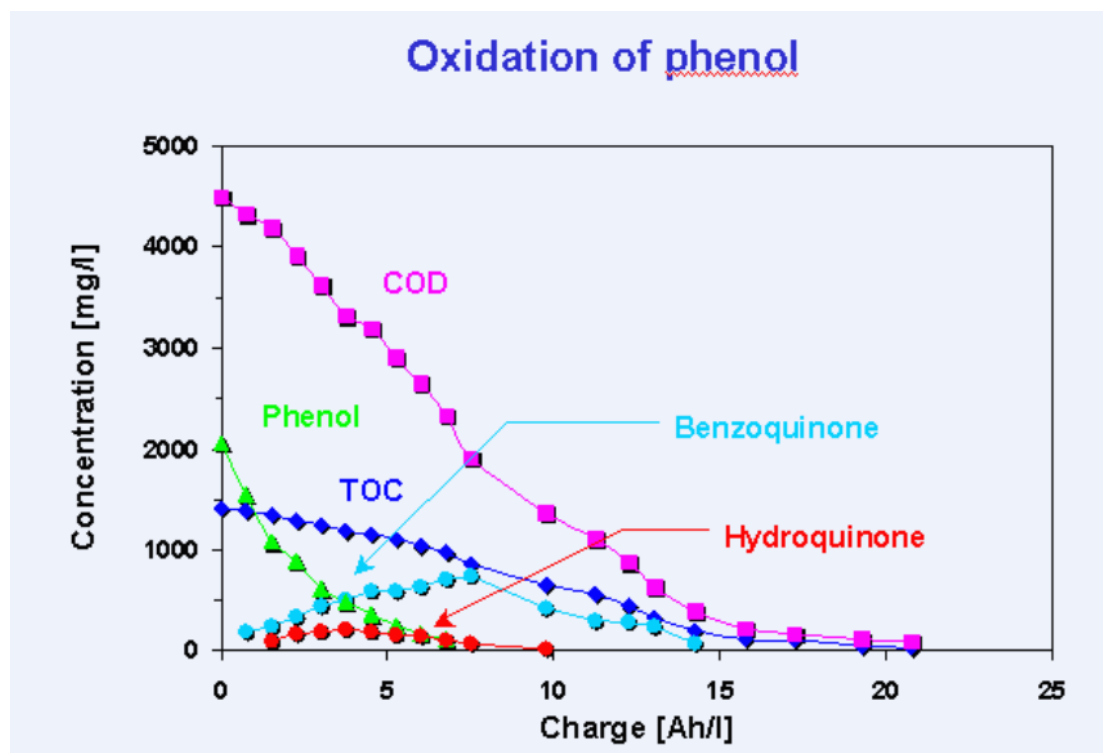
Κατά την ηλεκτροχημική οξείδωση των φαινολών, που είναι οι κύριες ενώσεις που ενδιαφέρουν στην παρούσα εργασία, τα ενδιάμεσα προϊόντα που έχουν αναφερθεί από διάφορους συγγραφείς είναι οι υδροκινόνες και τα καρβοξυλικά οξέα. Μια φαινολική ένωση που συναντάται συχνά στα υγρά απόβλητα ελαιοτριβείου είναι το κουμαρικό οξύ. Τα κυρίαρχα ενδιάμεσα παράγωγα που αναγνωρίζονται κατά την ηλεκτροχημική του οξείδωση είναι η βενζοκινόνη και η σπιρολακτόνη του p-υδροξυκουμαρικού οξέος. Περαιτέρω οξείδωση οδηγεί σε μικρότερου μοριακού βάρους ενδιάμεσα, όπου η κύριο καρβονυλική ένωση είναι το οξικό οξύ, ενώ είναι παρούσες σημαντικές ποσότητες φορμικού και πεντανοϊκού οξέος κα διαφόρων κετονών. Το οξειδωτικό μονοπάτι φαίνεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10: Οξειδωτικό Μονοπάτι του Κουμαρικού Οξέος (33).

Η βενζοκινόνη είναι μια αρωματική, ιδιαίτερα τοξική ένωση. Αποτελεί ένα ενδιάμεσο που απαντάται συχνά σε μελέτες ηλεκτροχημικής οξείδωσης φαινολών. Αντίθετα ο σχηματισμός της σπιρολακτόνης, μη αρωματικού μορίου, αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της αποικοδόμησης του κουμαρικού οξέος. Είναι πιθανόν ότι η

βενζοκινόνη σχηματίζεται μέσω μονοπατιών που λαμβάνουν χώρα κυρίως στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου (33).



Εικόνα 11: Δημιουργία παραπροϊόντων κατά την οξείδωση των φαινολών (34).

2.7.7 Η τεχνολογία DiaCell

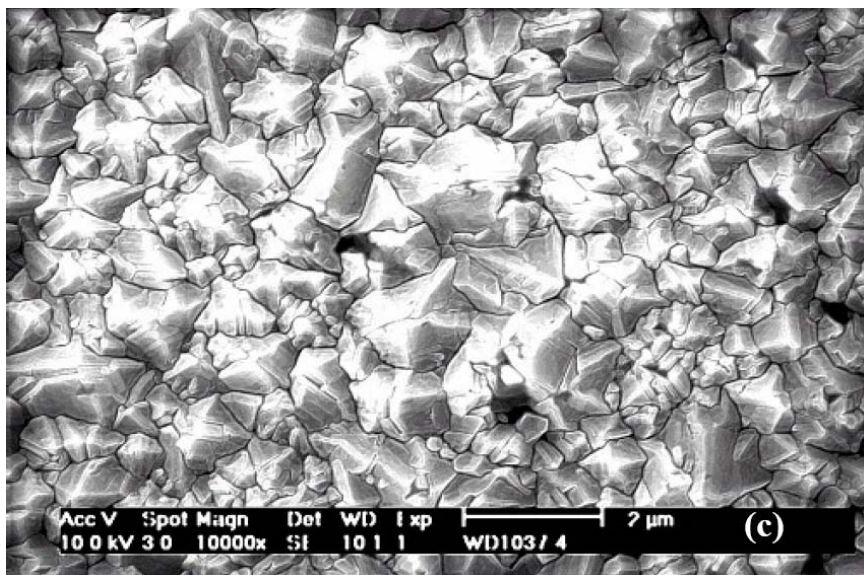
Τα ηλεκτρόδια BDD/Si συνίστανται, σύμφωνα και με το όνομα τους, από ένα λεπτό στρώμα διαμαντιού με πρόσμιξη βορίου πάνω σε ένα υπόστρωμα πυριτίου. Η γεωμετρία τους είναι κυκλική όταν χρησιμοποιούνται σε ένα DiaCell αλλά μπορούν να είναι τετραγωνικοί ή και μεταβλητής γεωμετρίας σύμφωνα με τις ανάγκες της επεξεργασίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του υποστρώματος πυριτίου, αλλά και του στρώματος του διαμαντιού που αποτελεί την ενεργό επιφάνεια του ηλεκτροδίου BDD/Si παρουσιάζει ο Πίνακας 6.

Πίνακας 6: Κύρια Χαρακτηριστικά Ηλεκτροδίων BDD/Si (35).

Υπόστρωμα Πυριτίου (Si)		Επίστρωση Διαμαντιού	
Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Εξωτερική Διάμετρος	100mm	Πάχος	1-3μm
Πάχος	2mm	Ειδική αντίσταση	100-150mΩcm
Επιφάνεια	70cm ²	Πρόσμιξη	Βόριο
Ειδική αντίσταση	100mΩcm		

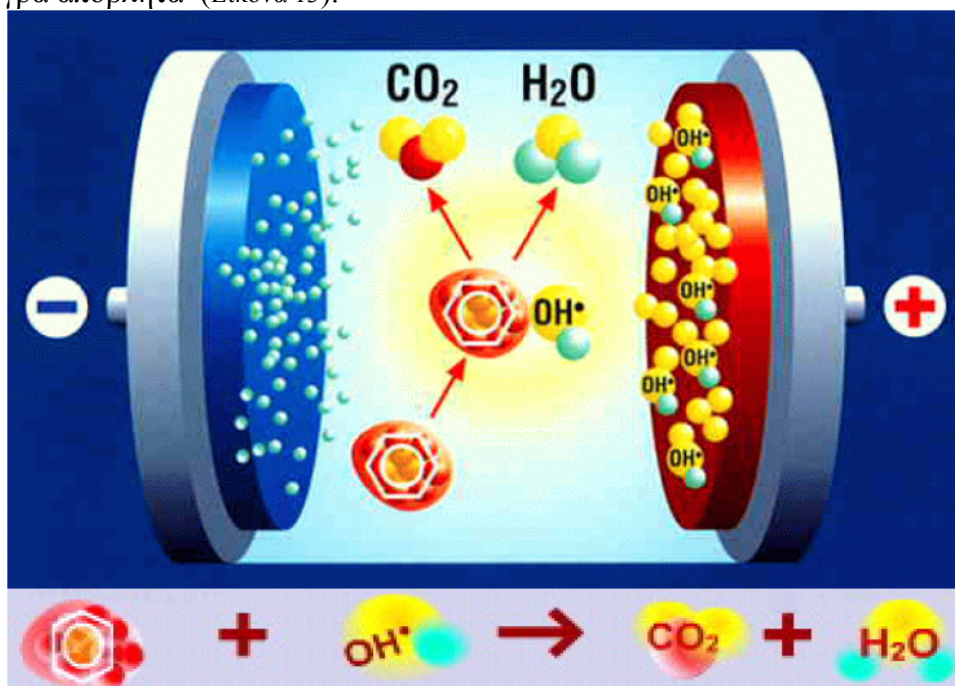
Τα ηλεκτρόδια της Adamant (36) παρουσιάζουν υψηλή απόδοση όταν χρησιμοποιούνται ως βασικά συστατικά σε κατάλληλες ηλεκτροχημικές μεθόδους, είτε στη διαδικασία είτε τις αναλυτικές εφαρμογές. Οι υψηλές δυνατότητες πλεονάσματος στις οποίες το νερό οξειδώνεται σε οξυγόνο και μειώνεται σε υδρογόνο αφήνει αρκετό χώρο για πολλές ενδιαφέρουσες ηλεκτροχημικές

αντιδράσεις , για την κατεργασία του νερού με εφαρμογή της τεχνολογίας DiaCell. Αυτή η μοναδική ηλεκτροχημική ιδιότητα του διαμαντιού μαζί με την εξαιρετικά υψηλή σταθερότητα σε ακραία pH, θερμοκρασίες και χημικές ουσίες, κάνουν αυτό το υλικό να έχει μεγάλο ενδιαφέρον επίσης για τις ανόργανες και οργανικές χημικές συνθέσεις (35).



Εικόνα 12: Επιφάνεια ηλεκτροδίου BDD/Si όπως φαίνεται από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο(37).

Μια ηλεκτροχημική τεχνολογία ή ηλεκτροχημική διεργασία προηγμένης οξείδωσης βασισμένη στα ηλεκτρόδια της Adamant(36), τα DiaCell, επιτρέπει την παραγωγή μικτών οξειδωτικών (π.χ χλώριο , όζον, υπεροξείδιο υδρογόνου , ρίζες υδροξυλίου και άλλα) χωρίς την προσθήκη χημικών ουσιών. Αυτά τα οξειδωτικά αντιπροσωπεύουν μια απλή , γρήγορη , καθαρή και οικονομική τεχνολογία για την απολύμανση του νερού αποτελεσματικά με μείωση των χημικών ρύπων στο νερό και στα υγρά απόβλητα (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: Απεικόνιση της μείωσης των χημικών ρύπων στο νερό και στα υγρά απόβλητα(37).

Τα ηλεκτρόδια DiaCell προσδιορίζονται από τρία κύρια χαρακτηριστικά που κάνουν τόσο χρήσιμα στην επεξεργασία του νερού και των υγρών αποβλήτων . Αυτά είναι:

- Μεγάλο εύρος λειτουργίας, μεγαλύτερο από 4 Volt. Πράγμα που επιτρέπει την παραγωγή πολλών ισχυρών οξειδωτικών που δεν μπορούν να παραχθούν χρησιμοποιώντας άλλες μεθόδους.
- Υψηλή χημική σταθερότητα ακόμη και σε ισχυρά όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον.
- Μια μη-δηλητηριαζόμενη επιφάνεια χάρη στην αντιστροφή της πολικότητας

2.7.8 Ερευνητικά Αποτελέσματα

Στην συνέχεια ακολουθεί σύντομη αναφορά σε ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια με χρήση της ηλεκτρολυτικής μεθόδου για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων από πυρηνελαιουργεία και ελαιοτριβεία

Απόβλητα πυρηνελαιουργείου

Έγινε μελέτη για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με των συνδυασμό τριών διεργασιών (Κροκίδωση, Προσρόφηση, Ηλεκτροχημική οξείδωση) (3). Αρχικά βρέθηκαν οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας για την μεγαλύτερη ποσοστιαία απομάκρυνση του οργανικού φορτίου από την διεργασία της κροκίδωσης (βέλτιστη δόση κροκιδωτικού) και από την διεργασία της προσρόφησης (βέλτιστη δόση ενεργού άνθρακα. Στην συνέχεια έγινε ο συνδυασμός και των τριών διεργασιών Στο μέρος της ηλεκτροχημικής οξείδωσης έγινε χρήση BBD/Si ηλεκτροδίων (συσκευή DiaCell) όπου μεταβάλλονταν η εφαρμοζόμενη ένταση ρεύματος (10 & 20A). Από τους συνδυασμούς που έγιναν στην εργασία αυτή βρέθηκε ότι ο συνδυασμός που αποφέρει το μεγαλύτερο ποσοστό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου (96,17%) είναι η χρήση της κροκίδωσης και προσρόφησης με τις βέλτιστες συνθήκες και στην συνέχεια να γίνει χρήση της ηλεκτροχημικής οξείδωσης για 6hr και εφαρμοζόμενη ένταση 20A. Αξίζει να αναφερθεί ότι από αυτή την εργασία έγινε δανεισμός και χρήση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας της ηλεκτροχημικής οξείδωσης για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας (6hr στα 20 A).

Απόβλητα ελαιοτριβείων

1. Έγινε εξέταση στην επίδραση της τάσης του ρεύματος και της αλατότητας στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και την μείωση της τοξικότητας για τα απόβλητα από ελαιοτριβείο(38). Τα πειράματα έδειξαν τα ακόλουθα:

- Στα πειράματα ηλεκτρόλυσης με σταθερή συγκέντρωση άλατος NaCl 3 % και μεταβαλλόμενη τάση 14, 16, 18 V, και μετά από 8 ώρες επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε απομάκρυνση του COD κατά 58,9, 63,4 και 70,8 %, αντίστοιχα.
- Σε αντίστοιχα πειράματα ηλεκτρόλυσης σε σταθερή τάση 16 V και μεταβαλλόμενη συγκέντρωση NaCl 1,5, 2, 3 %, και μετά από 5 ώρες επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε απομάκρυνση του COD κατά 25, 40,9 και 53 %, αντίστοιχα.

- Σε άλλο πείραμα, με τάση 18 V και συγκέντρωση NaCl 3 %, και μετά από 5 ώρες ηλεκτρόλυσης το DOC μειώθηκε κατά 55,7 %, το χρώμα κατά 90.6 % και η θολότητα κατά 99 %, αντίστοιχα.
 - Το επεξεργασμένο απόβλητο δεν παρουσιάζει μείωση στην τοξικότητά του μετά από πειράματα πρότυπων βιοδοκιμών με *Daphnia Magna* και *Artemia Salina*.
2. Στην εργασία (39), ερευνήθηκε η επίδραση της ηλεκτροκροκίδωσης (EC) στην μεταβολή χαρακτηριστικών παραμέτρων του αποβλήτου. Σαν υλικό ηλεκτρόδιων στο ηλεκτρολυτικό κελί χρησιμοποιήθηκαν τόσο σίδηρος όσο και αλουμίνιο. Η τάση ρεύματος στον αντιδραστήρα ήταν 12 Volts, η επιφανειακή ένταση μεταξύ 10 και 40 mA/cm² και το pH μεταξύ 2 και 9 για περιόδους εκτέλεσης των πειραμάτων μεταξύ 2 και 30 λεπτά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι:
- Για 30 min επεξεργασίας (pH 6.2, 20 mA/cm²), η απομάκρυνση του COD ήταν 52% για την άνοδο του αλουμινίου και 42% για την άνοδο του σιδήρου.
 - Και για τα δύο ηλεκτρόδια η ιδανική τιμή για το pH είναι 6, αλλά με το αλουμίνιο να είναι πιο κατάλληλο υλικό για το ηλεκτρόδιο. Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του ρεύματος.
 - Σε βασικό διάλυμα η άνοδος από σίδηρο έχει τα καλύτερα χαρακτηριστικά ενώ σε ουδέτερα και όξινα η άνοδος από αλουμίνιο.
 - Όσο μεγαλύτερος ο χρόνος επεξεργασίας τόσο μεγαλύτερη είναι η απομάκρυνση του χρώματος, αλλά μετά από 10 min επεξεργασίας η απομάκρυνση και για τα δύο υλικά της ανόδου φτάνει το 96%.
 - Με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας του αποβλήτου η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (SS) αυξάνει μονοτονικά.

Σαφώς υπάρχουν και άλλες πολλές ερευνητικές εργασίες για την συγκεκριμένη μέθοδο. Όμως από τις παραπάνω ερευνητικές εργασίες συμπεραίνει κανείς την αποτελεσματικότητα, την ευρεία εφαρμογή και την ευελιξία της μεθόδου στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Επίσης φαίνεται ο σημαντικός ρόλος για καλύτερα αποτελέσματα που επηρεάζουν οι εξής παράμετροι:

- υλικό της ανόδου.
- παρουσία ιόντων χλωρίου.
- τάση και ένταση.
- pH .
- χρόνος λειτουργίας.

Η ανάγκη όμως για περισσότερη έρευνα για την κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την οξείδωση των συστατικών των αποβλήτων σε διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας, αλλά και την βελτίωση των αποτελεσμάτων, είναι επιτακτική.

2.8 Επεξεργασία των Στραγγισμάτων

Για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων του Πυρηνολιουργείου (στραγγισμάτων) δεν υπάρχει κάποια εφαρμογή συγκεκριμένης τεχνολογίας. Η μόνη μελέτη που έγινε ήταν αυτή που αναφέρεται στην παράγραφο 2.7.8, η οποία είναι σε εργαστηριακή κλίμακα. Επομένως ως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων στα ελαιουργεία, μπορούν θεωρηθούν συναφείς με τα

αντίστοιχα υγρά απόβλητα του Πυρηνελαιουργείου. Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει την εφαρμογή κάποιων τεχνολογιών επεξεργασίας και τα αντίστοιχα αποτελέσματα τους.

Πίνακας 7: Τεχνολογίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων στα ελαιουργεία.

Τύπος Επεξεργασίας	Αποτελέσματα	Παρατηρήσεις
Φυσικοχημική επεξεργασία	Μείωση COD 30-50% Απομάκρυνση COD 80-95% μετά από το συνδυασμό φυσικοχημικών τεχνολογιών	Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν τη φυγόκεντρηση, συσσωμάτωση, κροκίδωση προσρόφηση, διήθηση(40).
Αναερόβια χώνευση	Αφαίρεση COD 60-80% για HRTs (2-5 ημέρες). Αφαίρεση COD μέχρι 90% με μακροχρόνιο HRTs (25 ημέρες) ή με επιλεγμένα μέσα υποστήριξης	Ρύθμιση αλακαλικότητας διαλύσεων και προσθήκες θρεπτικών ουσιών που απαιτούνται (41)
Αναερόβια χώνευση μετά από φυσικοχημική προεπεξεργασία	50-70% αύξηση της μείωσης του BOD, με τη μέγιστη αφαίρεση στο 95% Μείωση των φαινολών πάνω από 90%	Οι τεχνολογίες προγενέστερης επεξεργασίας χρησιμοποίησαν διήθηση, κροκίδωση, προσρόφηση, οξόνωση (42).
Αερόβια επεξεργασία	Μείωση COD 58-74% ανάλογα με OLR και HRT 81-84% για μακρύτερο HRTs	Οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν την ενεργή λάσπη και τους τεχνητούς υγροβιότοπους(43)
Οξείδωση και προηγμένες διαδικασίες οξείδωσης (AOPs)	Αφαίρεση COD 40-60% υπό τους κανονικούς όρους οξείδωσης, 70-99% κάτω από την υπερβολική συγκέντρωση οξειδωτικών, εξαιρετικά κρίσιμοι όροι ή μετά από την προεπεξεργασία	Οι διαδικασίες περιλαμβάνουν O_3/H_2O_2 , υγρή οξείδωση αέρα, οξείδωση Fenton, ηλεκτροχημική οξείδωση(44),(45).

Κεφάλαιο 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Περιγραφή Δειγματοληψιών

Οι εργαστηριακές αναλύσεις των στραγγισμάτων που έγιναν λαμβάνονταν από το «φρεάτιο συλλογής των στραγγισμάτων» (Εικόνα 14) του Πυρηνελαιουργείου της Εταιρείας ΑΒΕΑ (Μουρνιές Χανίων), που εξυπηρετεί την συλλογή και την μετέπειτα διάθεση των παραγόμενων στραγγισμάτων του Πυρηνελαιουργείου στην λίμνη εξάτμισης (Εικόνα 15). Ο τόπος και η χρονική στιγμή των δειγματοληψιών φαίνονται στον Πίνακα 8. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της παρούσας εργασίας, έλαβαν χώρο στο «Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος» & « Τεχνικής Χημικών Διεργασιών & Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων», και περιλάμβαναν αναλυτικές μεθόδους για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων και προηγμένες διαδικασίες οξείδωσης (ΑΟΡs), όπως ηλεκτροχημική οξείδωση.

Πίνακας 8:Χρονοδιάγραμμα Δειγματοληψιών από το Πυρηνελαιουργείο

Ημερομηνία Δειγματοληψίας	Ποσότητα	Τόπος Δειγματοληψίας
07/12/07	100 L	Φρεάτιο συλλογής στραγγισμάτων
21/03/08	100 L	Φρεάτιο συλλογής στραγγισμάτων



Εικόνα 14: Φρεάτιο Συλλογής Στραγγισμάτων.



Εικόνα 15: Λίμνη Εξάτμισης των υγρών αποβλήτων του πυρηνελαιουργείου.

Οι δειγματοληψίες από τα συστήματα του τεχνητού υγροβιότοπου και της ηλεκτροχημικής οξείδωσης γίνονται όπως αναφέρονται στην παράγραφο 3.2.4 & 3.2.6 αντίστοιχα. Συνοπτικά μπορεί να αναφερθεί ότι από το σύστημα του τεχνητού υγροβιότοπου λαμβάνονται 4 (τέσσερα) δείγματα ανά 3 (τρεις) μέρες, προς ανάλυση και από το σύστημα της ηλεκτροχημικής οξείδωσης 7 (εφτά) δείγματα από κάθε δοκιμή.

3.2 Πειραματική Διαδικασία

Με την παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων ενός πυρηνελαιουργείου, με τον συνδυασμό ενός συστήματος ηλεκτροχημικής οξείδωσης και ενός συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου σε κλίμακα μιας μικρής πιλοτικής μονάδας. Η μελέτη απόδοσης του συνδυασμού αυτού, αποτελεί επίσης κύριο μέρος της παρούσας εργασίας. Ο τεχνητός υγροβιότοπος είναι ένας υγροβιότοπος κάθετης ροής, όπου κατασκευάστηκε στο χώρο του Πολυτεχνείου Κρήτης δίπλα από τον βιολογικό καθαρισμό του. Το σύστημα της ηλεκτροχημικής οξείδωσης στεγάζεται στο εργαστήριο « Τεχνικής Χημικών Διεργασιών & Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων» του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης.

3.2.1 Πειραματική Διάταξη Τεχνητού Υγροβιότοπου

Ο τεχνητός υγροβιότοπος αρχικά κατασκευάστηκε έτσι ώστε, να αποτελείται από μία γραμμή SF κάθετης ροής με 2 στάδια (Εικόνα 16). Στην συνέχεια κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μία αλλαγή στο αρχικό σύστημα. Η αλλαγή αυτή έγινε με σκοπό να γίνει έλεγχος της αποδοτικότητας και αναγκαιότητας χρήσης του συστήματος της ηλεκτροχημικής οξείδωσης, ως πρώτο στάδιο επεξεργασίας του υγρού αποβλήτου και την μετέπειτα διάθεση του στον τεχνητό υγροβιότοπο. Καθώς επίσης με αυτή την αλλαγή υπάρχει η δυνατότητα αξιολόγησης ενός εναλλακτικού σεναρίου, το οποίο επιτρέπει τον έλεγχο απόδοσης του ίδιου συνδυασμού διεργασιών με προηγουμένως, αλλά με τη διαφορά ως πρώτο στάδιο να χρησιμοποιείται ο τεχνητός υγροβιότοπος. Επομένως το νέο σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου θα αποτελείται από 2 παράλληλους SF με ένα στάδιο επεξεργασίας έκαστος. Αναλυτικότερα στον τεχνητό υγροβιότοπο ‘‘Α’’ θα διοχετεύεται υγρό απόβλητο, εφόσον έχει υποστεί επεξεργασία από το σύστημα της ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Ενώ αντίθετα στον δεύτερο SF ‘‘Β’’ τροφοδοτείται από μη προεπεξεργασμένο απόβλητο (Εικόνα 17).



Εικόνα 16 : Αρχικό Σύστημα SF (Πρόσοψη και Πλάγια όψη).



Εικόνα 17: Τροποποιημένο Σύστημα SF.

Τα δύο πλαστικά βαρέλια επιλέχθηκαν με κριτήριο το ύψος που αρχικά ήταν 1 μέτρο καθώς από τη βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι τα καλάμια του είδους *Phragmites australis* μπορούν να αναπτύξουν τις ρίζες τους σε βάθος μεγαλύτερο των 60 εκατοστών (9). Τα συγκεκριμένα δύο βαρέλια έχουν κοπεί από το άνω μέρος με αποτέλεσμα το ύψος τους να ανέρχεται στα 80cm και να είναι ανοικτό με διάμετρο ελεύθερης επιφάνειας στα 55cm.

Το αποστραγγιστικό σύστημα είναι το ίδιο και στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους . Αποτελείται από τέσσερις παράλληλους σωλήνες από πλαστικό Ø 32 mm. Στο άνω ημικύκλιο ανοίχτηκαν τρύπες σε τρεις σειρές στο κάθε ένα όπως φαίνεται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18: Σύστημα Αποστράγγισης

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 18 το σύστημα αποστράγγισης δεν εφάπτεται με τον πυθμένα και επίσης δεν καλύπτει όλη την επιφάνεια. Για τον λόγο αυτό στον πυθμένα κάτω από το αποστραγγιστικό σύστημα τοποθετήθηκε ένα στρώμα χαλαζιακής άμμου πάχους 5cm.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της μονάδας είναι η υπερυψωμένη έξοδος και στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους (‘‘Α’’ & ‘‘Β’’) σε σχέση με το επίπεδο που βρίσκεται το σύστημα αποστράγγισης. Αυτό έγινε ώστε να γίνει επεξεργασία του λύματος και κάτω από ανοξικές συνθήκες που ευνοούν την απονιτροποίηση. Το ανώτερο σημείο απέχει από τον πυθμένα του βαρελιού 15cm αλλά αν συνυπολογίσουμε ότι η αποστράγγιση γίνεται από απόσταση 5cm από τον πυθμένα τότε πρακτικά το ύψος λύματος που μπορεί να παραμένει στον τεχνητό υγροβιότοπο είναι 10cm (Εικόνα 19).



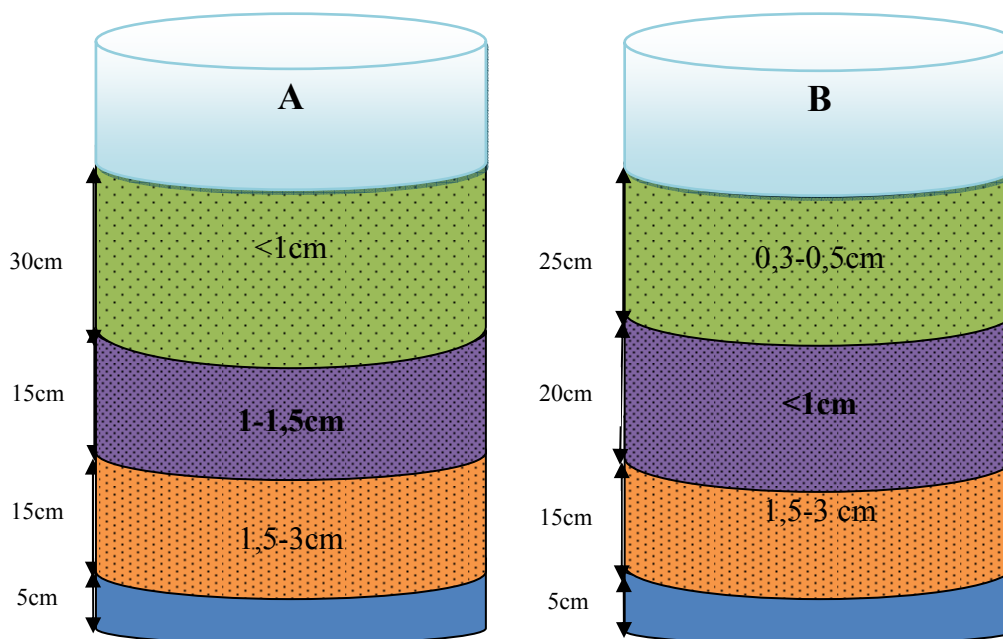
Εικόνα 19: Έξοδος από τον Τεχνητό Υγροβιότοπο ‘‘Β’’.

3.2.2 Πληρωτικά Υλικά

Ως πληρωτικό υλικό επιλέχτηκαν δύο διαφορετικά υλικά, χαλίκι και χαλαζιακή άμμος. Η διαστρωμάτωση του πληρωτικού υλικού στις δεξαμενές είναι παρόμοια και για τους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους. Η μικρή αυτή διαφορά εντοπίζεται στην κοκκομετρία και στο πάχος του κάθε στρώματος και οφείλεται στον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος, το οποίο αναμενόταν να λειτουργήσει σαν ένας τεχνητός υγροβιότοπος κάθετης ροής με δύο στάδια. Όμως στην πορεία έγιναν οι απαραίτητες μετατροπές έτσι ώστε να λειτουργήσει όπως αναφέρεται στην παράγραφο (3.2.1). Αυτή η μικρή διαφοροποίηση δεν θα αποτελέσει πρόβλημα στην μεταξύ σύγκριση αποτελεσμάτων των δύο τεχνητών υγροβιότοπων (Α & Β).

Το χαλίκι που χρησιμοποιήθηκε ως υπόστρωμα αγοράστηκε από μάντρα υλικών για οικοδομές. Αφού έγινε ο διαχωρισμός¹ του χαλίκιού πλύθηκε έτσι ώστε η σκόνη που είχε να μην δημιουργούσε ένα μεγάλο σε πάχος στρώμα λάσπης στον πυθμένα των βαρελιών το οποίο θα μπορούσε να εμποδίσει την έξοδο του λύματος όταν θα ξεκινούσε το πείραμα.

Ακολούθως το υπόστρωμα τοποθετήθηκε στις δεξαμενές των τεχνητών υδροβιότοπων όπως φαίνεται στην Εικόνα 20:



Εικόνα 20: Διαστρωμάτωση Πληρωτικού Υλικού στις Δεξαμενές.

Από την επιφάνεια προς τον πυθμένα, και στους δύο υδροβιότοπους (A & B), μεγαλώνει η διάμετρος των υλικών, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλή φίλτραση από τα στερεά και να διευκολύνεται η διέλευσή του προς το αποστραγγιστικό σύστημα.

3.2.3 Βλάστηση

Το είδος της βλάστησης που επιλέχθηκε στον τεχνητό υδροβιότοπο για την πραγματοποίηση εργαστηριακών πειραμάτων, ήταν τα καλάμια *Phragmites australis*. Το χαρακτηριστικό αυτού του είδους, είναι η ανάπτυξη των ριζών σε μεγάλο βάθος > 60 cm, η μεγάλη αντοχή σε αναερόβιες συνθήκες και η μέτρια αντοχή σε ανθρακικό ασβέστιο(9).

Τα καλάμια αφού κόπηκαν ώστε να έχουν ύψος 15 εκατοστά περίπου μεταφυτεύτηκαν σε κοκκινόχωμα τοποθετημένα το καθένα σε δική του πλαστική σακούλα και παρέμειναν εντός του εργαστηρίου έως ότου να μεταφερθούν στον τεχνητό υδροβιότοπο. Τα καλάμια παρέμειναν στο εργαστήριο για 4 εβδομάδες περίπου όπου γινόταν τροφοδοσία τους με νερό στο οποίο είχε προστεθεί λίπασμα. Εφόσον ανέπτυξαν νέες ρίζες φυτεύτηκαν στον τεχνητό υδροβιότοπο, όπου μεσολάβησε μια περίοδος 3 μηνών με τροφοδοσία στο σύστημα μεγαλύτερες ποσότητες νερού ανά τακτά χρονικά διαστήματα (ανά 2-3 μέρες) και την προσθήκη

¹ Έγινε έλεγχος της κοκκομετρίας των υλικών με σήτες που είχαν διάκενα διαμέτρου 1cm και 1,5cm.

μικρής ποσότητας λιπάσματος. Αυτό γινόταν γιατί έπρεπε να αναπτυχθούν οι ρίζες όσο το δυνατόν περισσότερο πριν την κανονική λειτουργία του συστήματος.



Εικόνα 21: Ανάπτυξη Νέων Ριζών και Καλαμιών

3.2.4 Λειτουργία του Τεχνητού Υγροβιότοπου

Το σύστημα του τεχνητού υγροβιότοπου αποτελείται από δύο τεχνητούς υγροβιότοπους υποεπιφανιακής κάθετης ροής. Η διαφορά μεταξύ των δύο οφείλεται στην διαφορετική τροφοδοσία.

Στον πρώτο τεχνητό υγροβιότοπο (με συμβολισμό “Α”) η τροφοδοσία γινόταν με υγρά απόβλητα τα οποία είχαν επεξεργαστεί αρχικά (σαν πρώτο στάδιο επεξεργασίας) από το σύστημα της ηλεκτροχημικής οξείδωσης. Ενώ στον δεύτερο τεχνητό υγροβιότοπο (με συμβολισμό “Β”) η τροφοδοσία γινόταν με υγρά απόβλητα χωρίς καμία προεπεξεργασία.

Η περίοδος τροφοδοσίας ήταν μία μέρα και η περίοδος ξεκούρασης του συστήματος ήταν 2 μέρες. Την ημέρα της τροφοδοσίας, αυτή γινόταν σε μία δόση μόνο, για τον λόγο του ότι στον “Α” και στον “Β” διοχετεύονταν μικρές ποσότητες υγρών αποβλήτων (0,4- 5 L). Επομένως δεν ήταν απαραίτητο να γίνει σε δύο ή περισσότερες δόσεις.

Σε κάθε τροφοδοσία έγινε προσπάθεια, έτσι ώστε η οργανική φόρτιση στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους να είναι περίπου η ίδια. Η οργανική φόρτιση εκφράζεται σε $\left(\frac{g\ COD}{d \cdot m^2}\right)$. Επειδή και στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους η επιφάνεια είναι η ίδια και η τροφοδοσία γίνεται με τον ίδιο τρόπο, η επίτευξη της επιθυμητής οργανικής φόρτισης γίνεται με την ρύθμιση του εφαρμοζόμενου οργανικού φορτίου. Δηλαδή γίνεται η ανάλογη ανάμιξη υγρού αποβλήτου και νερού (αραίωση) για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα κριτήρια επιλογής της οργανικής φόρτισης και του αντίστοιχου χρησιμοποιούμενου όγκου υγρού αποβλήτου εξαρτώνται από τους εξής περιοριστικούς παράγοντες:

- Η οργανική φόρτιση σε κάθε τεχνητό υγροβιότοπο δεν πρέπει να ξεπερνά το όριο των $37 \left(\frac{g\ COD}{d \cdot m^2}\right)$.
- Επιλογή κατάλληλης οργανικής φόρτισης που να μην απαιτεί μεγάλες ποσότητες υγρού αποβλήτου από το πυρηνελαιουργείο (λόγω δυσκολίας τροφοδοσίας και μεταφοράς από το πυρηνελαιουργείο).
- Σε κάθε τεχνητό υγροβιότοπο η διοχετευόμενη ποσότητα υγρού αποβλήτου να είναι αρκετή, έτσι ώστε να υπάρχει ικανοποιητική έξοδος από τον κάθε ένα. Αυτός ο περιοριστικός παράγοντας έχει άμεση επίδραση από την εξατμισοδιαπνοή που λαμβάνει χώρα στον κάθε υγροβιότοπο αλλά και στην

εκάστοτε ποσότητα που συσσωρεύεται στον πυθμένα λόγω υπερψωμένης εξόδου.

Η δειγματοληψία από τον “Α” και “Β” γινόταν σε 2 σημεία αντίστοιχα :

- Στην είσοδο.
- Στην έξοδο.

Στον πρώτο μήνα λειτουργίας του “Α” και “Β” η οργανική φόρτιση διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα ($\cong 10 \left(\frac{g \text{ COD}}{d \cdot m^2} \right)$) για την αποφυγή καταστροφής της βλάστησης και παράλληλα δημιουργίας του κατάλληλου “βιοφιλμ” από μικροοργανισμούς στο υπόστρωμα. Επίσης σε αυτό το χρονικό διάστημα προσαρμογής οι τεχνητοί υγροβιότοποι έχουν την δυνατότητα να έρθουν σε ισορροπία και να είναι έτοιμοι πλέον για την επεξεργασία του υγρού αποβλήτου και να γίνουν αντιπροσωπευτικές αλλά και συγκρινόμενες μετρήσεις.

Μετά τον πρώτο μήνα η οργανική φόρτιση αρχίζει σταδιακά να αυξάνεται μέχρι να φτάσει στα $\cong 15 \left(\frac{g \text{ COD}}{d \cdot m^2} \right)$, κάτι το οποίο διαρκεί για 6 εβδομάδες περίπου.

Ταυτόχρονα στο ίδιο χρονικό διάστημα έγινε περισυλλογή του δείγματος από την έξοδο του “Β” και στην συνέχεια επεξεργασία αυτού με το σύστημα της ηλεκτροχημικής οξειδωσης , για έλεγχο του δεύτερου σεναρίου. Στην συνέχεια για διάστημα ενός μήνα εφαρμόζεται και πάλι χαμηλή οργανική φόρτιση ($\cong 5 \left(\frac{g \text{ COD}}{d \cdot m^2} \right)$) για εξέταση των αντίστοιχων παραμέτρων πως επηρεάζονται στην αντίστοιχη αλλαγή.

Η έναρξη λειτουργίας της μονάδας ήταν στις 4 Απριλίου 2008 και η τελευταία τροφοδοσία έγινε στις 15 Ιουλίου 2008. Στον Πίνακα 9 φαίνονται αναλυτικότερα οι εκάστοτε περίοδοι λειτουργίας για τον κάθε τεχνητό υγροβιότοπο.

Πίνακας 9: Λειτουργία Τεχνητών Υγροβιότοπων

Διάστημα Λειτουργίας	Μέση τιμή Οργανικής Φόρτισης (g COD/d*m ²)		Παρατηρήσεις
	A	B	
4/4/08-1/5/08	10	10	Διάστημα προσαρμογής και ισορροπίας συστήματος
1/5/08-15/6/08	15	13	Κανονική λειτουργία & έλεγχος 2 ^{ου} σεναρίου
15/6/08-15/7/08	4,5	5	Έλεγχος σε χαμηλές φορτίσεις

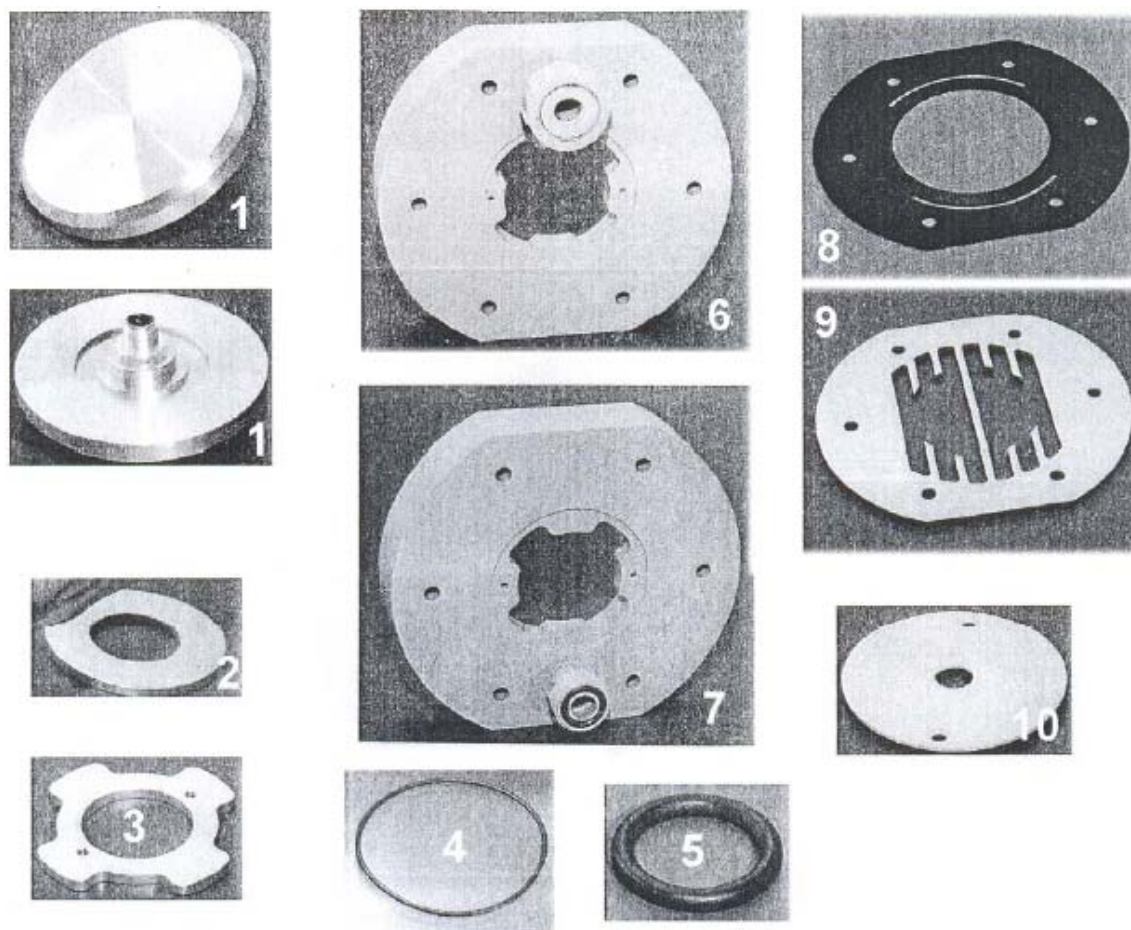
3.2.5 Πειραματική Διάταξη της Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης.

Στο σύστημα της ηλεκτροχημικής οξειδωσης θα χρησιμοποιηθεί το ηλεκτρολυτικό κελί DiaCell 100 της εταιρείας Adamant Technologies(36).

Τα κελιά ηλεκτρόλυσης DiaCell συνίστανται από διάφορα εξαρτήματα έτσι ώστε να αποτελούν μια ευκίνητη, φορητή και συμπαγή μονάδα (Εικόνα 22), τα οποία είναι τα εξής (35):

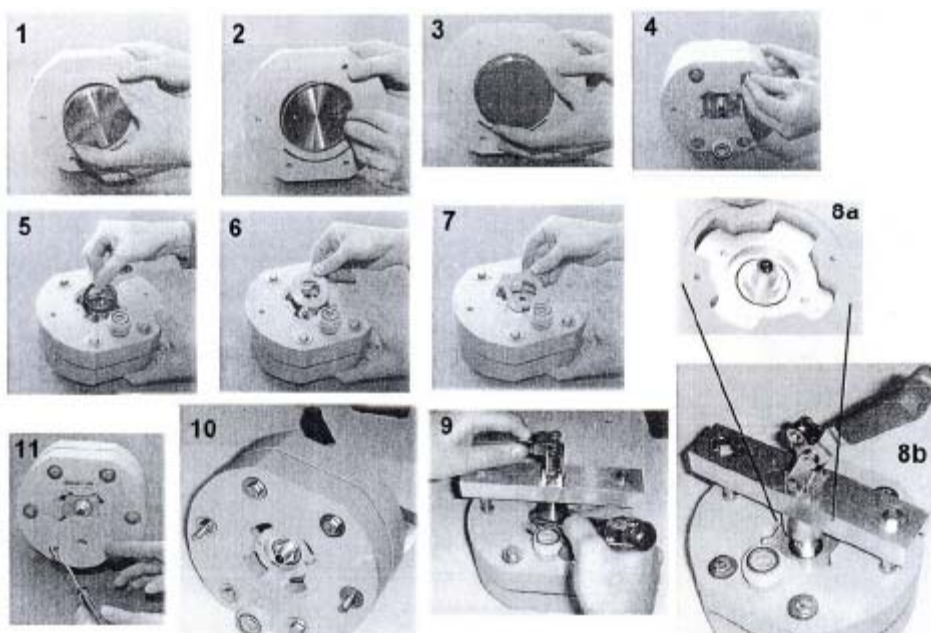
1. Υποστήριγμα ηλεκτροδίου.
2. Ροδέλα 60mm.
3. Σταυρός 78mm.

4. Δακτύλιος στεγανοποίησης 94*3mm.
5. Δακτύλιος στεγανοποίησης 38*7 mm.
6. Συσκευή συγκράτησης ηλεκτροδίου (Είσοδος).
7. Συσκευή συγκράτησης ηλεκτροδίου (Εξοδος).
8. Φλάντζα.
9. Εξάρτημα δημιουργίας διαστήματος 10mm PP.
10. PP 89,9mm κάλυμμα.



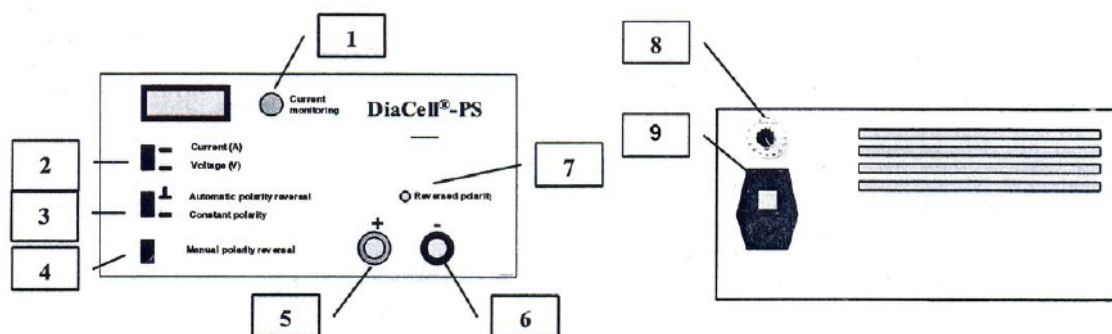
Εικόνα 22: Εξαρτήματα Ηλεκτρολυτικού Κελιού DiaCell (35).

Τα μέρη σε επαφή με το προς επεξεργασία ρευστό είναι από πολυπροπυλένιο (PP) ή ελαστομερές προκειμένου να εγγυηθεί η μακροζωία τους. Ο τρόπος συναρμολόγησης ενός τυπικού κελιού ηλεκτρόλυσης DiaCell παρουσιάζεται στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23: Συναρμολόγηση DiaCell σε 11 βασικά βήματα (37).

Αφού το κελί συνδεθεί υδραυλικά μπορεί στην συνέχεια να συνδεθεί και ηλεκτρικά. Ο θετικός (+) και αρνητικός (-) πόλος της ηλεκτρικής παροχής μπορεί να συνδεθεί και με τους δύο συνδετήρες του DiaCell χωρίς ιδιαίτερη σειρά. Αρκεί τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρόδια να είναι BDD/Si. Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος πρέπει να προσδίδει ένα συνεχές ρεύμα έντασης μικρότερης από 100A και τάσης μεταξύ των ηλεκτρικών συνδέσεων χαμηλότερης από 48V . Οι αντιστροφές της πολικότητας μπορούν να γίνουν οποιαδήποτε στιγμή κατά την διάρκεια της επεξεργασίας χωρίς να πρέπει να σταματήσει η υδραυλική ροή. Το τροφοδοτικό παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (Εικόνα 24) είναι εξοπλισμένο με ενσωματωμένο σύστημα αντίστροφής της πολικότητας, είτε αυτόματης , είτε χειροκίνητης (35).



Εικόνα 24: Τροφοδοτικό Παροχής Ηλεκτρικού Ρεύματος για το DiaCell (35).

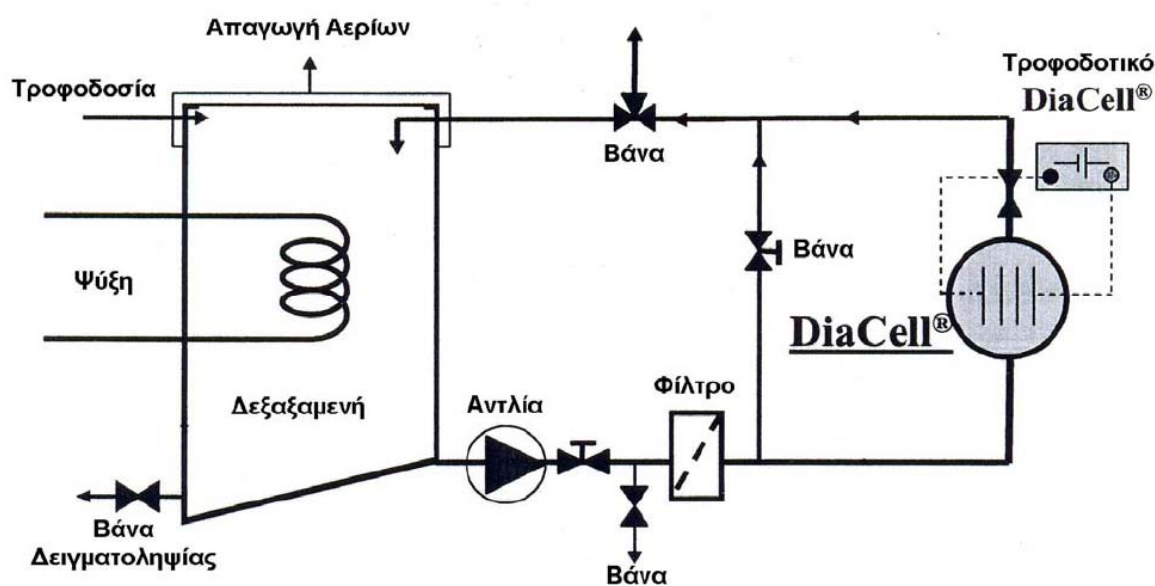
(1.Ρυθμιστής Έντασης ρεύματος, 2. Διακόπτης Ένδειξης έντασης/τάσης ρεύματος , 3. Διακόπτης επιλογής αυτόματης εναλλαγής πολικότητας ή σταθερής πολικότητας, 4. Χειροκίνητη εναλλαγή πολικότητας, 5. Βίσμα καθόδου , 6. Βίσμα ανόδου , 7. Ένδειξη εναλλαγής πολικότητας , 8. Διακόπτης ρύθμισης του χρόνου εναλλαγής πολικότητας , 9. Κεντρικός διακόπτης ρεύματος).

Ο Πίνακας 10 παρουσιάζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού που παρέχει με ηλεκτρικό ρεύμα το ηλεκτρολυτικό κελί.

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά τροφοδοτικού ηλεκτρικού ρεύματος (35).

DiaCell®-PS	500	1000	1500
Τάση ρεύματος εξόδου	48V		
Ένταση ρεύματος εξόδου	10A	19A	28.5A
Ισχύς εξόδου	480W	912W	1368W
Αποδοτικότητα	86%		
Ένταση/Τάση ρεύματος τροφοδοσίας	3.5A/230V	7A/230V	10.5A/230V
Παράγοντας Ισχύς	0.95/230VAC – 50Hz		
Βάρος	7.1 Kg	9.3 Kg	11.5 Kg
Θερμοκρασία, υγρασία λειτουργίας	-20°C~+85°C, 10%~95% RH		

Το σχέδιο του συστήματος της ηλεκτροχημικής οξείδωσης φαίνεται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25: Σχέδιο συστήματος Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (35).

Σύμφωνα με την Εικόνα 25 κατασκευάστηκε από την “Εργαλειοτεχνική Κρήτης – Εμμανουήλ Μπενιουδάκης Α.Ε.” η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία του αποβλήτου. Αυτή παρουσιάζεται εν λειτουργία στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26: Πειραματική Διάταξη Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.

Τα κύρια στοιχεία της μονάδας επεξεργασίας είναι η δεξαμενή με ενσωματωμένο σύστημα ψύξης, η αντλία τροφοδοσίας, το DiaCell 100 (με το αντίστοιχο τροφοδοτικό) και το φίλτρο.

Η δεξαμενή, η οποία είναι από αδρανή υλικό (προπυλένιο-PP), επιτρέπει να αποθηκεύεται ολόκληρος ο όγκος του ρευστού που επεξεργάζεται (10L) αφού έχει την δυνατότητα επεξεργασίας μέχρι 30L. Επιτρέπει επίσης την εκκένωση των αερίων που παράγονται κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης και περιέχει σύστημα ψύξης ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία του υγρού αποβλήτου κάτω από τους 35 °C . Επιπλέον η δεξαμενή εξοπλίζεται και με σύστημα αποστράγγισης.

Η αντλία που επιλέχθηκε είναι ικανή να ανταπεξέλθει στις απαιτούμενες υδραυλικές παροχές καθώς επίσης και αυτή αποτελείται από αδρανή υλικά. Τέλος σημαντικό εξάρτημα είναι το φίλτρο το οποίο αποτρέπει την εισαγωγή μεγάλων στερεών στοιχείων, που μπορούν να εμποδίσουν τα υδραυλικά κανάλια, στα ηλεκτροχημικά διαμερίσματα του κελιού (46).

3.2.6 Λειτουργία της Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης

Κάθε πειραματική δοκιμή με το σύστημα ηλεκτροχημικής οξειδωσης για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, θεωρείται στο μερικό και γενικό ισοζύγιο μάζας σαν μία διεργασία Batch αντιδραστήρα. Ενώ στο μερικό και ειδικό ισοζύγιο μάζας θεωρείται σαν ένα CSTR αντιδραστήρα γιατί στην μονάδα γίνεται επανακυκλοφορία του υγρού αποβλήτου.

Τα βήματα που ακολουθούμε για την έναρξη της διεργασίας είναι τα εξής:

- Τοποθέτηση του λύματος (10L) στην δεξαμενή.
- Έναρξη αντλίας επανακυκλοφορίας του λύματος.
- Έναρξη της ροής του νερού ψύξης.
- Άνοιγμα του τροφοδοτικού και σταδιακή αύξηση της τάσης.

Κατά την διάρκεια της λειτουργίας της μονάδας πρέπει να παρακολουθούνται τα πιο κάτω:

- Η Θερμοκρασία, έτσι ώστε να μην ξεπερνάει τους 35°C
- Η παροχή επανακυκλοφορίας, ώστε να παραμένει σταθερή.
- Την ένταση του ρεύματος, ώστε να είναι στην επιθυμητή τιμή (20A)
- Μείωση του στρώματος αφρού στην δεξαμενή.

Η μέτρηση του COD και του χόματος (TCU) του αποβλήτου ανά τακτά χρονικά διαστήματα (30 ή 60min) επιτρέπει την παρακολούθηση της εξέλιξης του οργανικού φορτίου του διαλύματος που οξειδώνεται καθώς επίσης και την πορεία αποχρωματισμού του.

Καθ'όλη την διάρκεια της πειραματικής δραστηριότητας της παρούσας εργασίας εκτελέστηκαν έξι πειραματικές δοκιμές με το σύστημα της ηλεκτροχημικής οξειδωσης. Οι πέντε πρώτες είχαν σκοπό την τροφοδοσία του τεχνητού υγροβιότοπου "Α". Όμως η τελευταία είχε σκοπό τον έλεγχο του 2^{ου} σεναρίου που ορίζει την εναλλαγή της πορείας επεξεργασίας του υγρού αποβλήτου και χρήση σαν πρώτο στάδιο επεξεργασίας τον τεχνητό υγροβιότοπο κάθετης ροής.

Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει χρονικά τις εκάστοτε πειραματικές δοκιμές της ηλεκτροχημικής οξειδωσης.

Πίνακας 11: Πειράματα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης.

Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξειδωσης	Ημερομηνία	Σχόλια- Παρατηρήσεις
1 ^ο	28/3/08	10L για 6hr χωρίς προσθήκη Na ₂ SO ₄
2 ^ο	18/4/08	10L για 6hr χωρίς προσθήκη Na ₂ SO ₄
3 ^ο	21/5/08	10L για 6hr χωρίς προσθήκη Na ₂ SO ₄
4 ^ο	9/6/08	10L για 6hr χωρίς προσθήκη Na ₂ SO ₄
5 ^ο	10/6/08	10L για 6hr χωρίς προσθήκη Na ₂ SO ₄
6 ^ο	19/6/08	10L για 6hr χωρίς προσθήκη Na ₂ SO ₄

3.3 Αναλυτικές Μέθοδοι

Οι παράμετροι που προσδιορίζονται κατά την διαδικασία χαρακτηρισμού των δειγμάτων είναι:

- COD
- DOC-TOC
- TSS
- TP
- TN
- pH
- Χρώμα
- Τοξικότητα
- Αγωγιμότητα

3.3.1 COD

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand-COD) είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση, σε έντονα οξειδωτικό περιβάλλον της οργανικής ύλης στο δείγμα (47) . Για την μέτρηση του COD στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα αντιδραστήρια της εταιρίας Merck με μία μέθοδο η οποία βασίζεται στην μέθοδο 5220 D (Closed Reflux, Colorimetric Method) από το Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 1992):

- 14541.0001 για COD 25 – 1500 ppm
- 14555.0001 για COD 500 – 10 000 ppm

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην χημική οξείδωση του υδατικού διαλύματος σε ειδικά φιαλίδια που περιέχουν τα απαραίτητα αντιδραστήρια και διχρωμικό κάλιο (K₂Cr₂O₇). Ακολούθως γίνεται χώνευση του αντιδραστήριου με 3ml αδιάθητου δείγματος για το πρώτο αντιδραστήριο ή 1ml αδιάθητου δείγματος για το δεύτερο αντιδραστήριο, για 2 ώρες στους 148°C στο θερμοαντιδραστήρα. Στην συνέχεια μετά την χώνευση, το δείγμα αφού κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου για περίπου 40 λεπτά γίνεται η μέτρηση της απορρόφησης, σε φασματοφωτόμετρο ορατού-υπεριώδους στα 593nm και για τα δύο αντιδραστήρια. Ο τελικός υπολογισμός του COD γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα

διαλύματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II (Διάγραμμα 17 & Διάγραμμα 18). Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της απορρόφησης ήταν το UV – 1202 Spectrophotometer της εταιρείας SHIMADZU.



Εικόνα 27: Θερμοαντιδραστήρας χώνευσης.

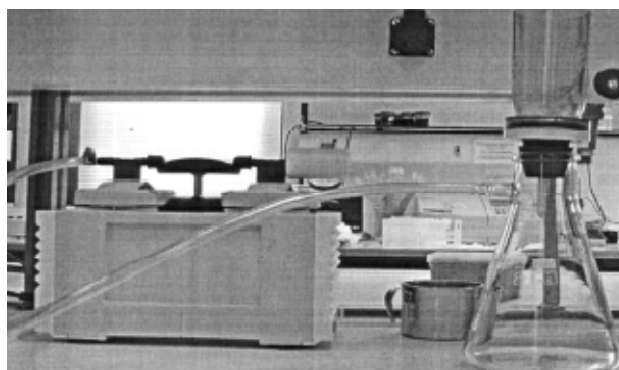
3.3.2 DOC - TOC

Για τη μέτρηση του διαλυτού οργανικού άνθρακα (DOC), το επεξεργασμένο δείγμα αρχικά περνούσε από φίλτρα της εταιρείας Gelman τύπου A/E με μέγεθος πόρων 0,45 μm και η μέτρηση γινόταν στο διηθημένο δείγμα. Η μέτρηση του DOC έγινε σε δύο γενικά πειράματα, όπου επικρατούσαν ικανοποιητικές συνθήκες από πλευράς απόδοσης του συστήματος.

Η αραίωση των δειγμάτων γινόταν ανάλογα με την περιοχή όπου αναμενόταν η συγκέντρωση του δείγματος για να μπορεί να γίνει η ανάλυσή του από το όργανο μέτρησης (1:10 ή χωρίς αραίωση). Η μέτρηση του DOC ως TOC έγινε στον αναλυτή οργανικού άνθρακα, TOC Analyzer της εταιρείας SHIMADZU μοντέλο 5000A, και στη συνέχεια υπολογιζόταν το TOC από τη διαφορά του ολικού άνθρακα (TC) και του ανόργανου άνθρακα (IC). Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από τον αναλυτή για τη μέτρηση βασίζεται στην μέθοδο 5310 από το Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 1922), καταλυτική οξείδωση στους 680°C με καταλύτη σφαιρίδια αλουμίνης επικαλυμμένα με πλατίνα.

3.3.3 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)

Ο προσδιορισμός γίνεται με διήθηση υπό κενό συγκεκριμένου όγκου σε υαλόφιλτρα 1 μm που έχουν ζυγιστεί πριν την διαδικασία. Μετά τα φίλτρα τοποθετούνται στο φούρνο για ξήρανση στους 105°C. Ακολουθεί νέα ζύγιση του φίλτρου και από τη διάφορα του βάρους και με την διαίρεσή της με τον όγκο του δείγματος υπολογίζεται η συγκέντρωση.



Εικόνα 28: Συσκευή διήθησης υπό κενό.

3.3.4 Ολικός Φωσφόρος (TP)

Για την μέτρηση του ολικού φωσφόρου η οποία , είναι βασισμένη στην μέθοδο 4500-P E (Ascorbic Acid Method) από το Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 1992) ακολουθούνται δύο στάδια:

1) Διαδικασία Χώνευσης

Σε ποτήρι ζέσεως τοποθετούνται 50ml δείγματος, 1ml H_2SO_4 , 5ml HNO_3 και αφήνεται σε χαμηλή θερμοκρασία έτσι ώστε να έχουμε ήπιο βρασμό, με το δείγμα να εξατμίζεται σιγά-σιγά μέχρι να μείνει στο ποτήρι ζέσεως περίπου 1ml. Όταν κρυώσει προσθέτονται σε αυτό 20ml νερό και 1 σταγόνα δείκτη φαινολοφθαλείνης (Φ.Φ). Στη συνέχεια προστίθεται μια-μια σταγόνα NaOH για να εξουδετερωθεί και να πάρει το διάλυμα ελαφρώς ροζ χρώμα. Όταν φτάσει στο σημείο αυτό διηθούμε το διάλυμα με φίλτρο μεμβράνης 0,45μm. Το διήθημα τοποθετείται σε ογκομετρική φιάλη των 100ml και συμπληρώνεται με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή των 100ml.



Εικόνα 29: Διαδικασία χώνευσης.

2) Μέτρηση ολικού φωσφόρου

Για τη μέτρηση του φωσφόρου είναι αναγκαία η παρασκευή ενός σύνθετου διαλύματος το οποίο φτιάχνεται με αναλογία:

- 50ml 5N H_2SO_4 .
- 5ml potassium antimonyl tart rate.
- 15ml από το διάλυμα ammonium molybdate (40g $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ σε 1L νερού).
- 30ml από το διάλυμα ascorbic acid² (1,76gr ascorbic σε 100ml νερό).

² Φτιάχνεται κάθε που χρησιμοποιείται.

Από το διάλυμα της ογκομετρικής φιάλης των 100ml, τα 50ml τοποθετούνται σε ποτήρι ζέσεως και προστίθενται σε αυτό μία σταγόνα Φ.Φ. Αν το διάλυμα πάρει κόκκινο-ροζ χρώμα μπαίνει H_2SO_4 μέχρι αποχρωματισμού του. Όταν έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα τότε γίνεται προσθήκη 8ml σύνθετου διαλύματος φωσφόρου. Παρατηρείται μετά από 10- 30min maximum ένα μπλε χρώμα, το οποίο δημιουργείται λόγω του μολυβδαινίου που περιέχεται στο σύνθετο διάλυμα και δημιουργεί σύμπλοκα με τα φωσφορικά ιόντα. Η μέτρηση της απορρόφησης γίνεται με μικρές κυψελίδες σε φασφατοφωτόμετρο ορατού-υπεριώδους στα 880nm. Ο τελικός υπολογισμός του ολικού φωσφόρου γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα διαλύματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II (Διάγραμμα 20).

3.3.5 Ολικό Άζωτο (TN)

Για την μέτρηση του ολικού αζώτου η οποία , είναι βασισμένη στην μέθοδο 4500- N_{org} από το Standard Methods (APHA, AWWA, WEF, 1992) χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα αντιδραστήρια της εταιρίας Merck 1.14763.0001 για εύρος τιμών από 10 –150 ppm. Για τη μέτρηση ολικού αζώτου είναι απαραίτητη η χώνευση πριν την οποιαδήποτε μέτρηση του. Για την χώνευση απαιτούνται 1ml δείγματος και 9ml απιονισμένου νερού. Ακολουθεί η χώνευση για 1 ώρα στους 120°C σε θερμοαντιδραστήρα. Έπειτα 1ml του χωνευμένου δείγματος και 1ml έτοιμου διαλύματος N-3K μπαίνουν στο έτοιμο αντιδραστήριο. Ο χρόνος αναμονής είναι 10min μέχρι να πάρει το σωστό χρώμα. Ο προσδιορισμός γίνεται με φασφατοφωτόμετρο ορατού-υπεριώδους στα 338 nm. Ο τελικός υπολογισμός του ολικού αζώτου γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα διαλύματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II (Διάγραμμα 21).

3.3.6 pH

Το pH ορίζεται ως η αρνητική λογαριθμική συγκέντρωση των ιόντων υδρογόνου που περιέχει ένα διάλυμα. Η κλίμακα μέτρησης του pH αναφέρεται στους 25°C και μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε pH=7. Δείγματα με τιμές pH μικρότερες από 7 καλούνται όξινα και με τιμές μεγαλύτερες από 7 αλκαλικά. Η μέτρηση του pH γίνεται χρησιμοποιώντας πεχάμετρο της εταιρείας Crison, μοντέλο 2002, με ηλεκτρόδια υάλου. Η βαθμονόμηση του πεχαμέτρου γίνεται με δύο ρυθμιστικά διαλύματα στο pH 4 και στο pH 7.

3.3.7 Χρώμα

Η μονάδα μέτρησης του χρώματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η TCU (True Color Unit), η οποία έχει την αντιστοιχία:

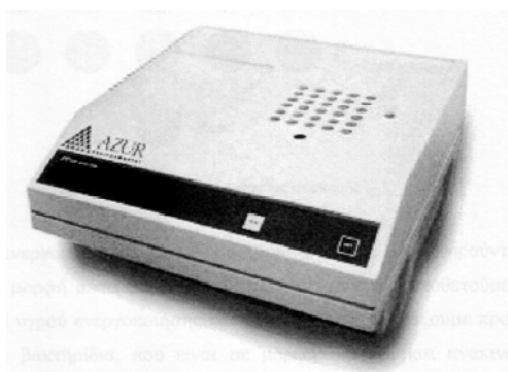
$$1 \text{ TCU} = 1 \text{ mgPt/l}$$

Η μέτρηση του χρώματος είναι μια φασματοφωτομετρική μέθοδος που βασίζεται σε μία δημοσίευση (48). Γίνεται διήθηση με φίλτρα 0,45μm και το διήθημα μετρείται κυψελίδες των 5cm του φασφατοφωτόμετρου στα 410 nm. Ο τελικός υπολογισμός του χρώματος γίνεται μέσω των ευθειών βαθμονόμησης που προκύπτουν μετρώντας πρότυπα διαλύματα. Οι απορροφήσεις των πρότυπων διαλυμάτων καθώς και οι

καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε εύρος συγκεντρώσεων παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II (Διάγραμμα 19).

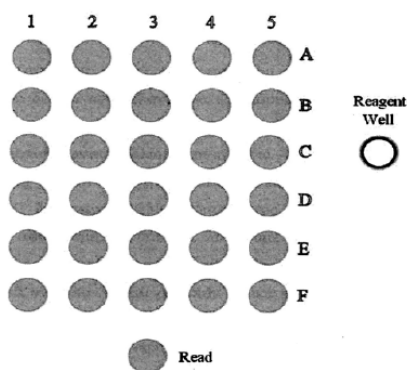
3.3.8 Τοξικότητα

Για την εκτίμηση της οξείας τοξικότητας τόσο των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ενός πυρηνολογείου, όσο και των επεξεργασμένων αποβλήτων με συστήματα της ηλεκτροχημικής οξείδωσης και του τεχνητού υδροβιότοπου. Η μέτρηση της τοξικότητας στα δείγματα έγινε με Microtox Test. Σε αυτό το τεστ τοξικότητας χρησιμοποιήθηκαν τα βακτηρίδια *Photobacterium phosphoreum* ή *Vibrio fischeri* με χαρακτηριστικό γνώρισμα τους τον φωσφορισμό. Πραγματοποιήθηκαν τα Basic και Basic 81,9% test του Microtox, στη συσκευή Model 500 Analyzer(1998) της εταιρίας AZUR Environmental. Η συσκευή αυτή μετράει την ακτινοβολία ορισμένου μήκους κύματος που προσπίπτει πάνω στους μ/ο του δείγματος πριν και μετά την εισαγωγή του στα φιαλίδια όπου είναι εγκλιματισμένοι οι μ/ο. Με την εφαρμογή κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων από τον υπολογιστή της συσκευής υπολογίζεται το EC₅₀ (Effective Concentration), όπου η φωτοδιάνυγεια από τους μ/ο έχει μειωθεί στο 50%.



Εικόνα 30: Συσκευή Model 500 Analyzer(1998) της εταιρίας AZUR Environmental.

Η συσκευή περιέχει υποδοχές των φιαλιδίων μέσα στα οποία μεταφέρονται οι μικροοργανισμοί και τα δείγματα, μια υποδοχή είναι αυτή στην οποία γίνεται η ενεργοποίηση των μικροοργανισμών με την προσθήκη 1ml υγρού ενεργοποίησης, καθώς και μια υποδοχή η οποία μετράει την απορρόφηση της ακτινοβολίας.



Εικόνα 31:Επιφάνεια εργασίας της συσκευής.

Σε μια πρώτη φάση γίνεται ενεργοποίηση των βακτηριδίων που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια όλης της διαδικασίας μέτρησης. Το βακτηρίδιο που χρησιμοποιείται είναι *Vibrio Fischeri*, το οποίο απαντάται να ζει κυρίως σε θαλασσινό περιβάλλον. Τα βακτηρίδια αυτά διατηρούνται στην κατάψυξη. Σε ένα άδειο φιαλίδιο τοποθετείται 1ml υγρού ενεργοποίησης και στη συνέχεια προστίθενται με μεγάλη προσοχή τα ανενεργά βακτηρίδια, που είναι σε μορφή σκόνης και αναδεύονται καλά. Τα βακτηρίδια από τη στιγμή ενεργοποίησης τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως και τρεις ώρες. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των δυο test που πραγματοποιήθηκαν:

1. Basic Test

Το Basic Test είναι το πιο απλό τεστ που περιέχει το Microtox και χρησιμοποιείται για δείγματα που δεν είναι πολύ τοξικά. Το δείγμα εξετάζεται σε συγκεντρώσεις 0%, 5,626%, 11,25%, 22,50% και 45%. Ξεκινάει το τεστ τοποθετώντας φιαλίδια στις κατάλληλες υποδοχές που υποδεικνύονται από τα βήματα που ορίζει το τεστ, δηλαδή στις υποδοχές A1-A5 και B1-B5. Στα B1-B5 τοποθετείται 0,5ml diluent και 1ml στα A1-A4. Στο A5 τοποθετούνται 2,5ml δείγματος, 0,250ml ρυθμιστικό διάλυμα οσμωτικής πίεσης και στο τέλος 0,750ml πετιούνται και να απομείνουν 2ml στο φιαλίδιο. Από αυτό το φιαλίδιο μεταφέρεται 1ml του μίγματος στην υποδοχή A4. Η διαδικασία αυτή γίνεται και στα A3 και A2, τελικά πετιέται 1ml από το τελευταίο. Το A1 λειτουργεί σαν τυφλό (συγκέντρωση μηδέν). Άρα σε όλα τα φιαλίδια A δηλ. A1-A5 υπάρχει 1ml. Η επόμενη εντολή που εκτελείται είναι η αναμονή για 5min και ακολουθεί η προσθήκη 0,010ml διαλύματος βακτηριδίων στα φιαλίδια B1-B5 από την υποδοχή ενεργοποίησης και μετρίεται η αρχική τους απορρόφηση. Και τελικώς γίνεται μεταφορά 0,5ml από τα φιαλίδια με το δείγμα A1-A5 στα B1-B5 και μετρίεται η απορρόφηση για διαστήματα 5 και 15min.

2. Basic 81,9% Test

Το Basic 81,9% Test είναι παρόμοιο με το Basic Test. Σε αυτό το τεστ γίνονται περισσότερες αραιώσεις και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του EC_{50} αποβλήτων που είναι ιδιαίτερα τοξικά. Το δείγμα εξετάζεται σε συγκεντρώσεις 0%, 0,3199%, 0,6398%, 1,280%, 2,559%, 5,119%, 10,24%, 20,48%, 40,95% και 81,9%. Ξεκινάει το τεστ τοποθετώντας φιαλίδια στις υποδοχές A1-A5, B1-B5, C1-C5, D1-D5 και F3. Στο F3 τοποθετείται 1,5ml diluent και 1ml στα A1-A5 και C1-C4. Στο C5 τοποθετούνται 2,5ml δείγματος, 0,250ml ρυθμιστικό διάλυμα οσμωτικής πίεσης και στο τέλος 0,750ml πετιούνται και να απομείνουν 2ml στο φιαλίδιο. Από αυτό το φιαλίδιο μεταφέρεται 1ml του μίγματος στην υποδοχή C4. Η διαδικασία αυτή γίνεται διαδοχικά στα C3-C1 και A5-A2, τελικά πετιέται 1ml από το τελευταίο. Το A1 λειτουργεί σαν τυφλό (συγκέντρωση μηδέν). Στα A1-A5 και C1-C5 υπάρχει 1ml μίγματος. Η επόμενη εντολή που εκτελείται είναι η αναμονή για 5min και ακολουθεί η προσθήκη 0,150ml διαλύματος βακτηριδίων από την υποδοχή ενεργοποίησης στο φιαλίδιο F3. Στη συνέχεια μεταφέρεται 0,100ml μίγματος βακτηριδίων από το F3 στα φιαλίδια B1-B5 και D1-D5 και μετρίεται η αρχική τους απορρόφηση. Και τελικώς γίνεται μεταφορά 0,9ml από τα φιαλίδια με το δείγμα A1-A5 στα B1-B5 και από τα C1-C5 στα D1-D5 μετρίεται η απορρόφηση για διαστήματα 5 και 15min.

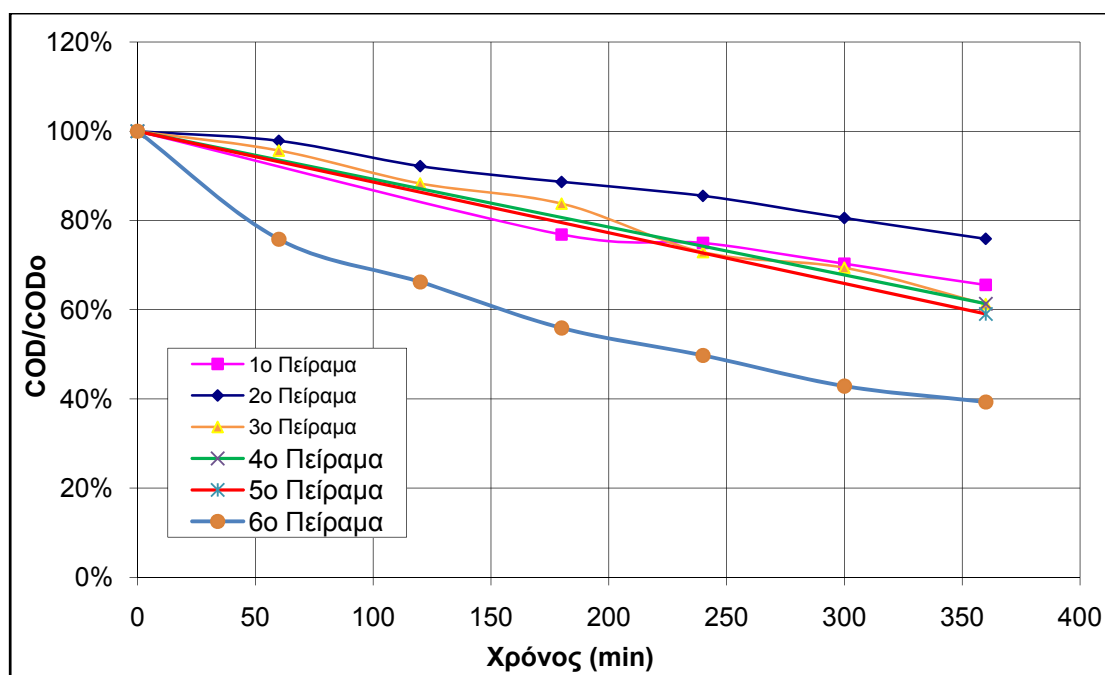
3.3.9 Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα μετριέται από όργανο της εταιρείας Crison, μοντέλο 2202 και τα αποτελέσματα δίνονται σε μονάδες mS/cm.

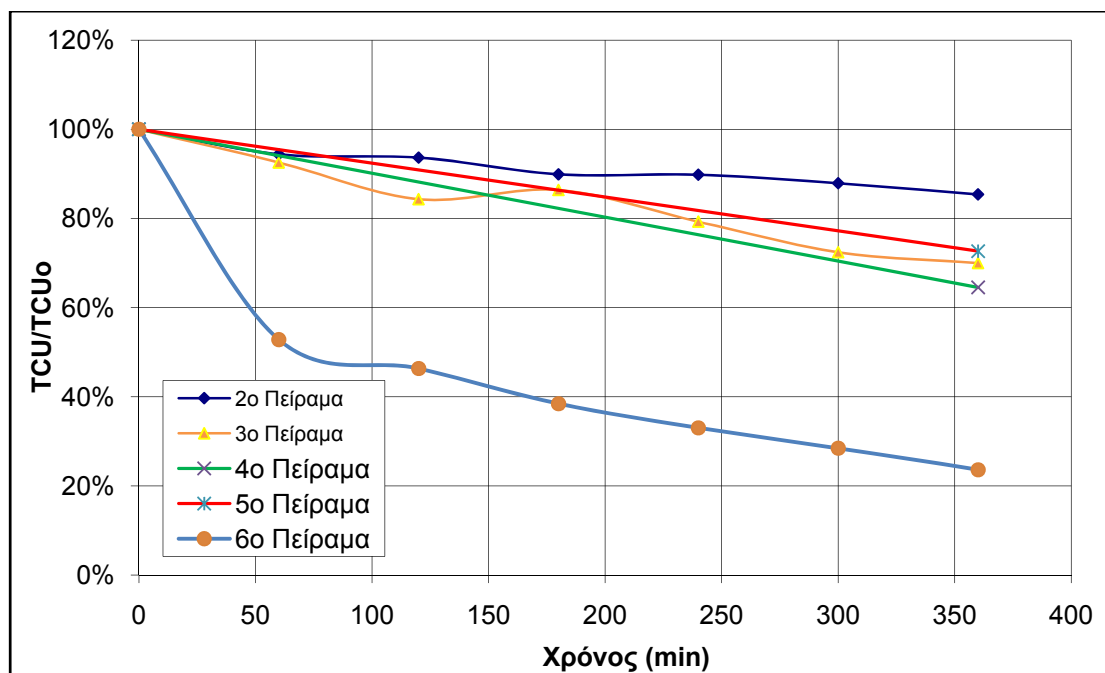
Κεφάλαιο 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αποτελέσματα από την Ηλεκτροχημική Οξείδωση.

Αρχικά γίνεται επεξεργασία των αποτελεσμάτων από τις ηλεκτροχημικές οξειδώσεις, που έγιναν με σκοπό, οι πρώτες 5 να τροφοδοτήσουν τον τεχνητό υγροβιότοπο 'Α' ενώ η έκτη αποτελεί μετέπειτα στάδιο επεξεργασίας, από την έξοδο του Τ.Υ «Β» . Στο Διάγραμμα 2 και Διάγραμμα 3 παρουσιάζονται το απομένον ποσοστό του COD και TCU αντίστοιχα.



Διάγραμμα 2 : Απομένον Ποσοστό COD% Συναρτήσεως του Χρόνου



Διάγραμμα 3 : Απομένων Ποσοστό TCU% Συναρτήσεως του Χρόνου

Συνοπτικά τα αποτελέσματα των 6 δοκιμών ηλεκτροχημικής οξείδωσης παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

Πίνακας 12: Απομακρύνσεις στα 6 πειράματα των Η.Ο.

Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης	Κινητική Σταθερά Μείωσης του COD	Ποσοστό Απομάκρυνσης COD (για 6 hr)	Ποσοστό Αποχρωματισμού TCU (για 6 hr)
1 ^ο	0 ^{ης} τάξης ($k=16,7\text{min}^{-1}$)	34,4%	Δεν έγινε μέτρηση
2 ^ο	0 ^{ης} τάξης ($k=9,5\text{min}^{-1}$)	24,11%	14,60%
3 ^ο	0 ^{ης} τάξης ($k=10,7\text{min}^{-1}$)	38,74%	30,00%
4 ^ο	0 ^{ης} τάξης ($k=6,9\text{min}^{-1}$)	38,65%	35,46%
5 ^ο	0 ^{ης} τάξης ($k=7,1\text{min}^{-1}$)	40,95%	27,33%
6 ^ο	1 ^{ης} τάξης ($k=0,002\text{min}^{-1}$)	60,69%	71,62%

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί το 6^ο πείραμα ηλεκτροχημικής οξείδωσης, όπου το αρχικό υγρό απόβλητο που διοχετεύεται στην μονάδα αυτή, προέρχεται από την έξοδο του τεχνητού υδροβιότοπου «Β» (έλεγχος 2^{ου} σεναρίου). Επίσης στην ίδια δοκιμή παρατηρείται 1^{ης} τάξης μείωση του οργανικού φορτίου και του TCU με τα μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης σε σύγκριση με τις υπόλοιπες 5.

Όσον αφορά για τον αποχρωματισμό του υγρού αποβλήτου μετά το πέρας της 6^{ης} πειραματικής δοκιμής είναι πλέον εμφανές με γυμνό μάτι, όπως φαίνεται στην

Επίσης παρουσιάζεται και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ (Διάγραμμα 32) η κινητική μείωσης του χρώματος.

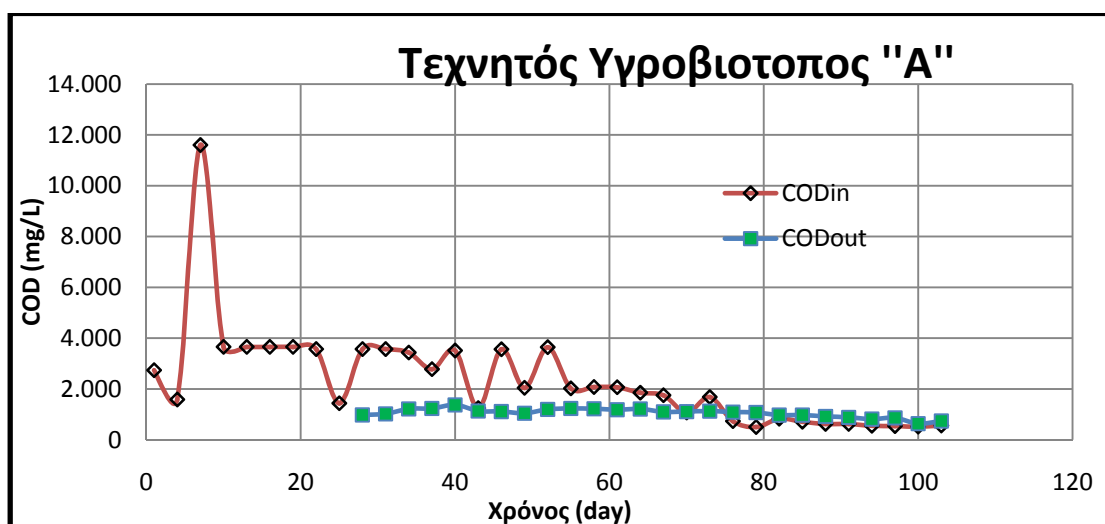


Εικόνα 32: Αποχρωματισμός του αποβλήτου μετά την 6^η πειραματική δοκιμή Η.Ο.

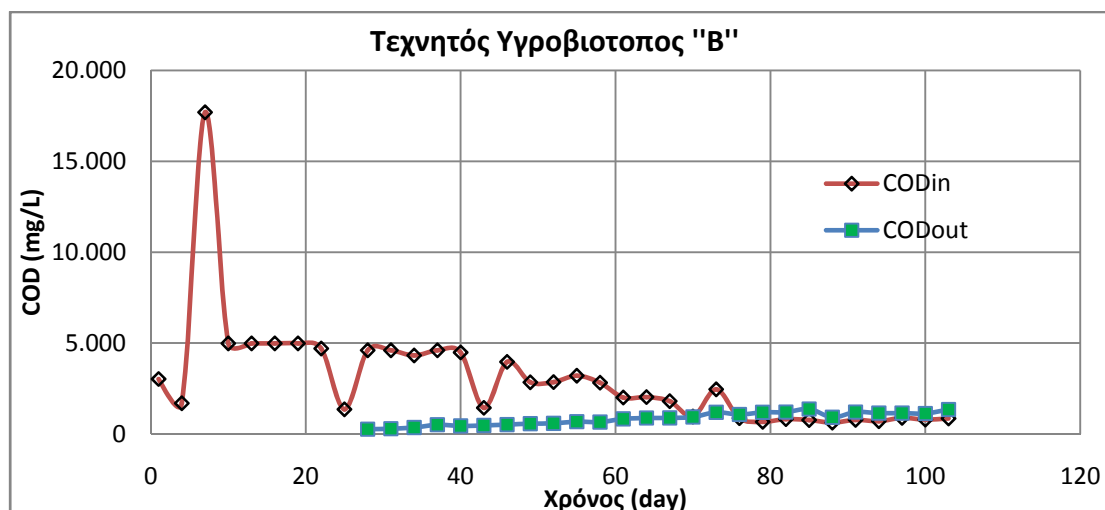
4.2 Αποτελέσματα από τους Τεχνητούς Υγροβιότοπους

- *COD*

Στο Διάγραμμα 4 και Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται το οργανικό φορτίο εκφρασμένο σε μονάδες συγκέντρωσης ανά ημέρα (COD mg/L), στους τεχνητούς υγροβιότοπους «Α» και «Β» στα σημεία εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Σε αυτά τα διαγράμματα φαίνεται ότι κατά την διάρκεια του πειράματος που παρόλο υπάρχουν διακυμάνσεις στην είσοδο, η έξοδος από τον κάθε τεχνητό υγροβιότοπο τείνει να σταθεροποιηθεί.

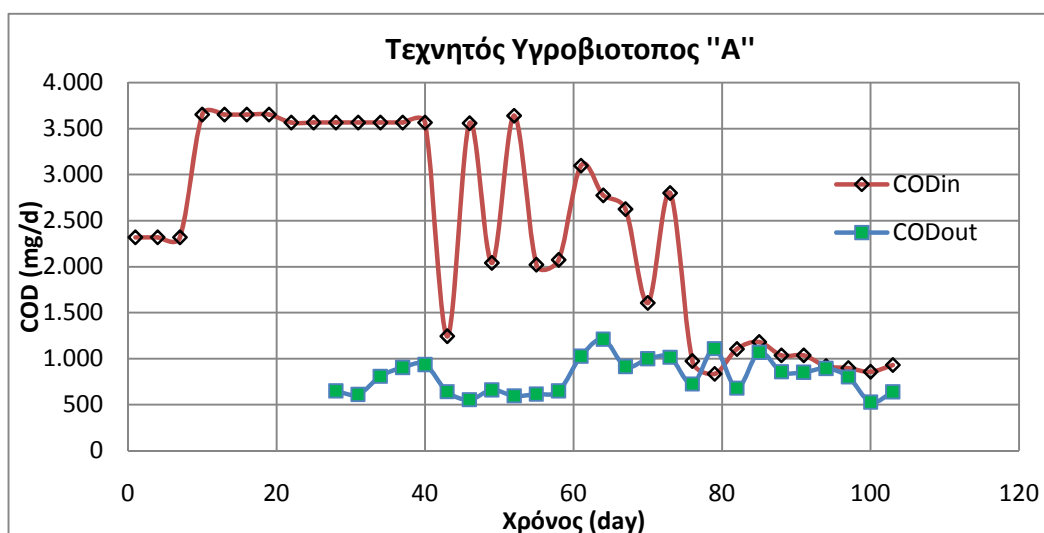


Διάγραμμα 4: Οργανικό φορτίο του COD (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Α».

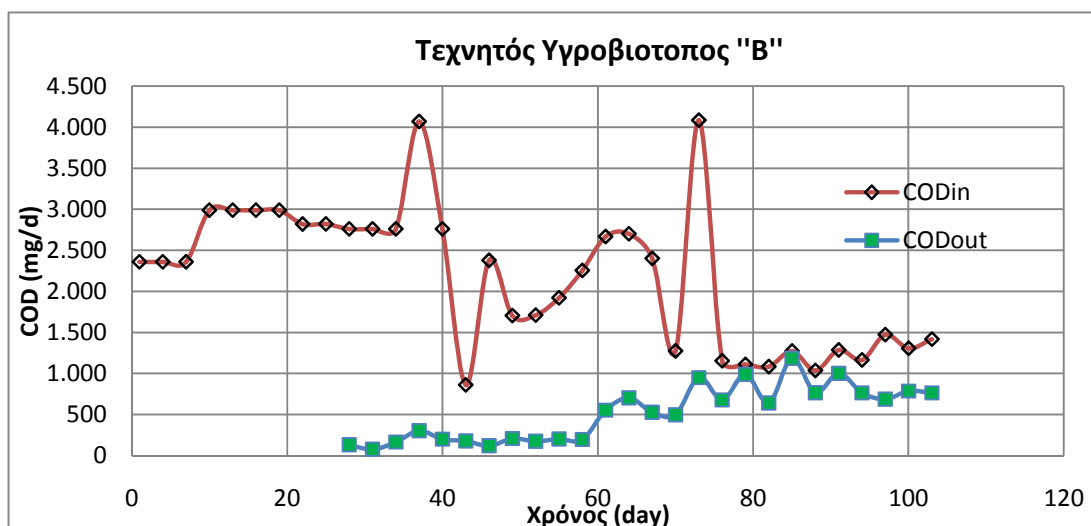


Διάγραμμα 5: Οργανικό Φορτίο του COD (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «B».

Η έκφραση των συγκεντρώσεων COD σε μονάδες μάζας επιτυγχάνεται με την εφαρμογή απλών ισοζυγίων μάζας, σε κάθε τεχνητό υγροβιότοπο ξεχωριστά και για την εκάστοτε τροφοδοσία. Επομένως τα αντίστοιχα διαγράμματα (COD mg/d) παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 6 και Διάγραμμα 7. Από αυτά τα 2 διαγράμματα παρατηρείται ότι, η ενδεχόμενη αύξηση της συγκέντρωσης του COD στην έξοδο από τον κάθε υγροβιότοπο στο Διάγραμμα 4 και Διάγραμμα 5, οφείλεται στην εξατμισοδιαπνοή που λαμβάνει χώρα στους δύο Τ.Υ.

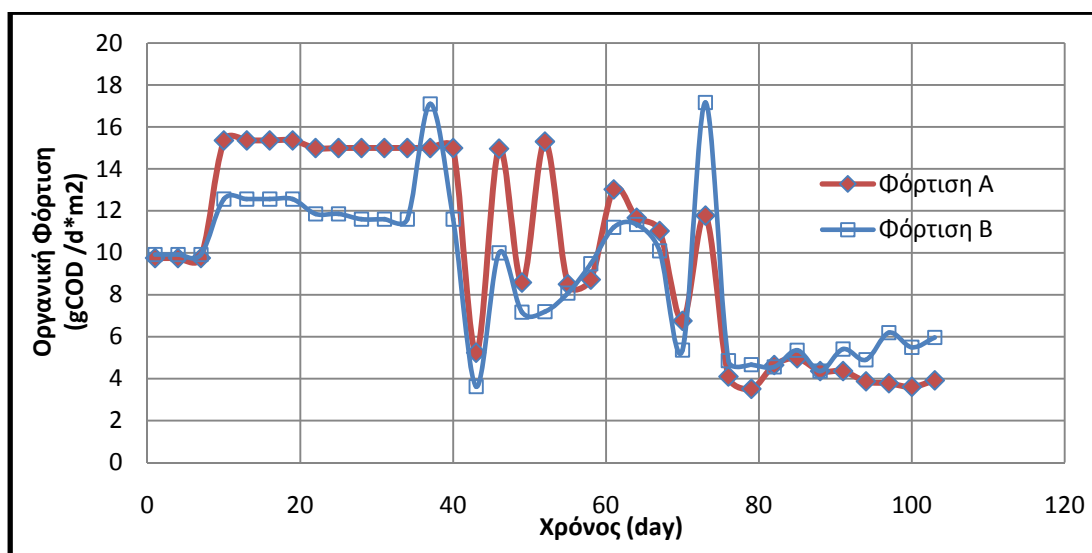


Διάγραμμα 6: Οργανικό φορτίο του COD (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «A».



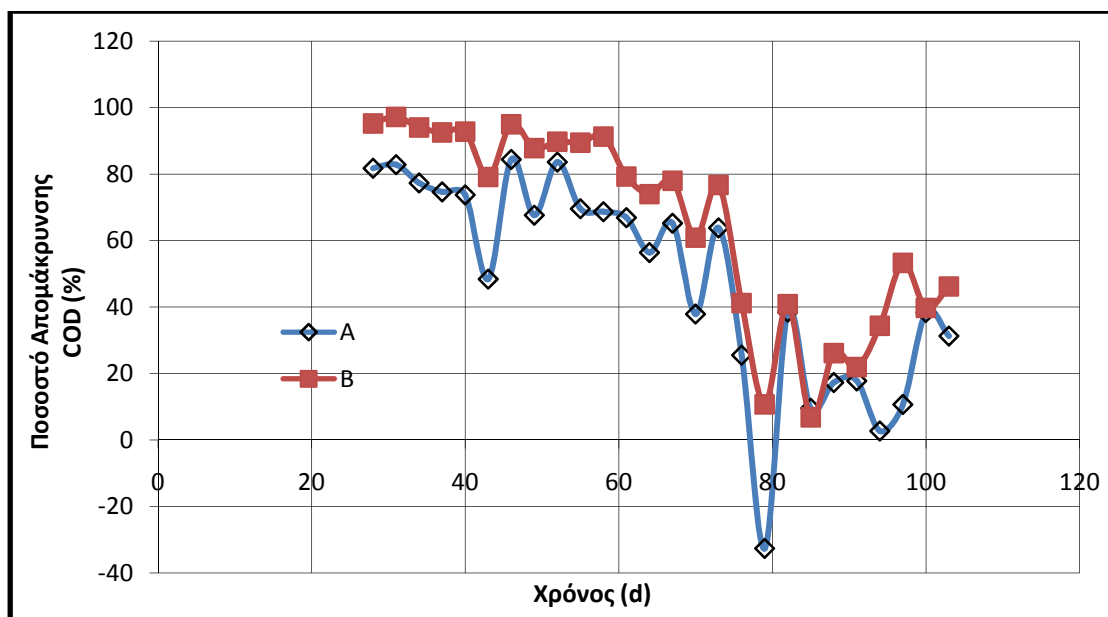
Διάγραμμα 7: Οργανικό Φορτίο του COD (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «B».

Στο Διάγραμμα 8 γίνεται σύγκριση των οργανικών φορτίσεων ($\frac{gCOD}{m^2 \cdot d}$), που εφαρμόζονται σε κάθε υγροβιότοπο. Όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα η οργανική φόρτιση είναι παρόμοια και στους 2 τεχνητούς υγροβιότοπους κατά την κανονική διάρκεια εξέλιξης του πειράματος. Επίσης φαίνεται ότι και στην συνέχεια όταν γίνεται μείωση της οργανικής φόρτισης, εξακολουθεί να είναι παρόμοια και στους δύο. Οι διάφορες διακυμάνσεις που παρουσιάζονται οφείλονται στις απρόβλεπτες βροχοπτώσεις και στην βιοαποικοδόμηση του υγρού αποβλήτου όπου, κατά την διάρκεια αποθήκευσης του το οργανικό φορτίο μειώνεται.



Διάγραμμα 8: Σύγκριση των οργανικών φορτίσεων στους τεχνητούς Υγροβιότοπους «Α» και «B».

Το Διάγραμμα 9 παρουσιάζει τα ποσοστά απομάκρυνσης του COD (mg/d), το οποίο είναι εκφρασμένο σε μονάδες μάζας.



Διάγραμμα 9: Σύγκριση των ποσοστών απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους.

Με το Διάγραμμα 9 είναι πια φανερό ότι ο τεχνητός υγροβιότοπος «B» παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας. Από το πιο πάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι υπάρχει μία αρνητική τιμή, η οποία δεν οφείλεται στην άυξηση του οργανικού φορτίου. Πιθανότατα αυτό το αρνητικό ποσοστό οφείλεται στην απότομη αλλαγή της φόρτισης. Αναλυτικότερα στην συγκεκριμένη τροφοδοσία του η τιμή της οργανικής φόρτισης είναι $4,1 \left(\frac{gCOD}{m^2 \cdot d} \right)$, ενώ η αμέσως προηγούμενη είναι $11,77 \left(\frac{gCOD}{m^2 \cdot d} \right)$. Έτσι στο σύστημα είχε παραμείνει κάποιο υπόλοιμα, το οποίο αναμίχθηκε με το επόμενο και η αντίστοιχη έξοδος παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή από την αντίστοιχη τιμή στην είσοδο. Ο Πίνακας 13 συνοψίζει τα ποσοστά απομάκρυνσης³ οργανικού φορτίου στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους.

Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ποσοστών απομάκρυνσης οργανικού φορτίου στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους.

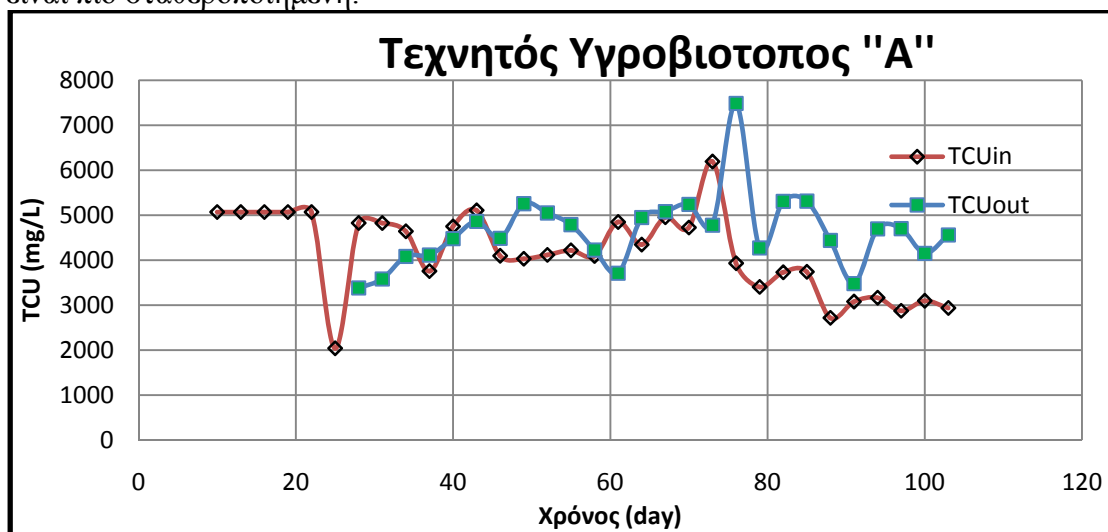
COD	Τεχνητός Υγροβιότοπος «Α»	Τεχνητός Υγροβιότοπος «Β»
MEAN	51,76%	65,16%
MAX	84,40%	97,21%
MIN	2,67%	6,82%

- **TCU**

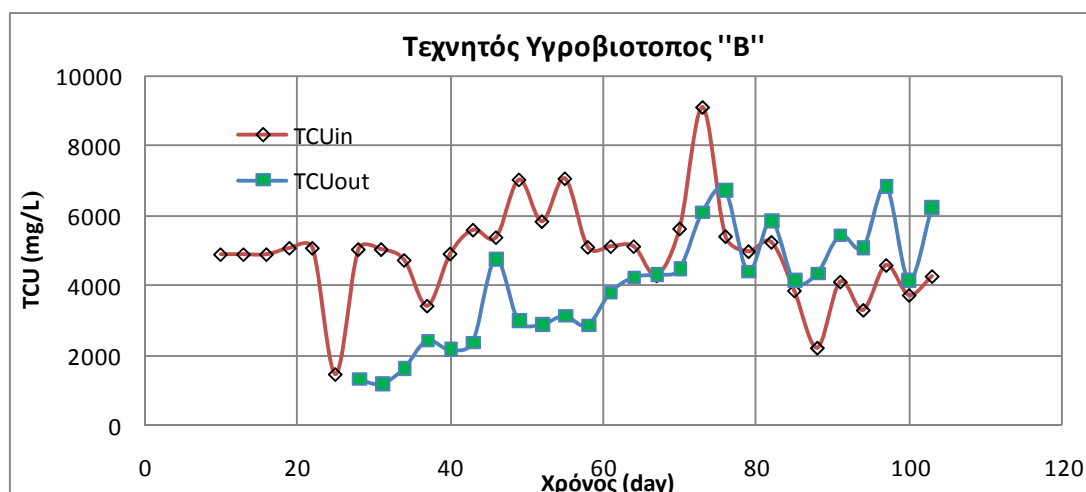
Στο Διάγραμμα 10 και Διάγραμμα 11 Παρουσιάζεται η αλλαγή του χρώματος στους τεχνητούς υγροβιότοπους «Α» και «Β» στα σημεία εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Σε αυτά τα διαγράμματα φαίνεται ότι κατά την διάρκεια του πειράματος που παρόλο

³ Δεν λαμβάνονται υπόψη τα ποσοστά με αρνητικές τιμές.

υπάρχουν διακυμάνσεις στην είσοδο, η έξοδος από τον τεχνητό υγροβιότοπο «B» είναι πιο σταθεροποιημένη.

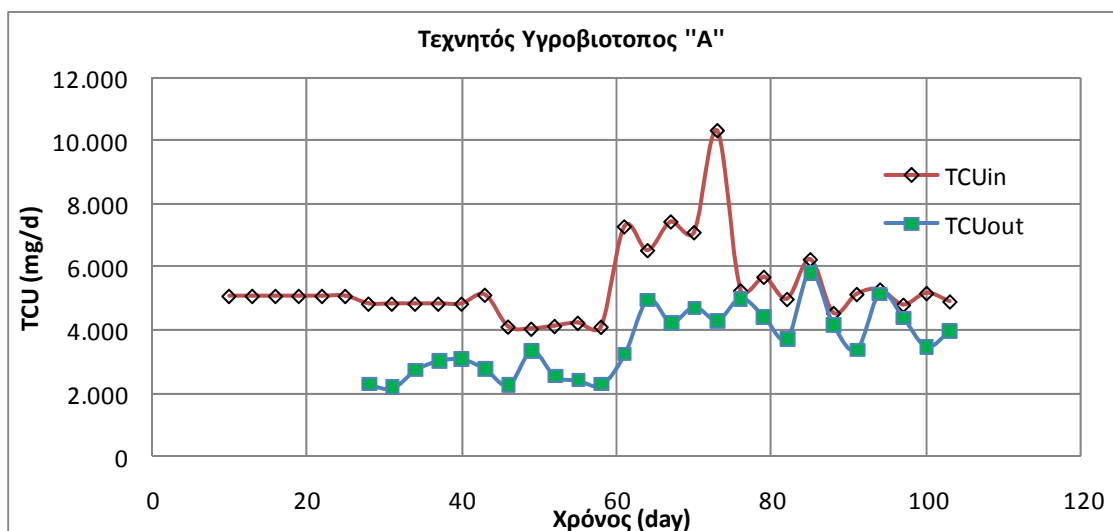


Διάγραμμα 10 : Χρώμα TCU (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Α».

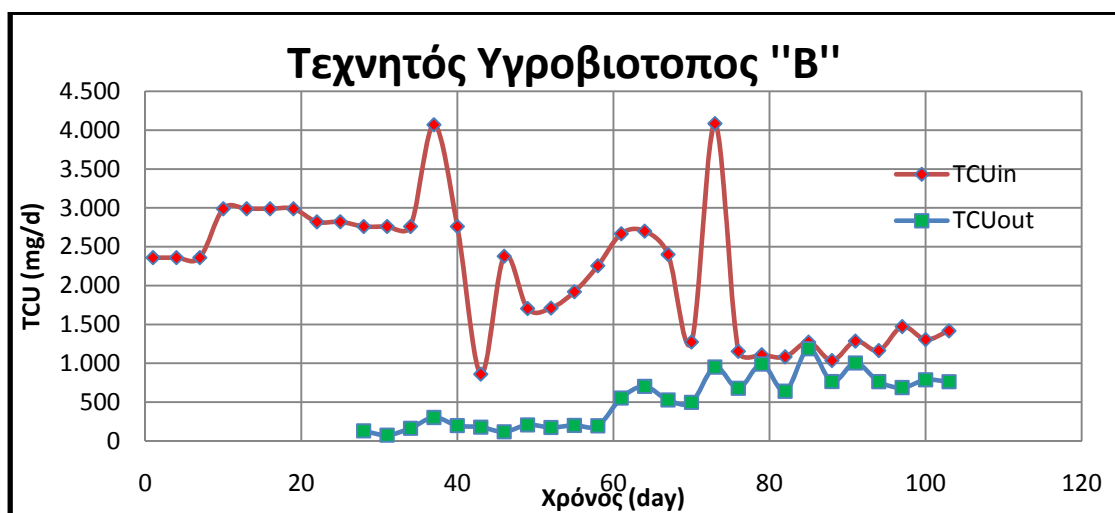


Διάγραμμα 11: Χρώμα TCU (mg/L) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «B».

Η έκφραση των συγκεντρώσεων TCU σε μονάδες μάζας επιτυγχάνεται με την εφαρμογή απλών ισοζυγίων μάζας, σε κάθε τεχνητό υγροβιότοπο ξεχωριστά και για την εκάστοτε τροφοδοσία. Επομένως τα αντίστοιχα διαγράμματα (TCU mg/d) παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 12 και Διάγραμμα 13. Από αυτά τα 2 διαγράμματα παρατηρείται ότι, η ενδεχόμενη αύξηση της συγκέντρωσης του TCU στην έξοδο από τον κάθε υγροβιότοπο στο Διάγραμμα 10 και Διάγραμμα 11, οφείλεται στην εξατμισοδιαπνοή που λαμβάνει χώρα στους δύο Τ.Υ.

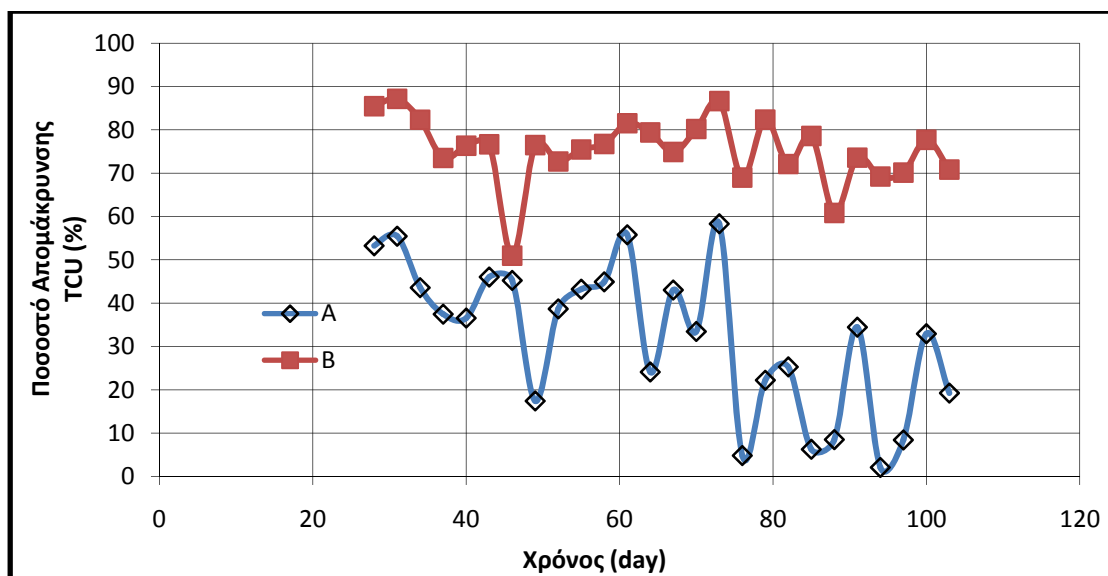


Διάγραμμα 12: Χρώμα TCU (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Α».



Διάγραμμα 13: Χρώμα TCU (mg/d) στην είσοδο και έξοδο στον Τεχνητό Υγροβιότοπο «Β».

Το Διάγραμμα 14 παρουσιάζει τα ποσοστά απομάκρυνσης του TCU (mg/d), το οποίο είναι εκφρασμένο σε μονάδες μάζας.



Διάγραμμα 14: Σύγκριση των ποσοστών απομάκρυνσης του χρώματος στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους «Α» & «Β» .

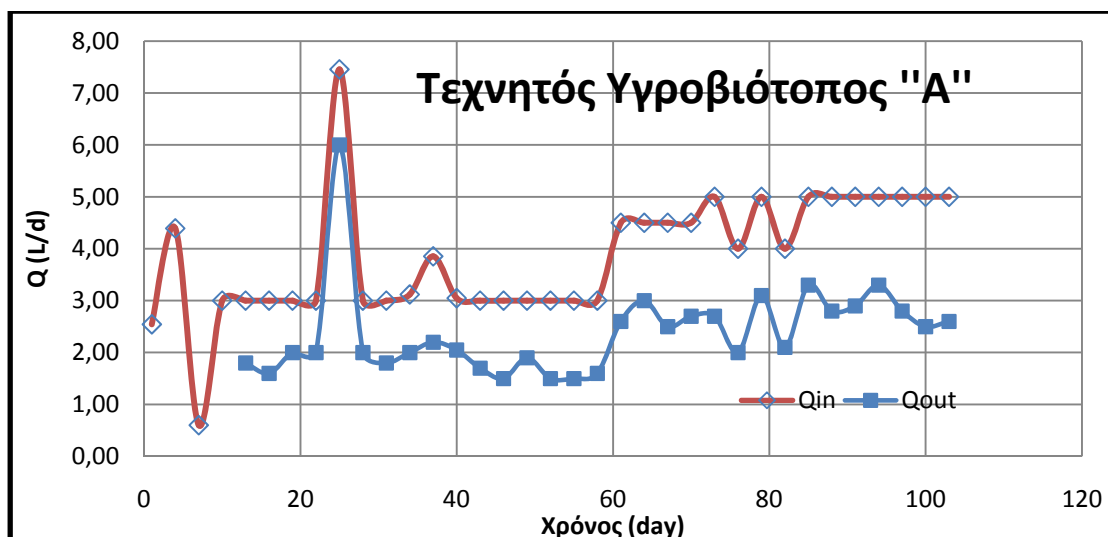
Στο Διάγραμμα 14 είναι πια φανερό ότι ο τεχνητός υγροβιότοπος «Β» παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά απομάκρυνσης του χρώματος καθ'όλη την διάρκεια λειτουργίας.

Συνοψίζοντας τα ποσοστά αποχρωματισμού στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους (Πίνακας 14), είναι φανερό ότι στον «Β» έχουμε μεγαλύτερο αποχρωματισμό του αποβλήτου.

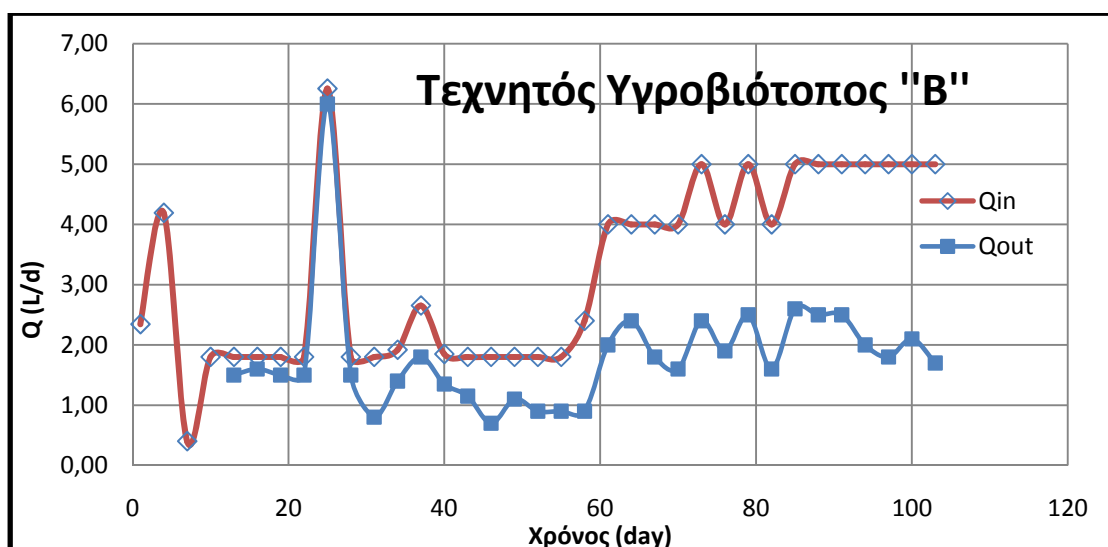
Πίνακας 14: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ποσοστών απομάκρυνσης του χρώματος στους δύο τεχνητούς υγροβιότοπους.

TCU	Τεχνητός Υγροβιότοπος «Α»	Τεχνητός Υγροβιότοπος «Β»
MEAN	37,49%	75,42%
MAX	68,70%	87,17%
MIN	4,80%	50,95%

Στο Διάγραμμα 15 και Διάγραμμα 16 παρουσιάζονται οι εισερχόμενες και εξερχόμενες παροχές στον Τ.Υ «Α» και «Β» αντίστοιχα.



Διάγραμμα 15: Εισερχόμενες και Εξερχόμενες Ποσότητες στον Τ.Υ «Α».



Διάγραμμα 16: Εισερχόμενες και Εξερχόμενες Ποσότητες στον Τ.Υ «Β».

4.3 Σύγκριση των 2 Συνδυασμών Λειτουργίας

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η πορεία των υγρών αποβλήτων όπου υπόκεινται στον συνδυασμό των δύο συστημάτων επεξεργασίας για δύο συγκεκριμένες ημερομηνίες. Επομένως γίνεται ο 1^{ος} και ο 2^{ος} πλήρης χαρακτηρισμός του υγρού αποβλήτου, στα διάφορα σημεία δειγματοληψίας όπως φαίνεται, στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ (Πίνακας 18 & Πίνακας 19). Με τα αποτελέσματα αυτά, υπάρχει η δυνατότητα για την πρώτη σύγκριση του τρόπου λειτουργίας και των ποσοστών απομάκρυνσης των βασικών παραμέτρων, μεταξύ των δύο σεναρίων για τις 2 συγκεκριμένες ημερομηνίες. Επίσης δίνονται και σημαντικές πληροφορίες για συναφείς παραμέτρους. Αναφορικά για τον 1^ο πλήρη χαρακτηρισμό ο οποίος γίνεται για να δείξει συγκεκριμένα ότι οι δύο τεχνητοί υγροβιότοποι λειτουργούν κανονικά και απομακρύνουν σε ικανοποιητικό βαθμό τις εξεταζόμενες παραμέτρους. Αμέσως μετά αρχίζει ο έλεγχος των δύο

σεναρίων λειτουργίας όπου ολοκληρώνεται με τον 2^ο πλήρη χαρακτηρισμό του υγρού αποβλήτου.

Για τον υπολογισμό των συνολικών απομακρύνσεων για τον κάθε συνδυασμό λειτουργίας, ακολουθήθηκε η διαδικασία υπολογισμού στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ. Ο Πίνακας 15 παρουσιάζει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, για τις συνολικές απομακρύνσεις από το κάθε σενάριο.

Επομένως αποδεικνύεται ότι ο συνδυασμός των δύο μεθόδων ευνοείται με την σειρά που χρησιμοποιούνται στο 2^ο σενάριο λειτουργίας. Στον πιο πάνω πίνακα (Πίνακας 15) φαίνεται να υπερσχύει με 91,54% και 91,15% για την απομάκρυνση του COD και TCU αντίστοιχα.

Πίνακας 15: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα απομακρύνσεων για τα 2 σενάρια λειτουργίας.

Παράμετρος	1 ^ο Σενάριο			2 ^ο Σενάριο		
	Απομακρύνσεις			Απομακρύνσεις		
	Στο 3 ^ο Πείραμα Η.Ο	Στον Τ.Υ «Α»	Συνολική	Στον Τ.Υ «Β»	Στο 6 ^ο Πείραμα Η.Ο	Συνολική
COD	38,74%	66,44%	79,45%	75,36%	60,68%	91,54%
TCU	30,00%	38,31%	56,92%	62,60%	75,70%	91,15%

Από τα αποτελέσματα του πιο πάνω πίνακα (Πίνακας 15) παρατηρείται ότι ο Τ.Υ «Β» σε σύγκριση με τον «Α», παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά απομακρύνσεων για το COD και TCU. Επομένως βγαίνει το συμπέρασμα ότι στον Τ.Υ «Α» η λειτουργία των μικροοργανισμών πιθανών να αναστέλλεται ή να παρεμποδίζεται, κάτι το οποίο ίσως να οφείλεται σε κάποια παραπροϊόντα της Η.Ο (3^ο πείραμα) τα οποία είναι τοξικά για τους μικροοργανισμούς. Βέβαια αυτό μπορεί επίσης να επαληθευτεί και με τα αντίστοιχα τεστ τοξικότητας που έγιναν (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ, Πίνακας 18). Τα αποτελέσματα αυτά αποδεικνύουν ότι μετά την Η.Ο του 1^{ου} σεναρίου, ο δείκτης τοξικότητας μειώνεται και αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την καλύτερη λειτουργία του Τ.Υ «Α». Συνάμα με τον Τ.Υ «Β», παρουσιάζει μεγαλύτερα ποσοστά απομακρύνσεων και η Η.Ο του 2^{ου} σεναρίου λειτουργίας σε σύγκριση με αυτή του 1^{ου} σεναρίου.

Αξιοσημείωτο είναι η μέτρηση της τοξικότητας όπου παρουσιάζει το υγρό απόβλητο στην αρχή να είναι αρκετά τοξικό. Όμως με την επεξεργασία του βάση με το πρώτο σενάριο λειτουργίας ο δείκτης τοξικότητας EC₅₀, αυξάνεται (δηλαδή μειώνεται η τοξικότητα) στο 28%. Το πιο ενδιαφέρον όμως παρουσιάζεται όταν αυτό τεθεί υπό την επεξεργασία βάση του δεύτερου σεναρίου λειτουργίας όπου δεν ανιχνεύεται ο δείκτης τοξικότητας EC₅₀, στο δείγμα. Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της τοξικότητας βασισμένα στον 2^ο πλήρη χαρακτηρισμό.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα της τοξικότητας βασισμένα στον 2^ο πλήρη χαρακτηρισμό

Παράμετρος	Μονάδες	1	2	3	4	5	6	7	8
EC50									
→5 min	%	12,6	4,5	8,9	25,2	27,5	39,8	45,1	Δ.Α*
→15 min	%	12,7	4,8	9,6	25,3	28,9	44,1	52,3	Δ.Α*

(1): Πριν H.O (10/6/08)
(2): Μετά H.O (10/6/08)
(3): Είσοδος στον Α (Ain)
(4): Είσοδος στον Β (Bin)
(5): Έξοδος από τον Α (Aout)
(6): Έξοδος από τον Β (Bout)
(7): 10L από Bout & πριν H.O (19/6/08)
(8): 10L από Bout & μετά H.O (19/6/08)
Δ.Α* : Δεν ανιχνεύτηκε η τοξικότητα του γιατί το 81,9% του δείγματος προκαλεί λιγότερη από 50% μείωση της φωταύγειας των βακτηριδίων στο δείγμα.

Καθώς επίσης συγκρίνοντας τις μετρήσεις της τοξικότητας μεταξύ στα 5 και 15 πρώτα λεπτά ανίχνευσης, παρατηρείται ότι οι τιμές είναι παρόμοιες. Αυτό παρουσιάζεται σε όλα τα δείγματα, από το οποίο βγαίνει το συμπέρασμα ότι το υγρό απόβλητο παρουσιάζει άμεση τοξικότητα γιατί ήδη στα 5 πρώτα λεπτά γίνεται η μέτρηση του δείκτη τοξικότητας.

Κεφάλαιο 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

1. Με την συνδυασμένη χρήση ενός Τ.Υ και της Η.Ο μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη απομάκρυνση οργανικού φορτίου και μεγάλο ποσοστό αποχρωματισμού των υγρών αποβλήτων ενός πυρηνελαιουργείου. Αυτό ισχύει και για τους δύο εξεταζόμενους συνδυασμούς.
2. Έγιναν δύο συνδυασμοί των δύο μεθόδων, για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων του Πυρηνελαιουργείου. Με τον 1^ο συνδυασμό γίνεται επεξεργασία αρχικά με την Η.Ο και στην συνέχεια από τον Τ.Υ «Α». Στον 2^ο συνδυασμό γίνεται επεξεργασία αρχικά από τον Τ.Υ «Β» και στην συνέχεια με την Η.Ο.
3. Στον 2^ο συνδυασμό λειτουργίας (Τ.Υ «Β» & Η.Ο) , η συνολική απομάκρυνση που ελάμβανε χώρα ήταν 91,54% και 91,15% για το COD και TCU αντίστοιχα, ο οποίος είναι και ο βέλτιστος συνδυασμός. Αντίθετα στον 1^ο συνδυασμό λειτουργίας, η συνολική απομάκρυνση που ελάμβανε χώρα ήταν 79,45% και 56,92% για το COD και TCU αντίστοιχα.
4. Στην εκροή του 2^{ου} συνδυασμού επιτυγχάνεται αποχρωματισμός του υγρού αποβλήτου, ο οποίος παρατηρείται με γυμνό μάτι. Το δείγμα αυτό έχει ένα ελαφρύ κίτρινο χρώμα σε σύγκριση με το αρχικό που ήταν σκούρο μαύρο και αντιαισθητικό.
5. Συνάμα με τις μέγιστες απομακρύνσεις, ο 2^ο συνδυασμός , παρουσιάζει και μη τοξική εκροή, αφού δεν ανιχνεύθηκε στο συγκεκριμένο δείγμα ο συντελεστής τοξικότητας EC₅₀. Ενώ σε αντίθεση με τον 1^ο συνδυασμό οποίος παρουσίασε στο δείγμα της εκροής EC₅₀ ίσο με 28%.
6. Οι δύο Τ.Υ που βρίσκονταν είτε στο 1^ο είτε στο 2^ο στάδιο επεξεργασίας, είχαν την δυνατότητα να σταθεροποιούν την εκροή τους σε χαμηλά επίπεδα, κυρίως το οργανικό φορτίο και το χρώμα παρ'όλες τις διακυμάνσεις στην εισροή.
7. Στις 6 πειραματικές δοκιμές της Η.Ο που έγιναν , δεν ήταν απαραίτητη η οποιαδήποτε προσθήκη ιόντων, όπως Θεϊκό Νάτριο (Na₂SO₄) ή χλωριούχου νατρίου (NaCl). Σε αυτές τις δοκιμές υπήρχε η δυνατότητα λειτουργία της μονάδας Η.Ο με 20 A (ένταση του ρεύματος) τουλάχιστον. Αυτό αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ της Η.Ο και ενός φυσικού συστήματος ή ενός φυσικού αποδέκτη γιατί δεν πρόκειται να προξενήσει κάποιο πρόβλημα από την ύπαρξη τοξικών ιόντων, όπως είναι το χλώριο, στην μετέπειτα διάθεση του υγρού αποβλήτου.

Με σκοπό πάντα την καλύτερη απόδοση των δύο συστημάτων υπάρχουν κάποια πράγματα, σε ότι αφορά την λειτουργία τους, που θα μπορούσαν να αλλάξουν ή να γίνουν εξαρχής όπως για παράδειγμα:

1. Το σύστημα κάθε τεχνητού υδροβιότοπου κάθετης ροής να αποτελείται από 2 στάδια επεξεργασίας σε σειρά.
2. Λειτουργία των 2 τεχνητών υδροβιότοπων, τουλάχιστον για 1 χρόνο, ώστε το σύστημα να λειτουργεί κάτω από τελείως διαφορετικές συνθήκες.
3. Επέκταση του βέλτιστου συνδυασμού σε πιο μεγάλη κλίμακα λειτουργίας και για τα 2 συστήματα (Τ.Υ και Η.Ο).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **ΕΘΙΑΓΕ.** Διαχείριση και Επεξεργασία Αποβλήτων (υγρών και στερεών) Ελαιουργείου. s.l. : Προγραμμα Δήμητρα.
2. *Artificial wetlands and water quality improvement.* **Shutes, R.B.E.** s.l. : Environment International, 2001, Vol. 26, pp. 441-447.
3. **Μαύρος, Μιχάλης.** Διπλωματική Εργασία: Χαρακτηρισμός και Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων Πυρηνελαιουργείου. Χανιά : Πολυτεχνείο Κρήτης, 2007.
4. **ΟΔΗΓΙΑ 96/61/ΕΚ.** [ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε] Αθήνα : Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, Τμήμα Βιομηχανιών, 2001.
5. **Βαμβούκα, Δ.** Ενεργειακήβαξιοποίηση βιομάζας, Η περίπτωση της Κρήτης. [Πολυτεχνείο Κρήτης] s.l. : Εργαστήριο Εξυγενισμού & Τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων.
6. *A handbook of constructed wetlands, a guide to creating wetlands.* **U.S. Environmental Protection Agency.** Vol. 1.
7. **Αγγελάκης, Α.Ν. και Tchobanoglous, G.** Υγρά απόβλητα - Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση , Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών. Ηράκλειο : Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1995.
8. **Αγγελάκης, Α.Ν. και Τσαγκαράκης, Κ.Π.** Φυσικά Συστήματα Εεξεργασίας Αστικών Υγρών Αποβλήτων: Αρχές Σχεδιασμού και Λειτουργίας. Ηράκλειο : Εθνικό Ιδρυμα Αγροτικής Έρευνας Ινστιτούτο Ηρακλείου, 2003.
9. *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, A Technology Assessment.* **U.S E.P.A Office of Water.** s.l. : EPA 832-R-93-008, July 1993.
10. *Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment.* **Stottmeister, U.** s.l. : Biotechnology Advances, 2003, Vol. 22, pp. 93-117.
11. **DuPoldt, C. and Garber, L.** *Aguide to Creating wetlands for: Agricultural wastewater, Domestic wastewater, Coal mine drainage, Stormwater in the Mid-Atlantic Region, A handbook of Constructed Wetlands.* s.l. : General Consideration. Vol. 1.
12. **Τσαγκαράκης, Κ.** Πανεπιστημιακές σημειώσεις για το μάθημα: Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων. Χανιά : Πολυτεχνείο Κρήτης, 2004.
13. **Wood, M.** Environmental Soil Biology. Tertiary Level Biology. **BLACKIE ACADEMIC & PROFESSIONAL.**
14. **Interstate Technology & Regulatory Council.** Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetland. December 2003.
15. **Sherwood, Reed C., Crites, Ronald W. and Middlebrooks, Joe E.** *Natural Systems for Waste Management and Treatment.* 2nd Edition. - : McGraw Hill, 1995.
16. *How to Treat Sewage with Constructed Wetlands: An Overview of the French Systems.* **Lienard, A.**
17. www.uvm.edu. [Online]
18. **Plantzer, C.** Design Recommendations for a Subsurface Flow Constructed Wetlands for Nitrification and Denitrification. *Water Science and Technology.* Vol. 40, issue 3, pp. 257-263.
19. **Cooper, Paul.** The performance of vertical flow constructed wetland systems with special reference to the significance of oxygen transfer and hydraulic loading rates.
20. **Reed, S.C., Crites, R.W. and Middlebrooks, E.J.** *Natural Systems for Waste Management and Treatment.* 2nd Edition. New York : McGraw-Hill, 1995.

21. **Lienard, A. και Molle, P.** Construted Wetlands for wastewater treatment in France: from expeience to design and operation recomendations . *Water Quality and Polltion Control* .
22. **Παπαδημηρίου, Χρήστος.** Εμπειρίες και Σχεδιασμός Διαχείρισης Λυμάτων σε μικρούς Οικισμούς με Φυσικά Συστήματα. *Διπλωματική Εργασία*. Χανιά : Πολυτεχνίο Κρήτης, 2004.
23. **Βουμβουλάκη, Ευαγγελία Γ.** Προσομοίωση και Σχεδιασμός Τεχνητών Υγροβιότοπων Υποεπιφανειακής Ροής για την Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων. *Διπλωματική Εργασία*. Χανιά : Πολυτεχνείο Κρήτης, 2003.
24. **Blazejewski, Ryszard and Blazejewska, Murat Sadsiz.** Soil clogging phenomena in constructed wetlands with subsurface flow. *Water Science and Technology*. 1997, Vol. 35, issue 5, pp. 183-188.
25. **Voisin, Jean and Paing, Joelle.** Vertical flow constructed wetlands for municipal wastewater and septage treatment in French ryal area.
26. **Σωτηρόπουλος, Σ.** *Βασικές Αρχές Ηλεκτροχημικής Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων*. s.l. : Εργαστήριο Φυσικής Χημείας Τμήμα Χημείας , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2004.
27. **Israilides, C., et al.** Olive oil wastewater with the use of an electrolysis system. *Bioresource Technology*. 1997, Vol. 61, pp. 163-170.
28. **Chen, G.** Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. *Separation and Puifcation Technology*. 2004, Vol. 38, pp. 11-41.
29. **Juttner, K., Galla, U. and Schmieder, H.** Electrochemical Approaches to Environmental Problems in the Process Industry. *Electrochim Akta*. 2000, Vol. 45, pp. 2575-2594.
30. **Πάτσιος, Σ.** *Προηγμένες Μέθοδοι Μεμβρανών για Επεργασία και Βέλτιστη Χρήση Νερού στον Ατμοηλεκτρικό Σταθμό Αγίου Δημητρίου Κοζάνης* . Θεσσαλονίκη : Διπλωματική Εργασία, 2004.
31. **Βλυσσίδης, Α.** *Εφαρμογές Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης στην Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων* . Αθήνα : Τμήμα Χημικών Μηχανικών,Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2004.
32. **Chen, X., Chen, G. and Yue, P.L.** Anodic oxidationof dyes at novel Ti/B diamond electrodes. *Chem Eng. Sci.* 2003, Vol. 58, pp. 995-1001.
33. **Saracco, G., et al.** Electrochemical oxidation of organic pollutants at low electrolyte concentrations. *Electroch. Acta*. 2000, Vol. 46, pp. 373-380.
34. **Mokrini, A., Ouss, D. και Chammarro, E.** *Photoxidation of phenol in aqueos solution*. Barcelona : Departamento de Ingenieria Quimica. Universidad de Barcelona.
35. **Anonymous.** <http://www.csem.ch/>. *DiaCell Description and Specification, Innovative technology for water tratment without chemistry*. [Online]
36. <http://www.adamantec.com/>. *Adamantec Technologies*. [Online]
37. *Electro-Oxidationbased on Damond - Elecrtodes as an Advanced Oxidation Process*. **Hanni, W., et al.** Switzerland : Adamant Technologies Inc., 2006. EAAOP-1 Chania, Greece, September 7th-10th 2006.
38. **Γιάννης, Απόστολος Δ.** Ηλεκτρολυτική επεξεργασία αποβλήτων ελαιотριβείων χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδιο Ti/Ta/Pt/Ir. *Διατριβή Μεταπτυχιακών Διπλώματος*. Χανιά : Πολυτεχνείο Κρήτης, 2002.
39. **Inan, H., και συν.** Olive oil mill wastewater treatment by means of electroagulation. *Separation and Purification Technology*. 2003, σσ. 1-9.
40. **Aktas, E.S., Imre, S. and Ersoy, L.** Characterization and lime treatment of olive oil mill wastewater. *Water Research*. 2001, Vol. 35, 9, pp. 2336-2340.

41. **Erguder, T.H, Guven, E. and Demirel, G.N.** Anaerobic treatment of olive oil mill wastes in batch reactors. *Process Biochemistry*. 2000, Vol. 36, pp. 243-248.
42. **Anreozzi, R., et al.** Integrated treatment of olive oil mill effluents (OME): study of ozonation coupled with anaerobic digestion. *Water Research*. 1998, Vol. 32, 8, pp. 2357-2364.
43. **Beltran-Hedena, J., et al.** Degradation of olive oil mill wastewater by the combination of Fenton's reagent and ozonation processes with an aerobic biological treatment. *Water Science and Technology*. 2001, Vol. 44, 5, pp. 103-108.
44. **Longhi, P., Vodopivec, B. and Fiori, G.** Electrochemical treatment of olive oil mill wastewater. *Annali di Chimica*. 2001, Vol. 91, pp. 169-174.
45. **Rivas, F.J., et al.** Treatment of olive oil mill wastewater by Fenton's reagent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2001, Vol. 49, pp. 1873-1880.
46. **Anonymous.** <http://adamantec.com/>. *Water treatment by Electrolisis with DiaCell*. [Online]
47. **Greenberg, Arnold E., Clesceri, Lenore S. and Eaton, Andrew D.** Standard Methods. *For the Examination of Water and Wastewater*. 18th Edition. Washington : APHA, AWWA, WEF, 1992, part 5220, pp. 7-8.
48. **Hongve, D. και Akesson, G.** Spectrophotometric determination of water colour in hazen units. *Water Research*. 1996, Τόμ. 30, 11, σσ. 2771-2775.
49. **Ακράτος, Χ.Σ.** Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Τεχνητών Υγροβιότων. 2006.
50. Βελτιστοποίηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Τεχνητών Υγροβιότων Υπόγειας Ροής με Χρήση Πιλοτικών Μονάδων. *Διαδακτορική Διατριβή*. s.l. : Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2006.
51. **Dialynas, G., και συν.** Performance of an Innovative FWS Constructed Wetland in Crete, Greece. *Water Science and Technology*. 2002, Τόμ. 46, 4-5, σσ. 355-360.
52. **Municipal Wastewater Disinfection Using a Constructed Wetland. Anastasiadis, M., και συν.** 2001. 4th Management Committee Meeting of Cost Action, 18-19 May, Larnaca, Cyprus. σ. 4.
53. **Korkusuz, E.A., Beklioglu, M. και Dernirer, G.N.** Treatment Efficiencies of the Vertical Flow Pilot-Scale Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 2004, Τόμ. 28, σσ. 333-344.
54. **Laber, J., Perfler, R. and Haberl, R.** Two Strategies for Advanced Nitrogen Elimination in Vertical Flow Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*. 1997, Vol. 35, 5, pp. 71-77.
55. **Brix, H. και Arias, C.A.** The Use of Vertical Flow Constructed Wetlands for On-Site Treatment of Domestic Wastewater: New Danish Guidelines. *Ecological Engineering*. 2005, Τόμ. 25, σσ. 491-500.
56. **Meulemann, A.F.M, και συν.** Water and Mass Budgets of a vertical-Flow Constructed Wetland Used for Wastewater Treatment. *Ecological Engineering*. 2003, Τόμ. 20, σσ. 31-44.
57. **Molle, P., και συν.** How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems. *Water Science and Technology*. 2006, Τόμ. 51, (9), σσ. 11-21.
58. **Rousseau, D.P.L, Vanrolleghem, P.A και Pauw, N.D.** Constructed wetlands in Flanders: A performance Analysis. *Ecological Engineering*. 2004, Τόμ. 23, (3), σσ. 151-163.
59. **Sezerino, P.H, και συν.** Nutrient removal from Piggery Effluent using vertical flow constructed wetlands in southern Brazil. *Water Science and Technology*. 2003, Τόμ. 48, (2), σσ. 129-135.

60. **Chick, A.J. και Mitchell, D.S.** A pilot study of vertical flow wetlands at Coffs Harbour, New South Wales, Australia. *Water Science and Technology*. 1995, Τόμ. 32, (3), σσ. 103-109.
61. **Παρισόπουλος, Γ., και συν.** Σύγχρονες Προσεγγίσεις σχεδιασμού Τεχνητών Υγροβιότοπων. Εφαρμογή σε δύο έργα στις Πρέσπες.
62. **Παπαστάυρου, Χρυστάλλα.** Διπλωματική Εργασία : Χαρακτηρισμός και Επεξεργασία Στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ Χανίων. Χανία : Πολυτεχνείο Κρήτης, 2007.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Παραδείγματα Τεχνητών Υγροβιότοπων στην Ελλάδα

- **Τεχνητός Υγροβιότοπος Βάσσοβας**

Στα πλαίσια του προγράμματος LIFE για τον ποταμό Νέστο, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε τεχνητός υγροβιότοπος επιφανειακής ροής στη λιμνοθάλασσα Βάσσοβα με σκοπό να δέχεται την αγροτική απορροή από παρακείμενο αποστραγγιστικό κανάλι (T-1) και, μετά από επεξεργασία για την αφαίρεση θρεπτικών αλάτων, να φορτίζει τη λιμνοθάλασσα με γλυκό νερό, αποκαθιστώντας έτσι την είσοδο γλυκού νερού στη λιμνοθάλασσα που είχε διακοπεί (49).

Ο τεχνητός υγροβιότοπος κατασκευάστηκε σε συνολική έκταση 38400 m² δίπλα στη λιμνοθάλασσα και είναι χωρισμένος κατά μήκος σε τρία κελιά, μέσω αναχωμάτων από περατό χαλίκι, ώστε να πραγματοποιείται ομοιόμορφη ροή σε όλο το πλάτος του υγροβιότοπου. Ο χώρος του υγροβιότοπου διαμορφώθηκε κατάλληλα ως προς την κλίση και φυτεύτηκε. Μετά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας, από τα αποτελέσματα συχνών δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν στον υγροβιότοπο, φαίνεται ότι ο σκοπός επετεύχθη, αφού τα θρεπτικά άλατα (νιτρικά, νιτρώδη και φωσφορικά) απομακρύνονται ικανοποιητικά (50).

- **Τεχνητός Υγροβιότοπος Μαδύτου**

Η μονάδα κατασκευάστηκε στην κοινότητα Ν. Μαδύτου σε μια επιφάνεια γης περίπου 2,5 ha και εξυπηρετεί τους οικισμούς Ν. Μαδύτου και Μοδίου (50). Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία τον Ιούνιο του 1995. Η μονάδα σχεδιάστηκε με χρονικό ορίζοντα 20 ετών για να εξυπηρετεί 3000 κατοίκους, ενώ σήμερα εξυπηρετεί 2500. Τα λύματα προωθούνται στην εγκατάσταση μέσω αντλιοστασίου προώθησης των ακαθάρτων που αποτελείται από δύο αντλίες υγρού τύπου (βυθισμένες) παροχής 90 m³/h και μανομετρικού 20 m. Στην είσοδο της εγκατάστασης τα λύματα οδηγούνται σε δύο δεξαμενές Imhoff, όπου και υφίστανται πρωτοβάθμια καθίζηση. Η ιλύς, η οποία συγκεντρώνεται στο χαμηλότερο τμήμα της δεξαμενής, οδηγείται με αγωγούς σε τακτά χρονικά διαστήματα σε κλίνες ιλύος για αφυδάτωση. Κάθε μία από τις κλίνες αυτές έχει επιφάνεια 140 m², με τέσσερις στρώσεις διαφορετικών υλικών πλήρωσης. Στη συνέχεια, τα λύματα οδηγούνται σε κλίνες τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής (1ο στάδιο επεξεργασίας) συνολικής έκτασης 1360 m². Από τη μέχρι τώρα λειτουργία της εγκατάστασης γίνεται εμφανές ότι λειτουργεί ικανοποιητικά όσον αφορά την απομάκρυνση των ρύπων. Η απομάκρυνση BOD₅ και COD είναι της τάξεως του 90% και 80% αντιστοίχως και του TN και της αμμωνίας περίπου 85%. Η απομάκρυνση ολικού φωσφόρου είναι σχετικά χαμηλή (22%). Επιπλέον, τα ολικά αιωρούμενα στερεά και τα ολικά κολοβακτηρίδια αφαιρούνται ικανοποιητικά (90% και 98% αντίστοιχα)(50).

- **Τεχνητός Υγροβιότοπος Γοματίου**

Μια άλλη εγκατάσταση που λειτουργεί στη Βόρεια Ελλάδα είναι αυτή της κοινότητας Γοματίου του Δήμου Παναγιάς του Νομού Χαλκιδικής(50). Η εγκατάσταση σχεδιάστηκε για να εξυπηρετεί 1000 κατοίκους, ενώ σήμερα ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός είναι 800. Η εγκατάσταση αποτελείται από: εσχάρωση, πρωτοβάθμια καθίζηση, χώνευση ιλύος, κλίνες τεχνητού υγροβιότοπου ξήρανσης ιλύος, 1^ο στάδιο

κλινών τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής, 2^ο στάδιο κλινών τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής, 3^ο στάδιο τεχνητού υγροβιότοπου υπόγειας ροής. Η εσχάρωση επιτυγχάνεται με κυκλικό αυτοκαθαριζόμενο περιστρεφόμενο τύμπανο με οπές. Κατόπιν, το λύμα εισέρχεται στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης ολικού όγκου 48 m³, όπου παραμένει εκεί για τρεις μήνες και μετά οδηγείται στις κλίνες τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής για επεξεργασία ιλύος, οι οποίες είναι κυκλικής διατομής αποτελούμενες από 4 όμοια διαμερίσματα, έκτασης 60 m² το καθένα (συνολική έκταση 240 m²). Το υγρό απόβλητο, μετά τη δεξαμενή καθίζησης, εισέρχεται περιοδικά στο 1^ο στάδιο τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής μέσω ενός σιφώνα. Το στάδιο αυτό αποτελείται από 4 κελιά με επιφάνεια 160 m² το καθένα (συνολική έκταση 640 m²). Κάθε κελί φορτίζεται περιοδικά κάθε δύο ημέρες. Η εκροή του εισέρχεται στο 2^ο στάδιο τεχνητών υγροβιότοπων κατακόρυφης ροής, το οποίο είναι σχεδόν όμοιο με το 1^ο με μόνη διαφορά ότι το κάθε κελί έχει έκταση 90 m² (συνολική έκταση 360 m²).

Τελικά, το απόβλητο εισέρχεται στον τεχνητό υγροβιότοπο οριζόντιας υπόγειας ροής, ο οποίος έχει συνολική έκταση 800 m². Η εκροή της εγκατάστασης καταλήγει σε παρακείμενο ρέμα.

Από τα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας της εγκατάστασης του Γοματίου είναι εμφανές ότι αυτή λειτουργεί ικανοποιητικά για την απομάκρυνση των ρύπων.

Παρατηρείται ότι η μέση απομάκρυνση BOD₅ και COD είναι πάνω από 90% και του TN και της αμμωνίας περίπου 85%. Επίσης, τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) και τα ολικά κολοβακτηρίδια (TC) αφαιρούνται ικανοποιητικά (93% και 99% αντιστοίχως), ενώ η αφαίρεση ορθοφωσφορικών και ολικού φωσφόρου είναι, όπως αναμένεται, σε μικρότερα ποσοστά (48% και 60% αντίστοιχα) (50).

- **Τεχνητός Υγροβιότοπος Πομπηίας**

Ο τεχνητός υγροβιότοπος που λειτουργεί στην Πομπηία της Κρήτης είναι επιφανειακής ροής, αποτελούμενος από δύο κελιά σε σειρά έκτασης 4300 m² και 1200 m² (50). Το απόβλητο πριν την είσοδο στον υγροβιότοπο αποθηκεύεται σε σηπτική δεξαμενή. Τα δύο κελιά είναι φυτεμένα με δύο είδη καλαμιών (*Phragmites australis* και *Arundo donax*). Η εγκατάσταση ξεκίνησε τη λειτουργία της τον Αύγουστο του 1999, βρίσκεται ακόμη σε λειτουργία και εξυπηρετεί 1200 ισοδύναμους κατοίκους. Η μέση ημερήσια παροχή είναι 144 m³/d και ο χρόνος παραμονής κυμάνθηκε από 5 έως 14 ημέρες (ανάλογα με την εποχή), ενώ η θερμοκρασία του αποβλήτου κυμάνθηκε από 10°C έως 22°C το καλοκαίρι. Η γενική αίσθηση για έναν επισκέπτη είναι ότι το σύστημα αυτό λειτουργεί σαν φυσικό έλος και φυσικό περιβάλλον πουλιών και άγριων ζώων. Οι μέσες αποδόσεις αφαίρεσης ρύπων για μια περίοδο λειτουργίας τριών χρόνων ήταν για το BOD₅ 94,4%, για το COD 96,1%, για τα TSS 95,5%, για το TKN 52,5% και για τον ολικό φώσφορο 53,1% (51).

- **Τεχνητός Υγροβιότοπος Θεσσαλονίκης**

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με σκοπό να εξετασθεί η επίδραση του κλίματος στην ικανότητα ενός τεχνητού υγροβιότοπου στην απορρύπανση δημοτικών υγρών αποβλήτων (52). Οι στόχοι του έργου αυτού ήταν: α) Η παρακολούθηση των εποχιακών μεταβολών στη μείωση πληθυσμών κολοβακτηριδίων σε έναν τεχνητό υγροβιότοπο, β) η μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην ικανότητα του τεχνητού υγροβιότοπου να περιορίσει τη

συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηριδίων (total coliforms - TC) και γ) να εκτιμηθεί εφόσον η ικανότητα του υγροβιότοπου να απομακρύνει *Salmonella spp.* μπορεί να προβλεφθεί από τη συγκέντρωση των TC στην εκροή του υγροβιότοπου. Για το λόγο αυτό, ένας πρωτότυπος τεχνητός υγροβιότοπος κατασκευάστηκε το 1996 κοντά στο Γαλλικό ποταμό στη Θεσσαλονίκη και λειτουργεί από τον Απρίλιο του 1997. Ο υγροβιότοπος χρησιμοποιείται για δευτερογενή επεξεργασία παροχής 100 m³/day πρωτογενώς επεξεργασμένων δημοτικών λυμάτων και αποτελείται από τέσσερις παράλληλες κλίνες επιφανειακής ροής (φυτεμένες με *Typha latipholia*), μια λίμνη σταθεροποίησης και δύο κλίνες υπόγειας ροής (φυτεμένες με *Phragmites communis*). Ο τεχνητός υγροβιότοπος απομάκρυνε επιτυχώς τα ολικά κολοβακτηρίδια κατά τη διάρκεια της άνοιξης, του φθινοπώρου και του καλοκαιριού. Η ποσοστιαία μείωση των κολοβακτηριδίων ήταν σημαντικά μικρότερη κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους μήνες. Ένα μοντέλο παλινδρόμησης της εκατοστιαίας μείωσης κολοβακτηριδίων ως εξαρτημένης μεταβλητής και της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας ως ανεξάρτητες μεταβλητές παρουσίασε καλή προσαρμογή ($R^2 = 0,89$). Ιδιαίτερως, η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία είχαν θετική επίδραση στην εκατοστιαία μείωση κολοβακτηριδίων, με τη θερμοκρασία να έχει μικρότερη επιρροή (52).

Εφαρμογές SF στον Κόσμο

- **Εφαρμογή στην Τουρκία**

Το 2001, δύο κατακόρυφης ροής τεχνητοί υδροβιότοποι με διαστάσεις 6,5 m x 4,5 m x 0,60 m (L x W x D) και επιφάνειας 30 m² ο καθένας τέθηκαν σε εφαρμογή σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο METU της Άγκυρας (53). Ο πυθμένας τους είχε σφραγιστεί με γεωύφασμα. Μια κλίση 1% δημιουργήθηκε στον πυθμένα ώστε να επιτρέπεται ευκολότερα η συλλογή νερού.

Ένας από τους υδροβιότους πληρώθηκε με χαλίκι (15 cm διαστάσεων 15-30 mm και 30 cm διαστάσεων 7-15 mm) από τον πυθμένα ως την κορυφή κι έπειτα με άμμο (15 cm διαστάσεων 0-3 mm), ενώ ο άλλος πληρώθηκε πρώτα με χαλίκι (15 cm διαστάσεων 15-30 mm), έπειτα με γαιώδης σκωρία (30 cm διαστάσεων 0-3 mm) και τελικά με άμμο (15 cm διαστάσεων 0-3 mm). Οι τεχνητοί υδροβιότοποι φυτεύτηκαν με βλαστούς του *Phragmites australis*, που μεταφέρθηκαν από φυσικές κλίνες καλαμιών στην πανεπιστημιούπολη και μεταφυτεύτηκαν με πυκνότητα 9 φυτών /m².

Οι υδροβιότοποι λειτούργησαν με όμοιο τρόπο με ροή 3 m³/d και υδραυλικό ρυθμό εφαρμογής (HLR) 0,100 m/d, περιοδικά. Ο κύριος σκοπός της έρευνας ήταν να προσδιορισθεί η επίδραση διαφορετικών υποστρωμάτων (χαλίκι και γαιώδης σκωρία) στην απομάκρυνση θρεπτικών στο επικρατών κλίμα της Άγκυρας. Σύμφωνα με την παρακολούθηση του συστήματος, ο μέσος όρος της αποτελεσματικότητας απομάκρυνσης για τις κλίνες καλαμιών με γαιώδη σκωρία και χαλίκι ήταν ως ακολούθως: TSS (64% και 62%), COD (49% και 40%), NH₄⁺-N (88% και 58%), TN (41% και 44%), TP (63% και 9%) και PO₄⁻ (60% και 4%). Σε γενικές γραμμές, η επεξεργασία είναι αποδοτικότερη στο σύστημα με γαιώδης σκωρία σε σχέση με το σύστημα χαλικιού (53).

- **Εφαρμογή στην Αυστρία**

Από το 1991, το ινστιτούτο για την πρόνοια του νερού λειτουργεί δύο κατακόρυφης ροής τεχνητούς υδροβιότους για επεξεργασία οικιακών υγρών αποβλήτων σε δύο αγροκτήματα στη Βόρεια Αυστρία (54). Τα συστήματα είναι σχεδιασμένα για ελαχιστοποίηση οργανικών ενώσεων και νιτροποίηση. Το 1995, εξετάστηκαν δύο μέθοδοι ώστε να επιτευχθεί απονιτροποίηση επίσης στα συστήματα. Το σύστημα Α είναι ένα σύστημα ενός σταδίου, ενώ το σύστημα Β έχει δύο στάδια εφαρμοζόμενα σε σειρά. Η προσέγγιση στο σύστημα ενός σταδίου συνίσταται στην άντληση ενός μέρους της νιτροποιημένης εκροής από το φίλτρο εδάφους πίσω στη δεξαμενή καθίζησης της εισροής, όπου το ακατέργαστο υγρό απόβλητο αναμιγνύεται με τη νιτροποιημένη εκροή-νερό. Η προσέγγιση στο σύστημα δύο σταδίων Β συνίσταται στην προσθήκη εξωτερικής πηγής άνθρακα (μεθανόλη) στο δεύτερο, κορεσμένο σε νερό, στάδιο.

Η έρευνα έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια πολλών πειραματικών φάσεων ώστε να εξετασθεί η επίδραση του λόγου ανακυκλοφορίας (σύστημα Α) σε αντιστοιχία της τροφοδοσίας (σύστημα Β, διακοπτόμενη, συνεχής, batch). Οι υψηλότεροι ρυθμοί απομάκρυνσης επιτυγχάνονται με το σύστημα Β (δόση μεθανόλης) κατά τη διάρκεια πειραματικού σταδίου Ι (διακοπτόμενη φόρτιση 4 φορές την ημέρα). Οι μέσοι ρυθμοί ελαχιστοποίησης ήταν 82% για ανόργανο άζωτο και 78% για ολικό άζωτο. Η απόδοση ελάττωσης του ολικού αζώτου του συστήματος Α ήταν μόνο λίγο χαμηλότερη (72%). Η ελαχιστοποίηση των COD, BOD₅ και TOC δεν αντιμετώπισε

πρόβλημα κατά τη διάρκεια όλης της πειραματικής περιόδου (οι συγκεντρώσεις εξόδου των συστημάτων ήταν κάτω από τα στάνταρ της Αυστρίας) (54).

- **Εφαρμογή στη Δανία**

Επίσημες οδηγίες για επεξεργασία οικιακών λυμάτων έχουν πρόσφατα δημοσιευθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Δανίας ως συνέπεια των νέων απαιτήσεων επεξεργασίας για σπίτια και κατοικίες σε αγροτικές περιοχές (55). Συνοψίζονται οι κατευθυντήριες γραμμές για τεχνητούς υδροβιότοπους κατακόρυφης ροής (φυτεμένες κλίνες φίλτρων) που πραγματοποιούν 95% απομάκρυνση BOD και 90% νιτροποίηση. Το σύστημα μπορεί να επεκταθεί με χημική καθίζηση φωσφόρου με χλωριούχο αργίλιο στη δεξαμενή καθίζησης, ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για 90% απομάκρυνση φωσφόρου. Η απαιτούμενη επιφάνεια της κλίνης του φίλτρου είναι ίση με $3,2 \text{ m}^2/\text{ισοδύναμο άτομο}$ και το αποτελεσματικό βάθος του φίλτρου είναι 1 m. Το μέσο του φίλτρου πρέπει να είναι άμμος με d_{10} μεταξύ 0,25 και 1,2 mm, d_{60} μεταξύ 1 και 4 mm και συντελεστή ομοιομορφίας ($U=d_{60}/d_{10}$) μικρότερο από 3,5. Τα λύματα, μετά την καθίζηση, τροφοδοτούνται στην επιφάνεια της κλίνης με χρήση αντλίας κι ένα δίκτυο σωλήνων διανομής. Το στρώμα αποστράγγισης στον πυθμένα της κλίνης αερίζεται παθητικά μέσω κάθετων σωλήνων που επεκτείνονται προς την ατμόσφαιρα με σκοπό να βελτιωθεί η μεταφορά οξυγόνου στο μέσο της κλίνης (55).

- **Εφαρμογή στην Ολλανδία**

Για να εκτιμηθεί η ικανότητα απομάκρυνσης των θρεπτικών και οργανικών υλικών (BOD5 και COD) ενός τεχνητού υδροβιότοπου κατακόρυφης ροής στην Ολλανδία, συντάχθηκε μια μελέτη προϋπολογισμού νερού και θρεπτικών (56).

Το σύστημα είχε ως βλάστηση *Phragmites australis* και περιελάμβανε 4 παράλληλα διαμερίσματα με 0,25 ha το καθένα, που φορτίζονταν διαδοχικά με υγρά απόβλητα από ψυχαγωγικές δραστηριότητες. Οι ετήσιοι ρυθμοί φόρτισης μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν να είναι $16700 \text{ kg COD ha}^{-1}$, $6700 \text{ kg BOD5 ha}^{-1}$, $2400 \text{ kg N ha}^{-1}$, 355 kg P ha^{-1} .

Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης για το COD (81%) και το BOD5 (96%) ήταν υψηλή. Σχεδόν όλα τα *Escherichia coli* και F-specific RNA βακτηριοφάγοι (>99%) απομακρύνθηκαν από τα υγρά απόβλητα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης για το άζωτο (30%) και το φώσφορο (24%) ήταν πολύ χαμηλότερη. Η απομάκρυνση των θρεπτικών ήταν αποτέλεσμα της πρόσληψης των φυτών και της συγκομιδής (15% του συνολικού N εισόδου, 10% του συνολικού P εισόδου), της απονιτροποίησης (8% του συνολικού N εισόδου) και της καθίζησης και συσσώρευσης οργανικού υλικού στο έδαφος (7% του συνολικού N εισόδου, 14% του συνολικού P εισόδου). Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης για N και P μπορεί να αυξηθεί με συγκομιδή της βλάστησης *Phragmites* τον Οκτώβριο, σε σχέση με την χρησιμοποιούμενη πρακτική συγκομιδής το Δεκέμβριο. Αυτός ο υδροβιότοπος κατακόρυφης ροής φαίνεται να είναι κορεσμένος σε P μετά από 15 έτη εφαρμογής. Η χρήση ιζημάτων άμμου με καλύτερες ιδιότητες προσρόφησης P συνιστάται ως κρίσιμο στοιχείο για το σχεδιασμό των συστημάτων αυτών (56).

- **Εφαρμογή στη Γαλλία**

Οι τεχνητοί υδροβιότοποι κατακόρυφης ροής έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς στη Γαλλία τα πέντε τελευταία έτη. Η Γαλλική διάταξη αφορά συστήματα δύο σταδίων όπου στο

πρώτο στάδιο γίνεται απευθείας επεξεργασία ακατέργαστων υγρών αποβλήτων σε τρία φίλτρα εν παραλλήλω, με εναλλασσόμενες φάσεις τροφοδοσίας και παραμονής (57). Η επιτυχία τους (περισσότερες από 400 εγκαταστάσεις σε λειτουργία και 100 κατασκευές ανά έτος) οφείλεται στην καλή απόδοση που παρουσιάζουν όσον αφορά στα αιωρούμενα στερεά, το COD και τη νιτροποίηση (57) και στην αποδοχή των ακατέργαστων υγρών αποβλήτων στα φίλτρα πρώτου σταδίου που οδηγούν σε ευκολότερη διαχείριση της ιλύος. Αν προσθέσουμε το χαμηλό κόστος εφαρμογής, γίνεται εύκολα κατανοητή η επιλογή αυτή για οικισμούς με λιγότερους από 2000 ισοδύναμους κατοίκους (57).

Η μελέτη του Colomieu έδειξε ότι μια αποσπασματική υπερφόρτιση μεγαλύτερη από 4 m/day (μεγαλύτερη 10 φορές από την υδραυλική ροή ξηρού καιρού) και συνεχείς υπερφορτίσεις πάνω από 5 μήνες με 1,8 m/day (μεγαλύτερη 5 φορές από την υδραυλική ροή ξηρού καιρού) μπορούν να διέλθουν μέσω των φίλτρων, επιδέχονται επεξεργασία και ικανοποιούν τους ποιοτικούς στόχους της Γαλλίας (COD: 125 mg/l, BOD: 25 mg/l) (57).

- **Εφαρμογή στο Βέλγιο**

Έλαβε χώρα εκτεταμένη συλλογή δεδομένων από 107 τεχνητούς υγροβιότοπους που λειτουργούσαν στο Βέλγιο και με βάση αυτά βγήκαν ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα για την απόδοσή τους (58).

Τα μεγέθη σχεδιασμού ποίκιλαν μεταξύ 1 και 2000 ισοδύναμων κατοίκων με την πλειονότητα των κλινών καλαμιών να έχουν μέγεθος μικρότερο από 500 ισοδύναμους κατοίκους. Οι περισσότερες κλίνες καλαμιών χρησιμοποιήθηκαν ως απλές μονάδες, αν και μερικές φορές συνδυάζονταν με άλλες κλίνες καλαμιών ή ακόμη και με συμβατικά συστήματα. Ο κύριος σκοπός ήταν η επεξεργασία οικιακών και γαλακτοκομικών υγρών αποβλήτων. Βέλτιστη συνολική απόδοση παρουσιάστηκε με τους κατακόρυφης ροής υγροβιότοπους και ήταν 94% για το COD, 98% για τα SS, 52% για το TN και 70% για τον TP, εκτός από το ολικό άζωτο όπου τα συνδυασμένα συστήματα κλινών καλαμιών είχαν μεγαλύτερη απόδοση (91% για το COD, 94% για τα SS, 65% για το TN και 52% για τον TP) (58).

- **Εφαρμογή στη Βραζιλία**

Η Πολιτεία Santa Catarina, της νοτίου Βραζιλίας, έχει τις μεγαλύτερες δραστηριότητες αναπαραγωγής χοίρων της Λατινικής Αμερικής. Γενικά, τα υγρά απόβλητα χοιροστασιών επεξεργάζονται σε συστήματα λιμνών που είναι ικανά να απομακρύνουν οργανικό υλικό, εντούτοις τα συστήματα αυτά δεν απομακρύνουν άζωτο και φώσφορο αποτελεσματικά. Η εργασία αυτή ασχολείται με ένα σύστημα επεξεργασίας που χρησιμοποιεί τεχνητούς υγροβιότοπους κατακόρυφης ροής (59). Η έρευνα διεξήχθη σε ένα αγρόκτημα παραγωγής χοίρων που έχει 45000 ζώα. Ένας πιλοτικός τεχνητός υγροβιότοπος κατακόρυφης ροής τεσσάρων κλινών, που χρησιμοποιούσε *Typha spp.*, κατασκευάστηκε. Η πιλοτική εγκατάσταση λειτούργησε για 280 ημέρες για τις κλίνες 2 και 4 (άμμος 2). Ωστόσο, τα πειράματα με τις κλίνες 1 και 3 (άμμος 1) σταμάτησαν μετά το πέρας 111 ημερών εφαρμογής, όταν μια μείωση στο υγρό απόβλητο αποστράγγισης παρατηρήθηκε. Οι κλίνες με την άμμο 2 κατέδειξαν μια απομάκρυνση 33% σε COD και περίπου 49% νιτροποίηση παρατηρήθηκε από τις 111 ημέρες ως το τέλος της εφαρμογής. Η απομάκρυνση των PO₄-P ήταν 45% με ρυθμό φόρτισης περίπου 1,36 gm⁻²d⁻¹ (59).

- **Εφαρμογή στην Αυστραλία**

Μια σειρά συστημάτων υδροβιότοπων κατακόρυφης ροής εγκαταστάθηκε τα έτη 1989 και 1990 για την επεξεργασία έως 130 m³/day υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί πρωτοβάθμια καθίζηση στη βόρεια ακτή της New South Wales στην Αυστραλία ως πιλοτική κλίμακα του μικρόκοσμου υδροβιότοπων με την υδρολογική αυτή διάταξη (60). Πραγματοποιήθηκε έλεγχος της ποιότητας νερού εισόδου και εξόδου σε εβδομαδιαία βάση από τον Ιανουάριο του 1991 έως το Φεβρουάριο του 1992. Μερικές παράμετροι διαχείρισης (όπως ρυθμοί ροής) μεταβάλλονταν κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής. Σε γενικές γραμμές, η απομάκρυνση θρεπτικών ήταν χαμηλότερη από το αναμενόμενο, με μεταξύ 20% και 40% μείωση στις συγκεντρώσεις και απομάκρυνση φορτίων για περισσότερο από ένα χρόνο. Οι απομακρύνσεις σε αιωρούμενα στερεά και BOD ήταν εξαιρετικές και επίσης σημειώθηκε μη αναμενόμενα καλή απομάκρυνση των περιττωματικών κολοβακτηριδίων. Η μείωση των ρυθμών ροής βελτίωσε την απόδοση σε έντονο βαθμό σε όλες τις παραμέτρους.

Όρια εκροής με βάση την νομοθεσία

Πίνακας 17: Απαιτούμενη Ποιότητα Εκροών (61).

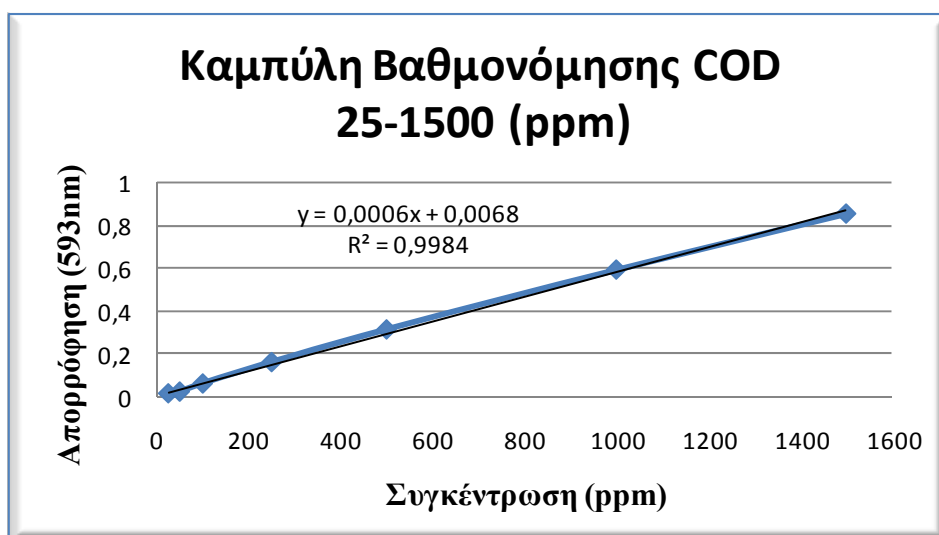
Παράμετρος	BOD ₅	COD	TSS	Ολικό Αζωτο (N)	Ολικά Κολοβακτηριοειδή	Κοπρανώδη Κολοβακτηριοειδή
Απαίτηση (mg/l)	<25	<100	<50	<15	<1000 σε 100ml	<200 σε 100ml

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

Καμπύλες Βαθμονόμησης

1. Καμπύλη Βαθμονόμησης COD για 25-1500ppm.(3)

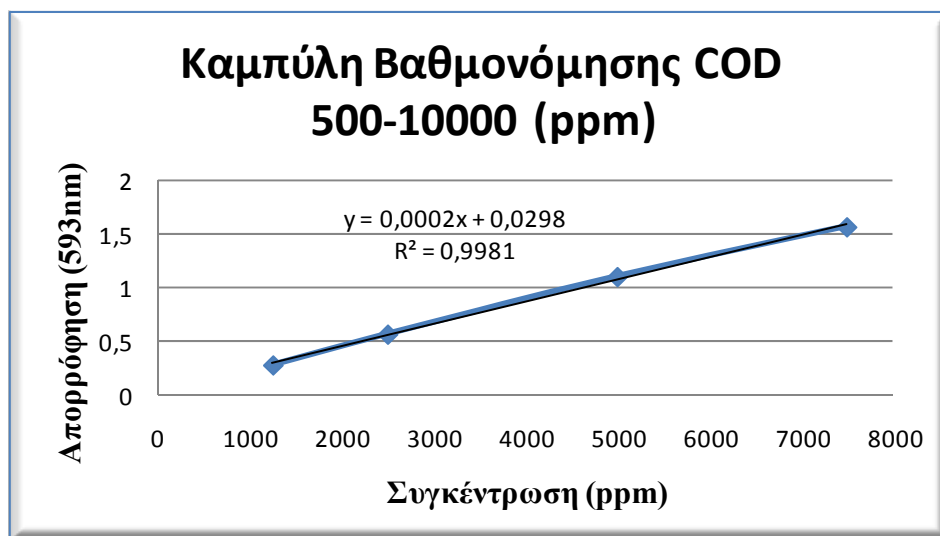
Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
25	0,014
50	0,022
100	0,06
250	0,16
500	0,313
1000	0,593
1500	0,855



Διάγραμμα 17: Καμπύλη Βαθμονόμησης COD για 25-1500ppm.

2. Καμπύλη Βαθμονόμησης COD για 500-10000ppm.(3)

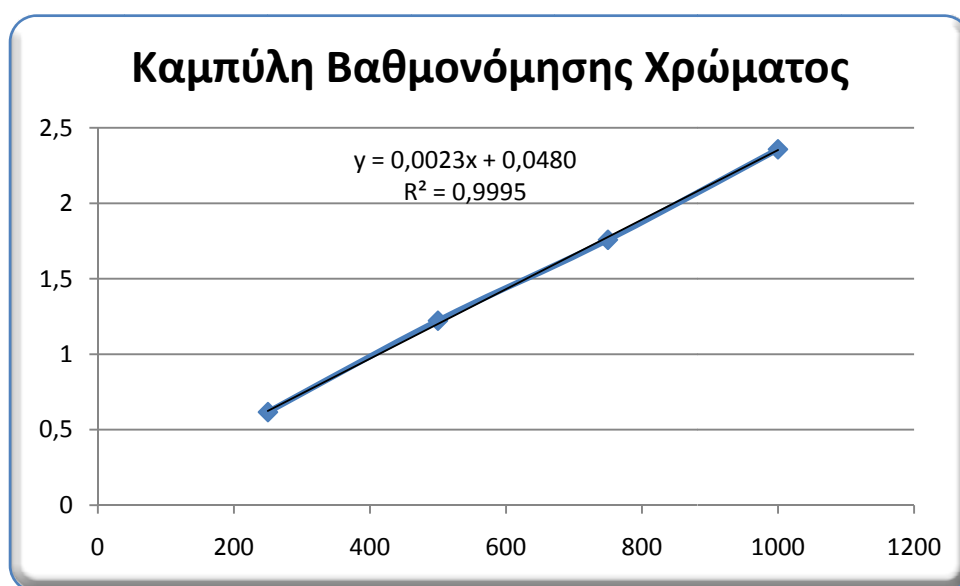
Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση (ABS)
1250	0,269
2500	0,558
5000	1,098
7500	1,565



Διάγραμμα 18: Καμπύλη Βαθμονόμησης COD για 500-10000ppm.

3. Καμπύλη Βαθμονόμησης Χρώματος.(3)

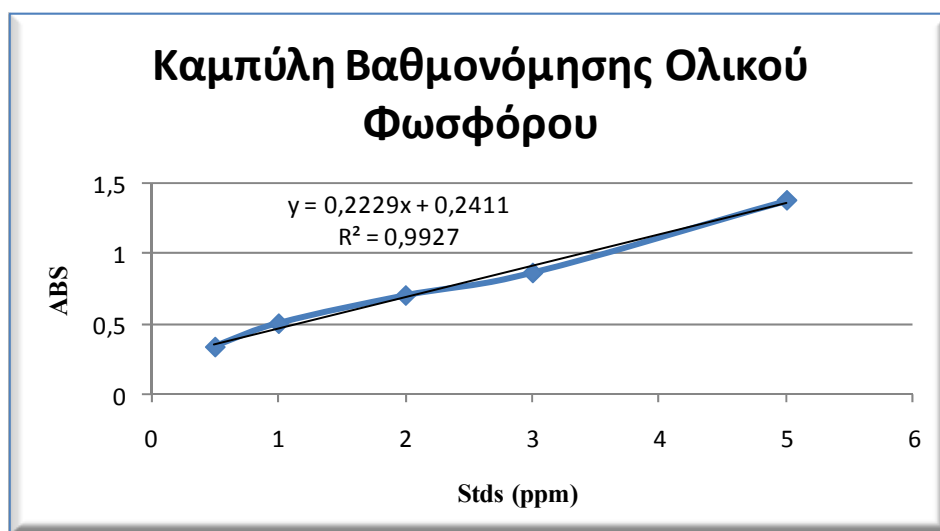
Δείγμα	Απορρόφηση	TCU
Σύνθετο χρώματος	2,358	1000
1: 1,5 αραίωση	1,758	750
1:2 αραίωση	1,222	500
1:4 αραίωση	0,616	250



Διάγραμμα 19: Καμπύλη Βαθμονόμησης Χρώματος.

4. Καμπύλη Βαθμονόμησης Ολικού Φωσφόρου (62).

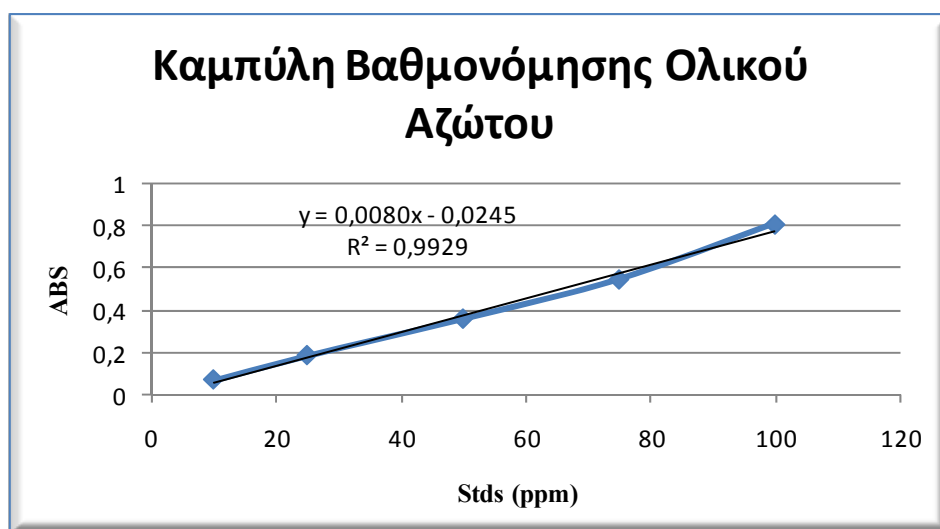
Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση
0,5	0,334
1	0,5
2	0,7
3	0,86
5	1,375



Διάγραμμα 20: Καμπύλη Βαθμονόμησης Ολικού Φωσφόρου (TP).

5. Καμπύλη Βαθμονόμησης Ολικού Αζώτου (62).

Συγκέντρωση (ppm)	Απορρόφηση
10	0,068
25	0,184
50	0,358
75	0,545
100	0,807



Διάγραμμα 21: Καμπύλη Βαθμονόμησης Ολικού Αζώτου (TN).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Πειραματικών Μετρήσεων

Πίνακας 18: Πλήρης Χαρακτηρισμός του Υγρού Αποβλήτου στις 22/5/08.

Παράμετρος	Μονάδες	Δείγμα (22/5/08)						Απομάκρυνση		
		1	2	3	4	5	6	στην Η.Ο	στον Τ.Υ (Α)	στον Τ.Υ (Β)
pH		8,15	7,90	8,10	8,10	9,20	8,90			
COD	mg/L	9.744	5.864	2.042	2.842	1.044	567	39,82%	67,62%	87,81%
TSS	g/L	1,90	1,12	0,37	0,63	0,31	0,16	41,11%	47,36%	84,56%
TN	mg/L	35,19	23,60	7,87	11,73	10,94	14,70	32,94%	11,92%	23,42%
TP	mg/L	19,00	16,60	5,53	6,33	3,40	6,33	12,63%	61,08%	38,92%
TCU	TCU	16.450	11.450	5.031	7.040	5.257	2.979	30,40%	33,82%	74,14%
DOC	ppm	3.535	2.747	916	1.178	407	217	22,29%	71,85%	88,75%
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	mS/cm	14,32	14	-	-	5,81	3,24			
EC50										
→5 min	%	3,598	2,041	7,865	9,842	25,64	Δ.Α*			
→15 min	%	3,797	2,069	7,117	11,23	28,06	Δ.Α*			
(1): Πριν Η.Ο (21/5/08)										
(2): Μετά Η.Ο (21/5/08)										
(3): Είσοδος στον Α (Ain)										
(4): Είσοδος στον Β (Bin)										
(5): Εξοδος από τον Α (Aout)										
(6): Εξοδος από τον Β (Bout)										
Δ.Α* : Δεν ανιχνεύτηκε η τοξικότητα του γιατί το 81,9% του δείγματος προκαλεί λιγότερη από 50% της φωταύγειας των βακτηριδίων στο δείγμα										

Πίνακας 19: Πλήρης Χαρακτηρισμός του Υγρού Αποβλήτου στις 15/6/08

Παράμετρος	Μονάδες	Δείγμα (15/6/08)								Απομάκρυνση			
		1	2	3	4	5	6	7	8	στην Η.Ο	στον Τ.Υ (Α)	στον Τ.Υ (Β)	στην Η.Ο Μετά την Bout
pH		8,61	8,42	7,82	8,18	8,79	8,63	8,51	8,63				
COD	mg/L	6.252	3.692	1.681	2.451	1.127	1.189	814	320	40,95%	63,80%	76,71%	60,69%
TSS	mg/L	1.840	990	495	920	430	340	1.560	290	46,20%	53,09%	82,26%	81,41%
TN	mg/L	34,56	32,06	16,03	17,28	23,19	25,69	24,81	22,56	7,23%	21,88%	28,64%	9,07%
TP	mg/L	26,41	23,11	11,56	13,21	5,16	6,64	5,81	4,97	12,50%	75,90%	75,87%	14,49%
TCU	TCU	12.600	9.156	6.193	9.119	4.779	6.089	4.132	1.101	27,33%	58,33%	67,95%	73,35%
DOC	ppm	3.353	2.998	1.499	1.677	1.256	1.398	3.002	1.544	10,59%	54,75%	59,99%	48,57%
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	mS/cm	14,27	14,7	7,62	7,89	7,74	6,35	4,83	5,12				
EC50													
→5 min	%	12,61	4,446	8,892	25,22	27,46	39,79	45,09	Δ.Α*				
→15 min	%	12,67	4,792	9,584	25,34	28,99	44,11	52,33	Δ.Α*				
(1): Πριν Η.Ο (10/6/08)													
(2): Μετά Η.Ο (10/6/08)													
(3): Είσοδος στον Α (Ain)													
(4): Είσοδος στον Β (Bin)													
(5): Εξοδος από τον Α (Aout)													
(6): Εξοδος από τον Β (Bout)													
(7): 10L από Bout & πριν Η.Ο (19/6/08)													
(8): 10L από Bout & μετά Η.Ο (19/6/08)													
Δ.Α* : Δεν ανιχνεύτηκε η τοξικότητα του γιατί το 81,9% του δείγματος προκαλεί λιγότερη από 50% της φωταύγειας των βακτηριδίων στο δείγμα													

Πίνακας 20: Αποτελέσματα Μετρήσεων του Τεχνητού Υγροβιότοπου "Α" κατά την Διάρκεια του Πειράματος.

DATE	Παροχή		Βροχόπτωση		E=(in+ rain) -out	COD							TCU							Οργανική Φόρτιση	
	in	out	(mm)	(L)		(L)	Αρχικό	Αραίωση λογω φόρτισης		Αραίωση λογω βροχόπτ-ωσης	in	out	Απομάκρυνση (%)	Αρχικό	Αραίωση λογω φόρτισης		Αραίωση λογω βροχόπτ-ωσης	in	out		Αποχρωματισμός (%)
								λόγος αραίωσης (1 προς)	Τιμή COD						λόγος αραίωσης (1 προς)	Τιμή TCU					
4 apr	0,6	0	8,20	1,94	-	11.600	1	11.600	2.736	2.736			-	1	-					9,75	
7 apr	0,6	0	16,00	3,79	-	11.600	1	11.600	1.585	1.585			-	1	-					9,75	
10 apr	0,6	0	0,00	0,00	-	11.600	1	11.600	11.600	11.600			-	1	-					9,75	
13 apr	3	0	0,00	0,00	-	10.964	3	3.655	3.655	3.655			15.210	3	5.070	5.070	5.070			15,36	
16 apr	3	1,8	0,00	0,00	1,20	10.964	3	3.655	3.655	3.655			15.210	3	5.070	5.070	5.070			15,36	
19 apr	3	1,6	0,00	0,00	1,40	10.964	3	3.655	3.655	3.655			15.210	3	5.070	5.070	5.070			15,36	
22 apr	3	2	0,00	0,00	1,00	10.964	3	3.655	3.655	3.655			15.210	3	5.070	5.070	5.070			15,36	
25 apr	3	2	0,00	0,00	1,00	10.704	3	3.568	3.568	3.568			14.475	3	4.825	4.825	5.070			14,99	
28 apr	3	6	18,80	4,46	1,46	10.704	3	3.568	1.436	1.436			14.475	3	4.825	1.941	2.040			14,99	
1 may	3	2	0,00	0,00	1,00	10.704	3	3.568	3.568	3.568	977	81,75%	14.478	3	4.826	4.826	4.826	3384	53,25%	14,99	
4 may	3	1,8	0,00	0,00	1,20	10.704	3	3.568	3.568	3.568	1.021	82,83%	14.475	3	4.825	4.825	4.825	3582	55,46%	14,99	
7 may	3	2	0,50	0,12	1,12	10.704	3	3.568	3.432	3.432	1.214	77,32%	14.475	3	4.825	4.642	4.642	4084	43,57%	14,99	
10 may	3	2,2	3,60	0,85	1,65	10.704	3	3.568	2.778	2.778	1.234	74,64%	14.475	3	4.825	3.757	3.757	4.115	37,46%	14,99	
13 may	3	2,05	0,20	0,0474	1,00	10.704	3	3.568	3.513	3.513	1.371	73,74%	14.475	3	4.825	4.750	4.750	4.480	36,55%	14,99	
16 may	3	1,7	0,00	0	1,30	3.736	3	1.245	1.245	1.245	1.134	48,39%	15.321	3	5.107	5.107	5.107	4.863	46,04%	5,23	
19 may	3	1,5	0,00	0	1,50	10.684	3	3.561	3.561	3.561	1.111	84,40%	12.290	3	4.097	4.097	4.097	4.487	45,24%	14,96	
22 may	3	1,9	0,00	0	1,10	6.126	3	2.042	2.042	2.042	1.044	67,62%	12.093	3	4.031	4.031	4.031	5257	17,40%	8,58	
25 may	3	1,5	0,00	0	1,50	10.926	3	3.642	3.642	3.642	1.194	83,61%	12.351	3	4.117	4.117	4.117	5050	38,67%	15,30	
28 may	3	1,5	0,00	0	1,50	6.066	3	2.022	2.022	2.022	1.231	69,56%	12.654	3	4.218	4.218	4.218	4.790	43,22%	8,50	
31 may	3	1,6	0,00	0	1,40	6.224	3	2.075	2.075	2.075	1.219	68,67%	12.276	3	4.092	4.092	4.092	4.226	44,92%	8,72	
3 jun	4,5	2,6	0,00	0	1,90	6.198	3	2.066	2.066	2.066	1.184	66,89%	14.547	3	4.849	4.849	4.849	3.710	55,79%	13,02	
6 jun	4,5	3	0,00	0	1,50	5.553	3	1.851	1.851	1.851	1.211	56,38%	13.041	3	4.347	4.347	4.347	4.949	24,10%	11,67	
9 jun	4,5	2,5	0,00	0	2,00	5.253	3	1.751	1.751	1.751	1.097	65,19%	14.859	3	4.953	4.953	4.953	5079	43,03%	11,04	
12 jun	4,5	2,7	0,00	0	1,80	3.213	3	1.071	1.071	1.071	1.109	37,87%	14.175	3	4.725	4.725	4.725	5.241	33,45%	6,75	
15 jun	5	2,7	0,00	0	2,30	3.362	2	1.681	1.681	1.681	1.127	63,80%	12.386	2	6.193	6.193	6.193	4.779	58,33%	11,77	
18 jun	4	2	0,00	0	2,00	2.924	4	731	731	731	1.089	25,51%	15.724	4	3.931	3.931	3.931	7.485	4,80%	4,10	
21 jun	5	3,1	0,00	0	1,90	2.505	5	501	501	501	1.072	-32,66%	17.025	5	3.405	3.405	3.405	4.273	22,20%	3,51	
24 jun	4	2,1	0,00	0	1,90	3.316	4	829	829	829	972	38,44%	14.920	4	3.730	3.730	3.730	5.309	25,28%	4,64	
27 jun	5	3,3	0,00	0	1,70	3.543	5	709	709	709	972	9,52%	18.700	5	3.740	3.740	3.740	5.313	6,24%	4,96	
30 jun	5	2,8	0,00	0	2,20	3.110	5	622	622	622	919	17,26%	13.585	5	2.717	2.717	2.717	4.440	8,49%	4,36	
3 jul	5	2,9	0,00	0	2,10	3.110	5	622	622	622	882	17,76%	15.392	5	3.078	3.078	3.078	3.479	34,44%	4,36	
6 jul	5	3,3	0,00	0	1,70	2.760	5	552	552	552	814	2,67%	15.825	5	3.165	3.165	3.165	4.697	2,05%	3,87	
9 jul	5	2,8	0,00	0	2,20	2.695	5	539	539	539	860	10,65%	14.370	5	2.874	2.874	2.874	4.701	8,40%	3,77	
12 jul	5	2,5	0,00	0	2,50	2.576	5	515	515	515	635	38,35%	15.482	5	3.096	3.096	3.096	4.153	32,93%	3,61	
15 jul	5	2,6	0,00	0	2,40	2.795	5	559	559	559	739	31,26%	14.687	5	2.937	2.937	2.937	4.562	19,23%	3,91	

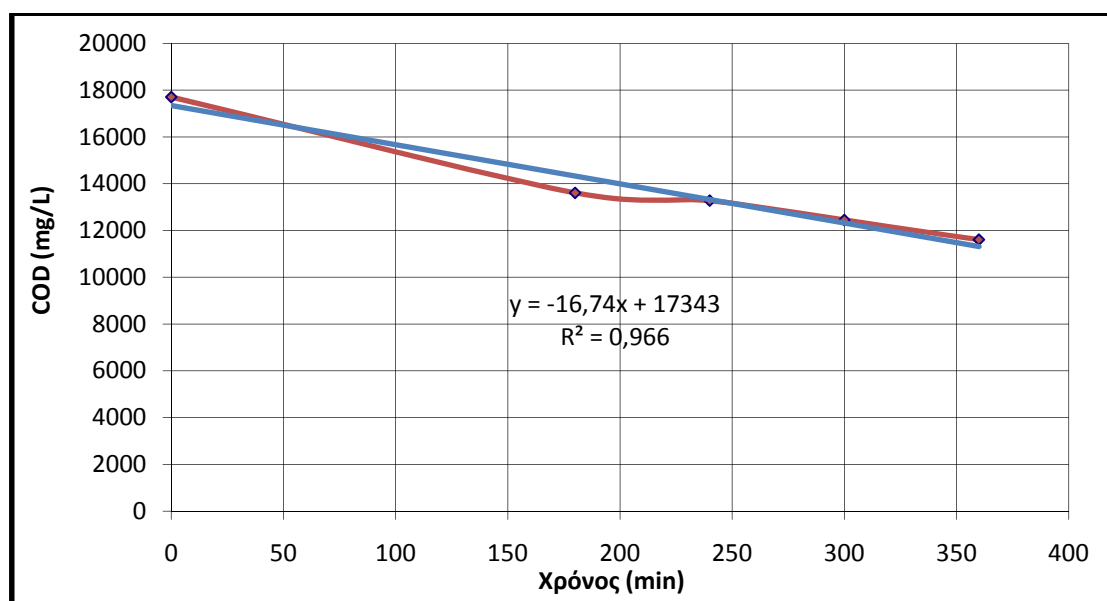
Πίνακας 21: Αποτελέσματα Μετρήσεων του Τεχνητού Υγροβιότοπου "B" κατά την διάρκεια του Πειράματος.

DATE	Παροχή		Βροχόπτωσ ης		E=(in+rain) - out	COD					Απομάκ ρυνση (%)	TCU							Οργανική Φόρτιση		
	in (L)	out (L)	(mm)	(L)		(L)	Αρχικό	Αραίωση λογw φόρτισης		Αραίωση λογw βροχόπτ ωσης		in	out	Αρχικό	Αραίωση λογw φόρτισης		Αραίωση λογw βροχόπτ ωσης	in		out	Αποχρωμα τισμός (%)
								λόγος αραίωσης (1 προς)	Τιμή COD						λόγος αραίωσης (1 προς)	Τιμή TCU					
4 apr	0,4	0,000	8,2	1,94	-	17.700	1	17.700	3.021	3.021			-	1	-	-			-	9,92	
7 apr	0,4	0,000	16	3,79	-	17.700	1	17.700	1.689	1.689			-	1	-	-			-	9,92	
10 apr	0,4	0,000		0,00	-	17.700	1	17.700	17.700	17.700			-	1	-	-			-	9,92	
13 apr	1,8	0,000		0,00	-	14.944	3	4.981	4.981	4.981			14.694	3	4.898	4.898	4.898	4.898	-	12,56	
16 apr	1,8	1,500		0,00	0,30	14.944	3	4.981	4.981	4.981			14.694	3	4.898	4.898	4.898	4.898	-	12,56	
19 apr	1,8	1,600		0,00	0,20	14.944	3	4.981	4.981	4.981			14.694	3	4.898	4.898	4.898	4.898	-	12,56	
22 apr	1,8	1,500		0,00	0,30	14.944	3	4.981	4.981	4.981			15.240	3	5.080	5.080	5.080	5.080	-	12,56	
25 apr	1,8	1,500		0,00	0,30	14.104	3	4.701	4.701	4.701			15.240	3	5.080	5.080	5.080	5.080	-	11,85	
28 apr	1,8	6,000	18,8	4,46	0,26	14.104	3	4.701	1.353	1.353			15.240	3	5.080	1.462	1.462		-	11,85	
1 may	1,8	1,500		0,00	0,30	13.804	3	4.601	4.601	4.601	264	95,22%	15.130	3	5.043	5.043	5.043	5.043	1.320	78,19%	11,60
4 may	1,8	0,800		0,00	1,00	13.804	3	4.601	4.601	4.601	289	97,21%	15.130	3	5.043	5.043	5.043	5.043	1.165	89,73%	11,60
7 may	1,8	1,400	0,5	0,12	0,52	13.804	3	4.601	4.317	4.317	354	94,02%	15.130	3	5.043	4.732	4.732	4.732	1.603	75,28%	11,60
10 may	1,8	1,800	3,6	0,85	0,85	13.804	3	4.601	3.122	4.601	506	92,54%	15.130	3	5.043	3.422	3.422	2.405	52,32%	17,10	
13 may	1,8	1,350	0,2	0,05	0,50	13.804	3	4.601	4.483	4.483	444	92,76%	15.130	3	5.043	4.914	4.914	2.149	68,04%	11,60	
16 may	1,8	1,150	0	0,00	0,65	4.306	3	1.435	1.435	1.435	469	79,12%	16.800	3	5.600	5.600	5.600	2.353	73,16%	3,62	
19 may	1,8	0,700	0	0,00	1,10	11.892	3	3.964	3.964	3.964	512	94,98%	16.152	3	5.384	5.384	5.384	4.754	65,66%	9,99	
22 may	1,8	1,100	0	0,00	0,70	8.526	3	2.842	2.842	2.842	567	87,81%	21.120	3	7.040	7.040	7.040	2.979	74,14%	7,16	
25 may	1,8	0,900	0	0,00	0,90	8.556	3	2.852	2.852	2.852	585	89,74%	17.532	3	5.844	5.844	5.844	2.872	75,43%	7,19	
28 may	1,8	0,900	0	0,00	0,90	9.606	3	3.202	3.202	3.202	675	89,46%	21.207	3	7.069	7.069	7.073	3.123	77,92%	8,07	
31 may	2,4	0,900	0	0,00	1,50	8.456	3	2.819	2.819	2.819	655	91,29%	15.315	3	5.105	5.105	5.105	2.850	79,06%	9,48	
3 jun	4	2,000	0	0,00	2,00	8.004	4	2.001	2.001	2.001	830	79,26%	20.508	4	5.127	5.127	5.127	3.788	63,06%	11,21	
6 jun	4	2,400	0	0,00	1,60	8.104	4	2.026	2.026	2.026	879	73,97%	20.508	4	5.127	5.127	5.127	4.226	50,54%	11,35	
9 jun	4	1,800	0	0,00	2,20	7.204	4	1.801	1.801	1.801	881	77,99%	17.160	4	4.290	4.290	4.290	4.310	54,79%	10,09	
12 jun	4	1,600	0	0,00	2,40	3.824	4	956	956	956	935	60,88%	22.536	4	5.634	5.634	5.634	4.463	68,31%	5,36	
15 jun	5	2,400	0	0,00	2,60	4.902	2	2.451	2.451	2.451	1189	76,71%	18.232	2	9.116	9.116	9.116	6.089	67,94%	17,16	
18 jun	4	1,900	0	0,00	2,10	3.464	4	866	866	866	1072	41,20%	21.656	4	5.414	5.414	5.414	6.715	41,09%	4,85	
21 jun	5	2,500	0	0,00	2,50	3.330	5	666	666	666	1189	10,74%	24.915	5	4.983	4.983	4.983	4.393	55,92%	4,66	
24 jun	4	1,600	0	0,00	2,40	3.250	4	813	813	813	1202	40,86%	21.000	4	5.250	5.250	5.250	5.857	55,38%	4,55	
27 jun	5	2,600	0	0,00	2,40	3.820	5	764	764	764	1369	6,82%	19.285	5	3.857	3.857	3.857	4.127	44,36%	5,35	
30 jun	5	2,500	0	0,00	2,50	3.110	5	622	622	622	919	26,13%	11.085	5	2.217	2.217	2.217	4.343	2,05%	4,36	
3 jul	5	2,500	0	0,00	2,50	3.860	5	772	772	772	1205	21,96%	20.562	5	4.112	4.112	4.112	5.431	33,96%	5,41	
6 jul	5	2,000	0	0,00	3,00	3.495	5	699	699	699	1147	34,36%	16.500	5	3.300	3.300	3.300	5.079	38,44%	4,89	
9 jul	5	1,800	0	0,00	3,20	4.420	5	884	884	884	1147	53,29%	22.935	5	4.587	4.587	4.587	6.849	46,25%	6,19	
12 jul	5	2,100	0	0,00	2,90	3.920	5	784	784	784	1125	39,73%	18.647	5	3.729	3.729	3.729	4.156	53,19%	5,49	
15 jul	5	1,700	0	0,00	3,30	4.254	5	851	851	851	1347	46,18%	21.345	5	4.269	4.269	4.269	6.226	50,41%	5,96	

Αποτελέσματα Πειραματικών Δοκιμών Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης

Πίνακας 22: 1^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.

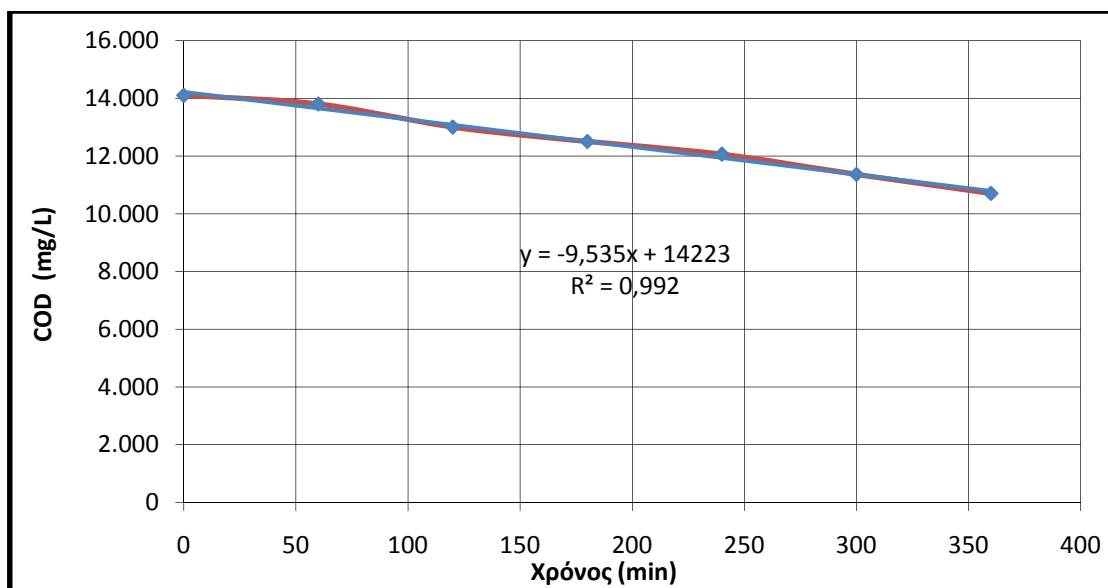
Χρόνος (min)	COD	Ένταση (A)	Τάση (V)	Θερμοκρασία (°C)	Παροχή (sec/10L)	ph
0	17.700	20,1	27,8	22	66	7,37 @ 13,9 °C
180	13.606	20,3	26,5	28	96	7,71 @ 12 °C
240	13.273	20,3	27,2	27	64	
300	12.444	20,4	26,8	29	66	
360	11.606	20,6	25	28	72	6,92 @ 11,3°C



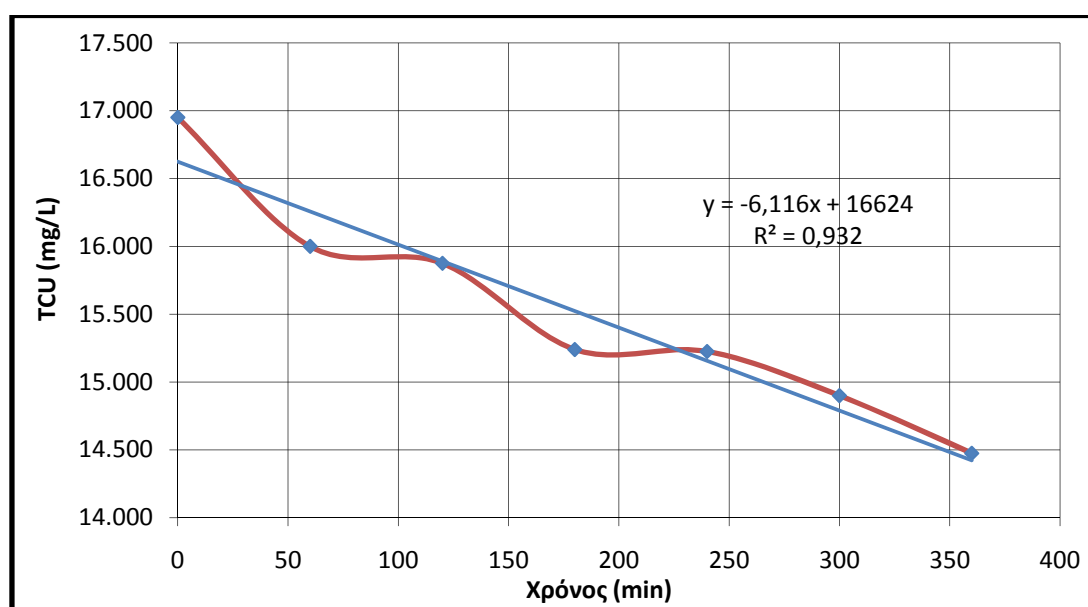
Διάγραμμα 22: 1^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (COD-Χρόνος).

Πίνακας 23: 2^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.

Χρόνος (min)	COD (mg/L)	Ένταση (A)	Τάση (V)	Θερμοκρασία (°C)	Παροχή (sec/10L)	Παρατηρήσεις	TCU
0	14.104	20,2	32	20	60		16.950
60	13.804	20,7	28	29	82		16.000
120	13.004	20,1	30	28	56	Καθαρισμός Φίλτρου	15.875
180	12.504	20,7	30	29	68		15.240
240	12.064	20,2	28	29	80		15.225
300	11.364	20,4	28	29	80	Καθαρισμός Φίλτρου	14.900
360	10.704	20,7	28	30	83		14.475



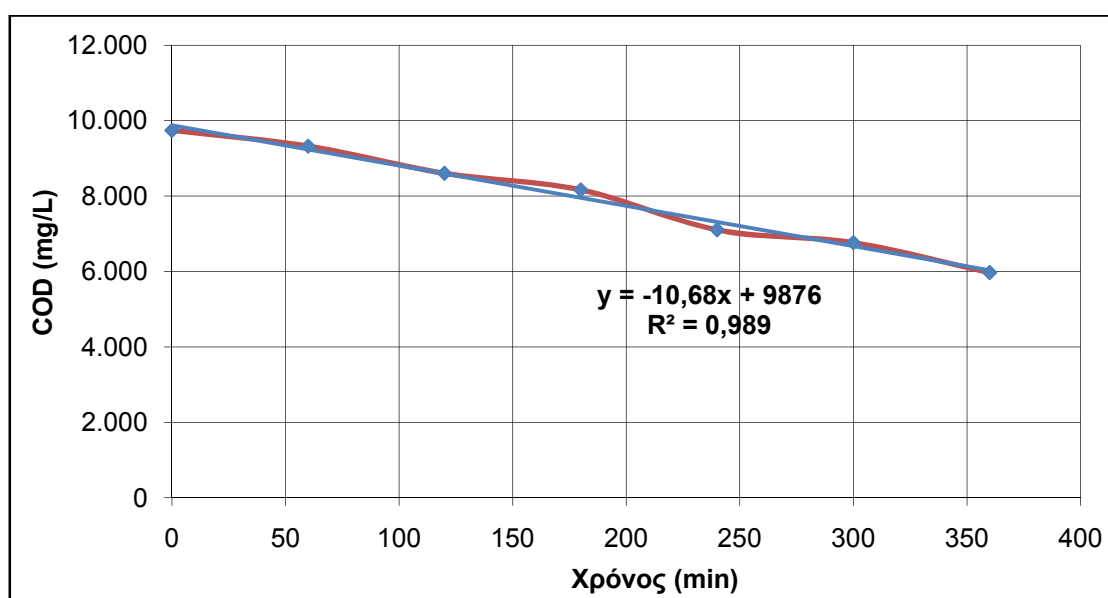
Διάγραμμα 23: 2^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (COD-Χρόνος).



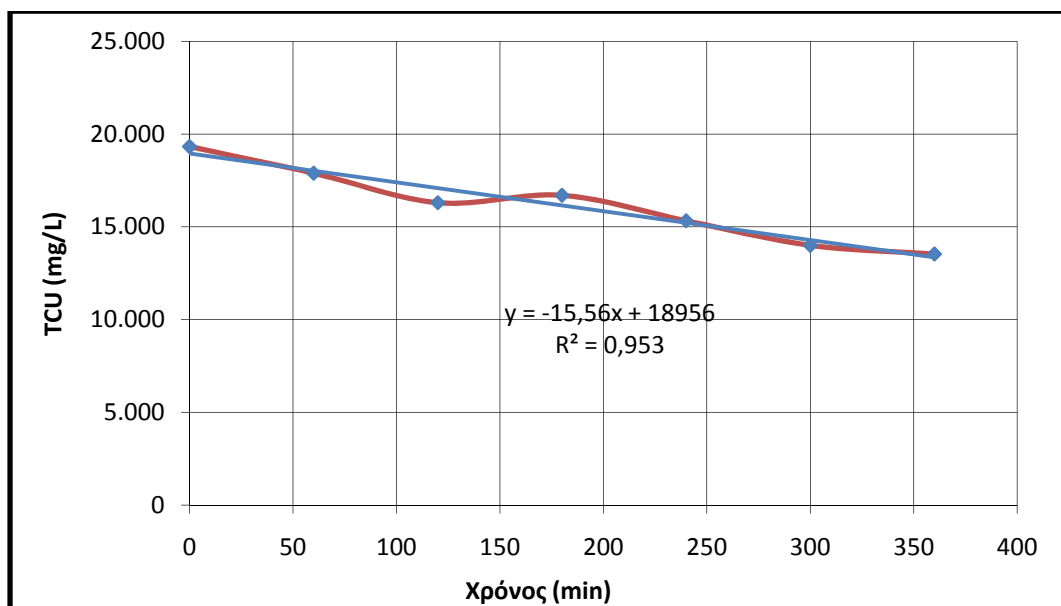
Διάγραμμα 24: 2^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (TCU-Χρόνος).

Πίνακας 24: 3^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.

Χρόνος (min)	COD (mg/L)	Ένταση (A)	Τάση (V)	Θερμοκρασία (°C)	Παροχή (sec/10L)	Παρατηρήσεις	TCU
0	9.744	20,2	29,1	24	60		19.329
60	9.324	20,2	30,2	30	94	Καθαρισμός Φίλτρου	17.890
120	8.604	20,7	27,6	31	70		16.300
180	8.164	20,3	27,4	31	94	Καθαρισμός Φίλτρου	16.700
240	7.104	20,8	27,9	30	68		15.327
300	6.764	20,5	27,5	31	70		14.000
360	5.969	20,5	21,5	32	106		13.530



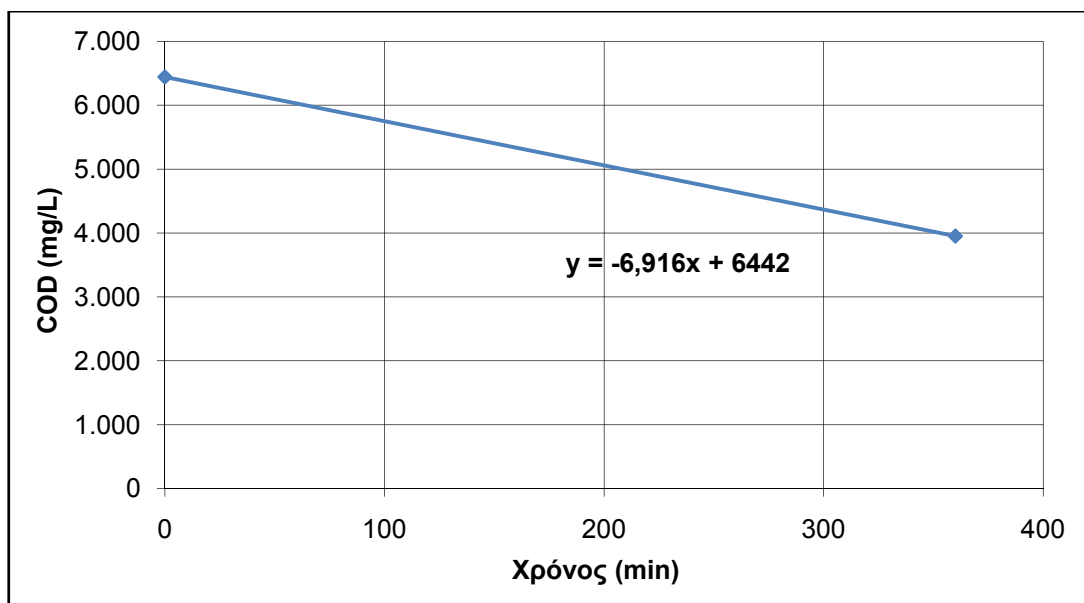
Διάγραμμα 25: 3^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (COD-Χρόνος).



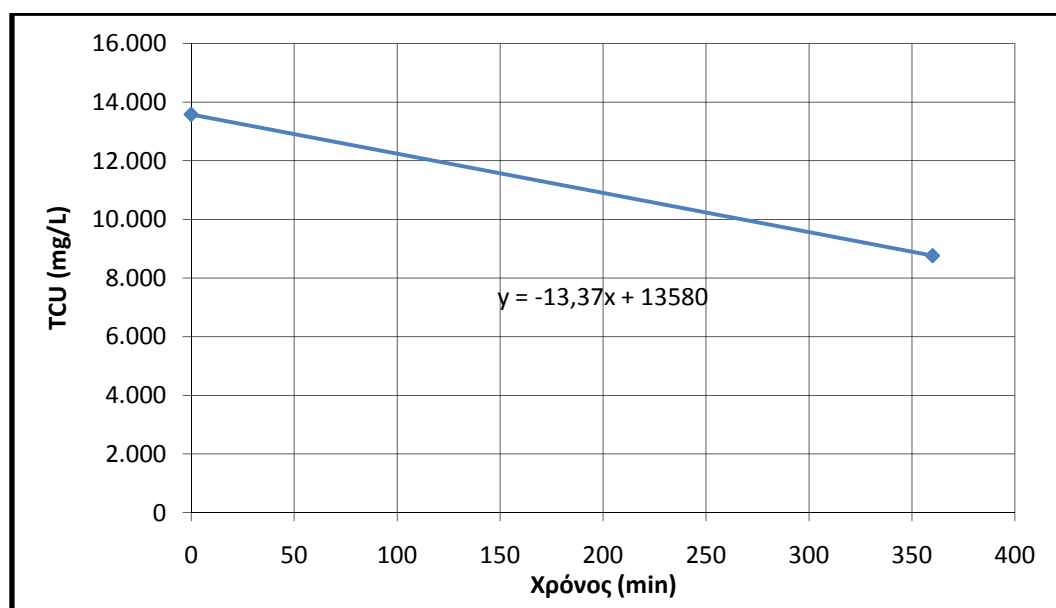
Διάγραμμα 26: 3^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (TCU-Χρόνος).

Πίνακας 25: 4^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.

Χρόνος (min)	COD (mg/L)	Ένταση (A)	Τάση (V)	Θερμοκρασία (°C)	Παροχή (sec/10L)	Παρατηρήσεις	TCU
0	6.442	20	32	23	64		13.580
60	-	20,1	26,8	33	68		-
120	-	20,3	28,9	33	84		-
180	-	20,2	29	33	56	Καθαρισμός Φίλτρου	-
240	-	20,6	26,7	33	90		-
300	-	20,6	26,6	33	58	Καθαρισμός Φίλτρου	-
360	3.952	20,4	26,5	31	64		8.764



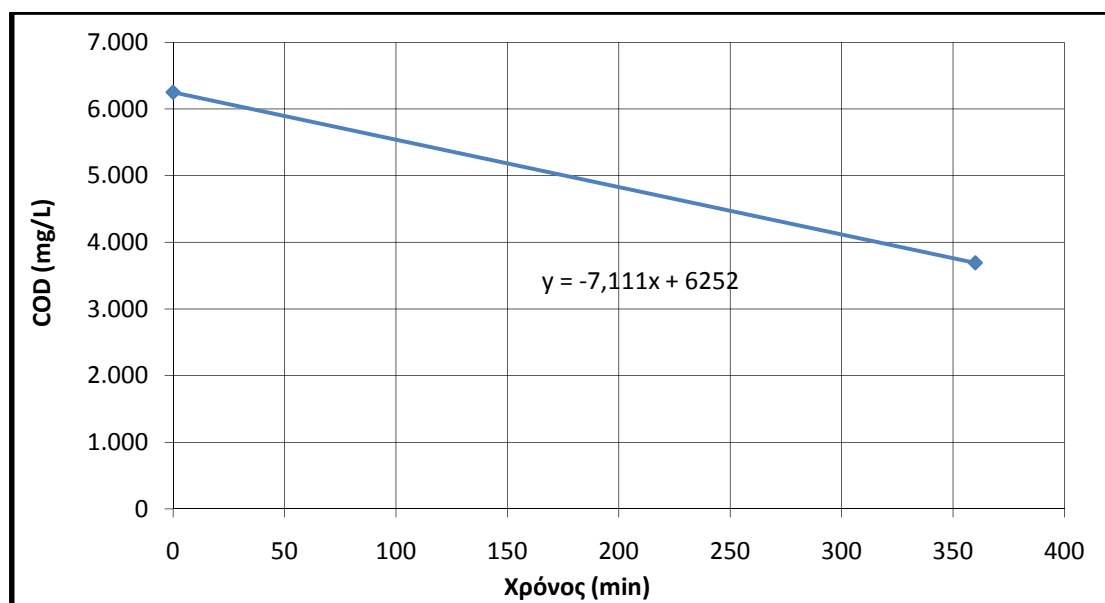
Διάγραμμα 27: 4^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (COD-Χρόνος).



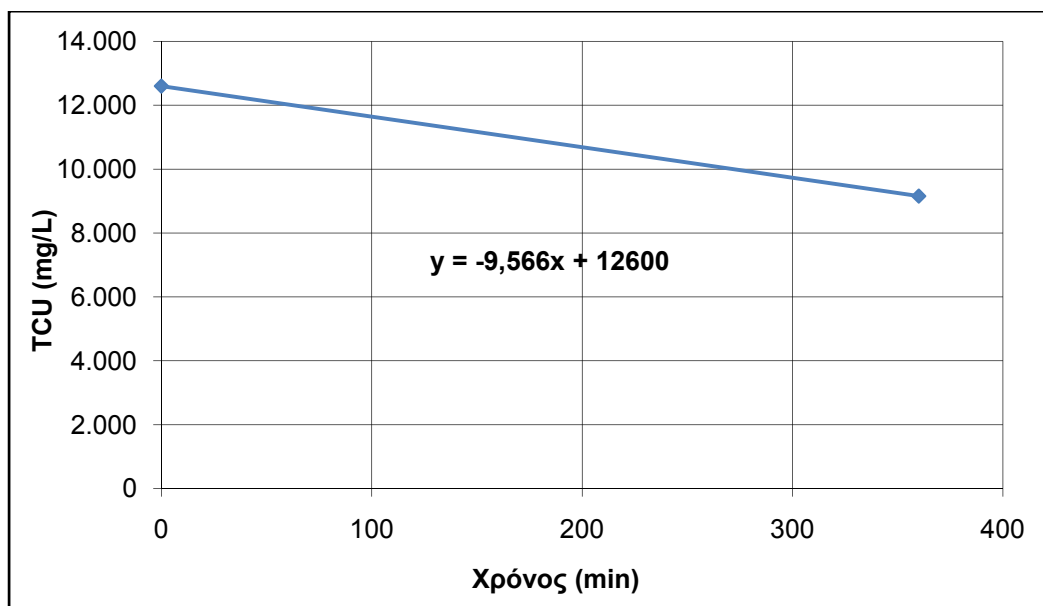
Διάγραμμα 28: 4^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (TCU-Χρόνος).

Πίνακας 26: 5^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.

Χρόνος (min)	COD (mg/L)	Ένταση (A)	Τάση (V)	Θερμοκρασία (°C)	Παροχή (sec/10L)	Παρατηρήσεις	TCU
0	6.252	20,3	29,9	24	58		12.600
60	-	20,1	29,4	31	76	Καθαρισμός Φίλτρου	-
120	-	20,7	26,4	33	62		-
180	-	20,6	26,7	33	76		-
240	-	20,6	26,5	33	88	Καθαρισμός Φίλτρου	-
300	-	20,4	29	33	80		-
360	3.692	20,3	28,6	33	84		9.156



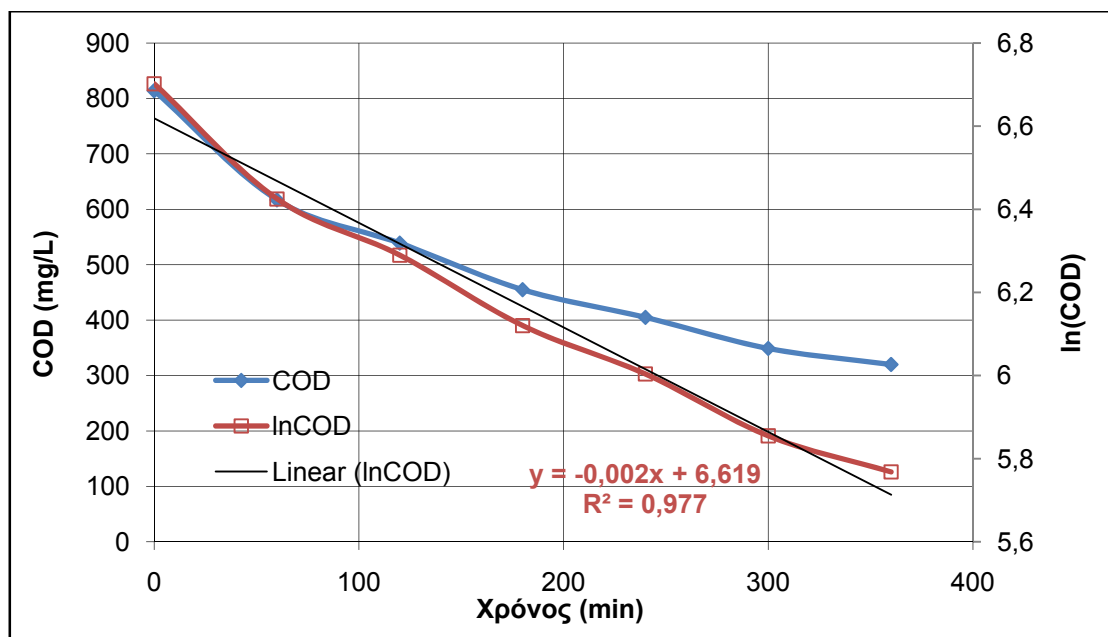
Διάγραμμα 29: 5^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (COD-Χρόνος).



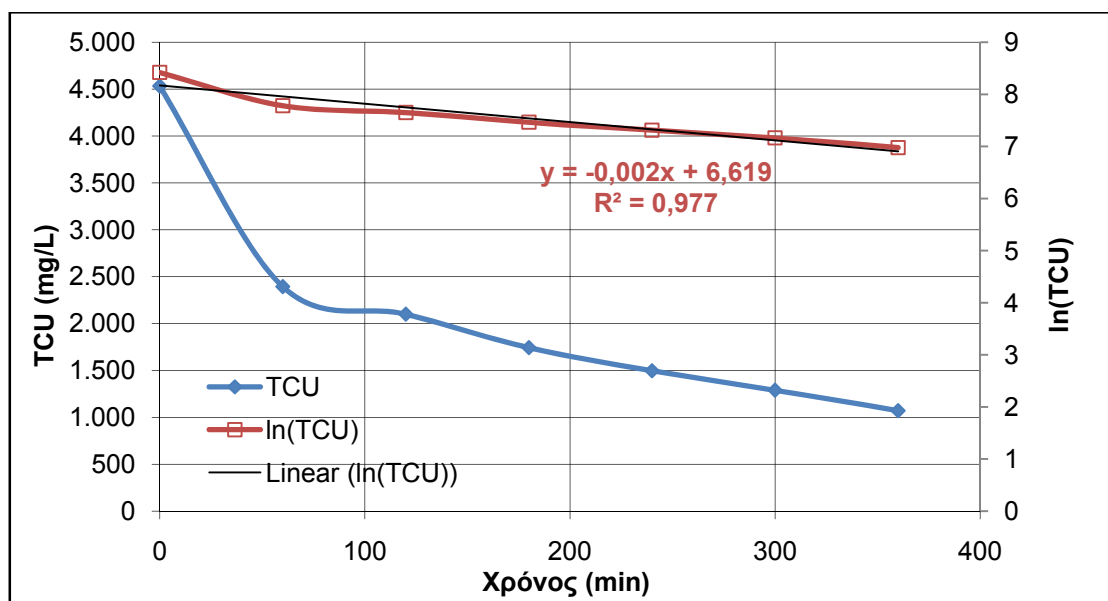
Διάγραμμα 30: 5^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (TCU-Χρόνος).

Πίνακας 27: 6^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης.

Χρόνος (min)	COD (mg/L)	Ένταση (A)	Τάση (V)	Θερμοκρασία (°C)	Παροχή (sec/10L)	Παρατηρήσεις	TCU
0	814	16	47,8	25	58	χωρίς καθαρισμό του φίλτρου (μόνο μια φορά πριν την έναρξη)	4.132
60	617	16,4	47,8	34	58		2.394
120	539	16,3	47,8	33	58		2.100
180	455	16,5	47,8	32	58		1.743
240	405	17,5	47,8	33	58		1.497
300	349	16,5	47,8	33	59		1.290
360	320	16,8	47,7	34	60		1.071



Διάγραμμα 31: 6^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (COD-Χρόνος).



Διάγραμμα 32: 6^ο Πείραμα Ηλεκτροχημικής Οξείδωσης (TCU-Χρόνος).

Αποτελέσματα Μετρήσεων Τοξικότητας

MicrotoxOmni Test Report

Date: 23/5/2008 02:43 AM

Test Protocol: 81,9% Basic Test

Sample: Sample 1

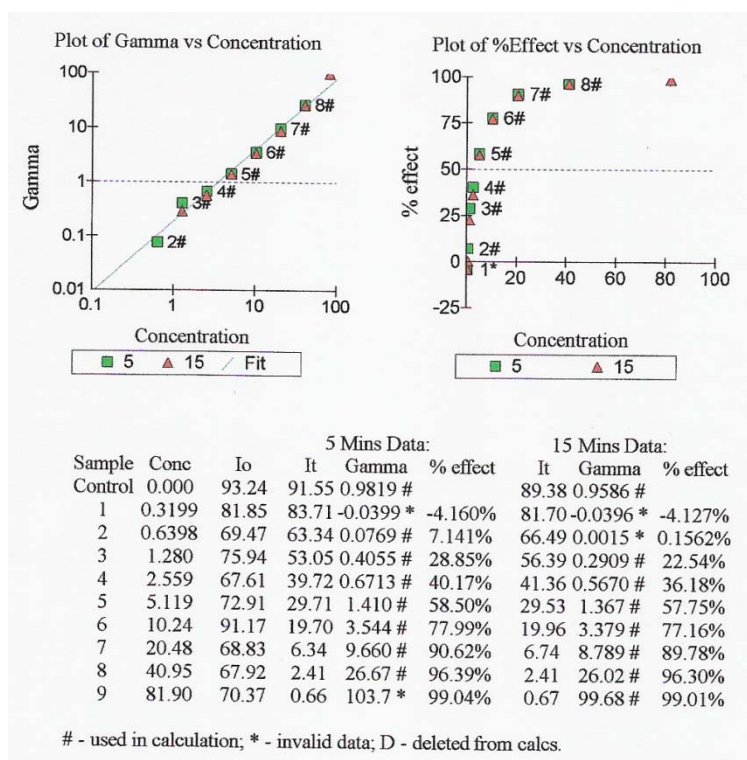
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros1 (Prin H.O 21/5/08)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 3.598% (95% confidence range: 2.961 to 4.373)

95% Confidence Factor: 1.215

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.7489 \times \text{LOG G} + 0.5561$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9860

Slope: 1.317

Correction Factor: 0.9819

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 3.797% (95% confidence range: 3.132 to 4.603)

95% Confidence Factor: 1.212

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.7113 \times \text{LOG G} + 0.05794$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9904

Slope: 1.392

Correction Factor: 0.9586

MicrotoxOmni Test Report

Date: 23/5/2008 11:53 AM

Test Protocol: 81,9% Basic Test

Sample: Sample 1

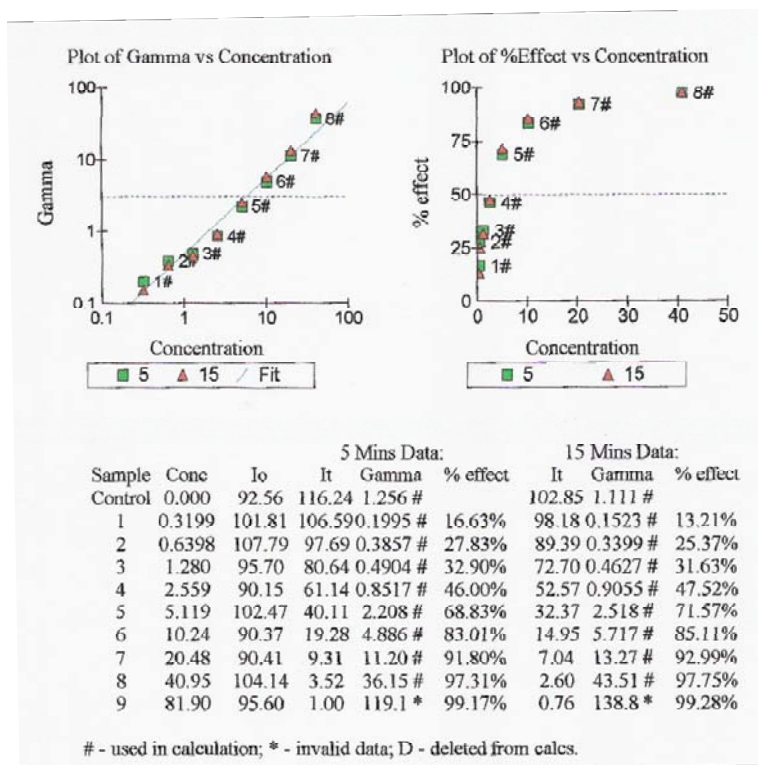
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 2 (Meta H.O 21/5/08)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 2,041% (95% confidence range: 1.544 to 2.697)

95% Confidence Factor: 1.321

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.9272 \times \text{LOG G} + 0.3098$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9728

Slope: 1.049

Correction Factor: 1.256

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 2.069% (95% confidence range: 1.664 to 2.573)

95% Confidence Factor: 1.244

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8612 \times \text{LOG G} + 0.3158$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9832

Slope: 1.142

Correction Factor: 1.111

MicrotoxOmni Test Report

Date: 23/5/2008 01:58 AM

Test Protocol: Basic Test

Sample: Sample 1

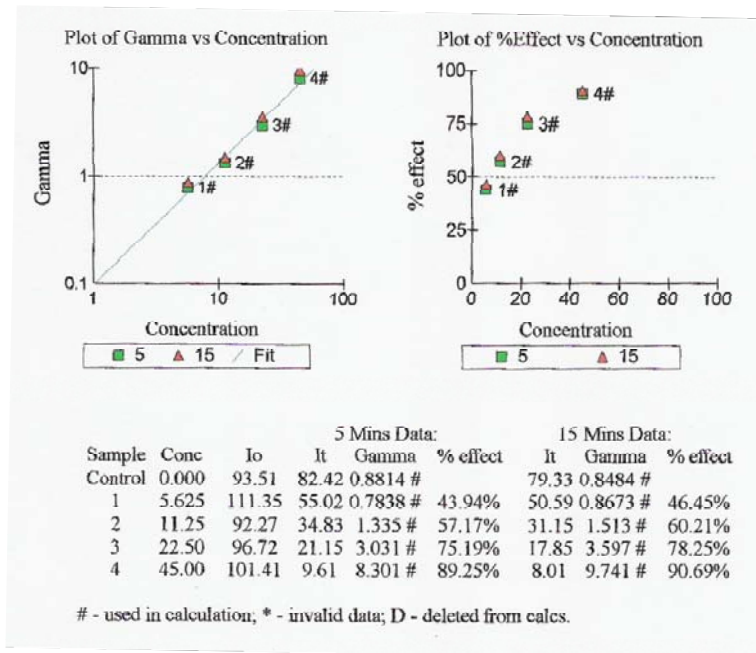
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 3 (Ain)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 7.865% (95% confidence range: 5.125 to 12.07)

95% Confidence Factor: 1.535

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8617 \times \text{LOG G} + 0.8957$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9821

Slope: 1.140

Correction Factor: 0.8814

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 7.117% (95% confidence range: 4.691 to 10.80)

95% Confidence Factor: 1.517

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8407 \times \text{LOG G} + 0.8523$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9851

Slope: 1.172

Correction Factor: 0.8484

MicrotoxOmni Test Report

Date: 27/5/2008 01:09 AM

Test Protocol: 81,9% Basic Test

Sample: Sample 1

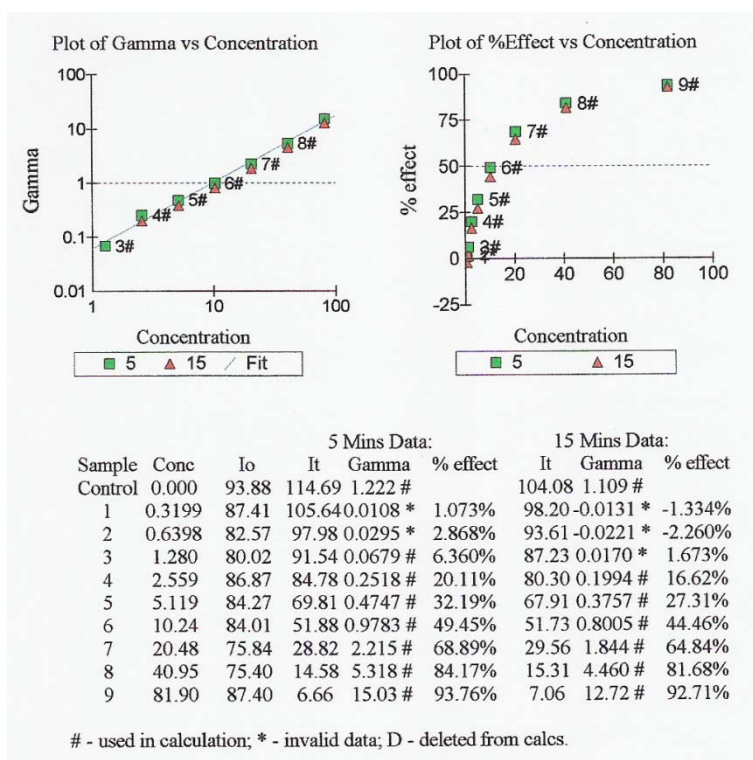
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 4 (Bin)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 9.842% (95% confidence range: 8.599 to 11.27)

95% Confidence Factor: 1.145

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8083 \times \text{LOG G} + 0.9931$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9928

Slope: 1.228

Correction Factor: 1.222

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 11.23% (95% confidence range: 9.794 to 12.88)

95% Confidence Factor: 1.147

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8299 \times \text{LOG G} + 1.050$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9934

Slope: 1.197

Correction Factor: 1.109

MicrotoxOmni Test Report

Date: 23/5/2008 02:06 AM

Test Protocol: Basic Test

Sample: Sample 1

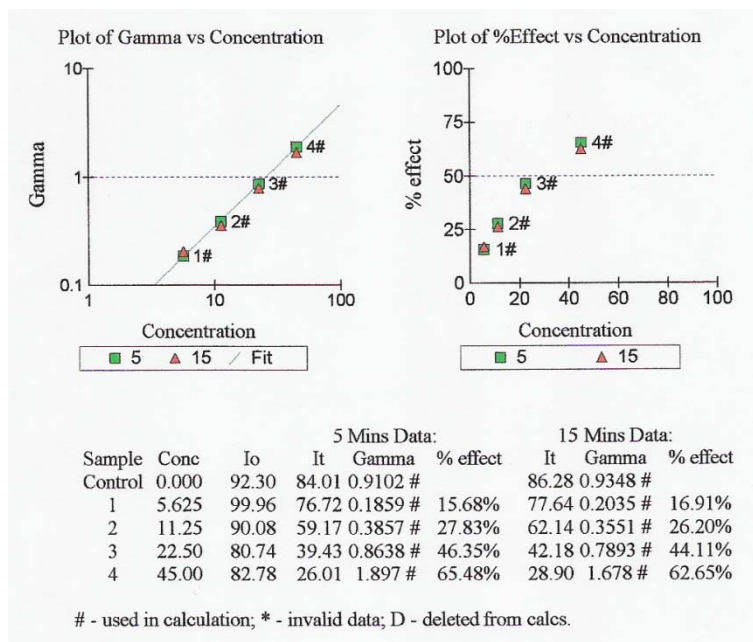
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 5 (Aout)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 25.64% (95% confidence range: 24.22 to 27.14)

95% Confidence Factor: 1.058

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8912 \times \text{LOG G} + 1.409$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9996

Slope: 1.122

Correction Factor: 0.9102

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 28.06% (95% confidence range: 22.62 to 34.81)

95% Confidence Factor: 1.240

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.9673 \times \text{LOG G} + 1.448$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9946

Slope: 1.028

Correction Factor: 0.9348

MicrotoxOmni Test Report

Date: 24/6/2008 02:22 AM

Test Protocol: 81,9% Basic Test

Sample: Sample 1

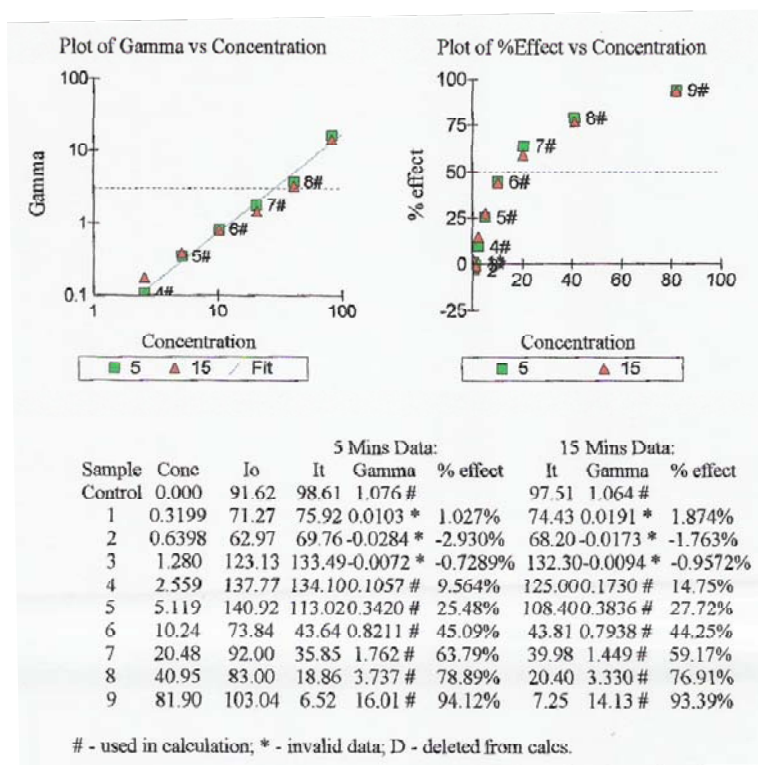
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 1(2) (Prin H.O 10/6/08)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 12.61% (95% confidence range: 10.58 to 15.04)

95% Confidence Factor: 1.192

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.7260 \times \text{LOG G} + 1.101$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9887

Slope: 1.362

Correction Factor: 1.076

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 12.17% (95% confidence range: 9.485 to 15.61)

95% Confidence Factor: 1.283

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8150 \times \text{LOG G} + 1.085$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9775

Slope: 1.199

Correction Factor: 1.064

MicrotoxOmni Test Report

Date: 24/6/2008 02:54 AM

Test Protocol: 81,9% Basic Test

Sample: Sample 1

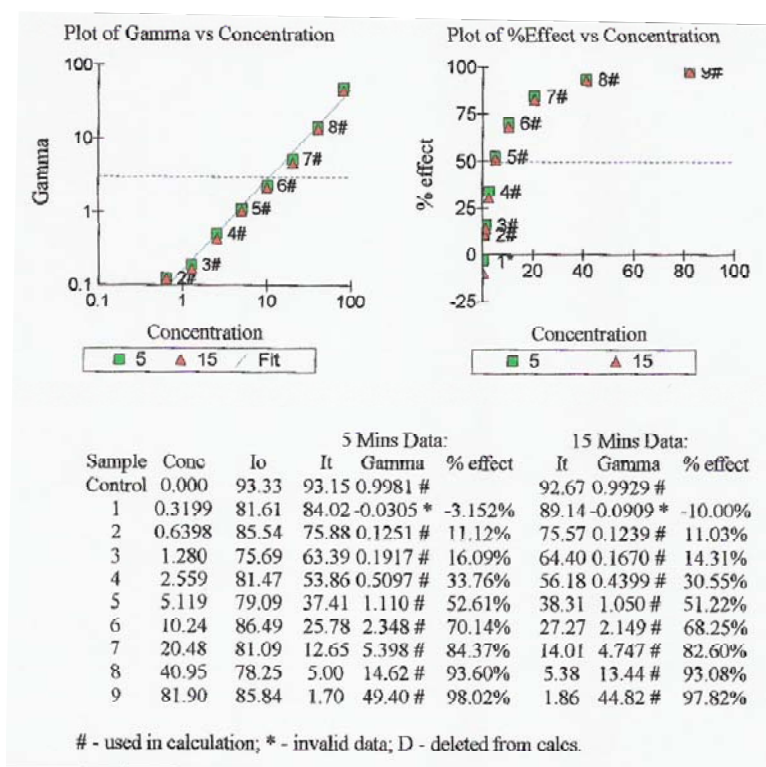
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 2(2) (Meta H.O 10/6/08)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 4.446% (95% confidence range: 3.792 to 5.214)

95% Confidence Factor: 1.173

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8086 \times \text{LOG G} + 0.6480$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9908

Slope: 1.225

Correction Factor: 0.9981

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 4.792% (95% confidence range: 4.010 to 5.728)

95% Confidence Factor: 1.195

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8100 \times \text{LOG G} + 0.6806$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9882

Slope: 1.220

Correction Factor: 0.9929

MicrotoxOmni Test Report

Date: 24/6/2008 12:56 AM

Test Protocol: Basic Test

Sample: Sample 1

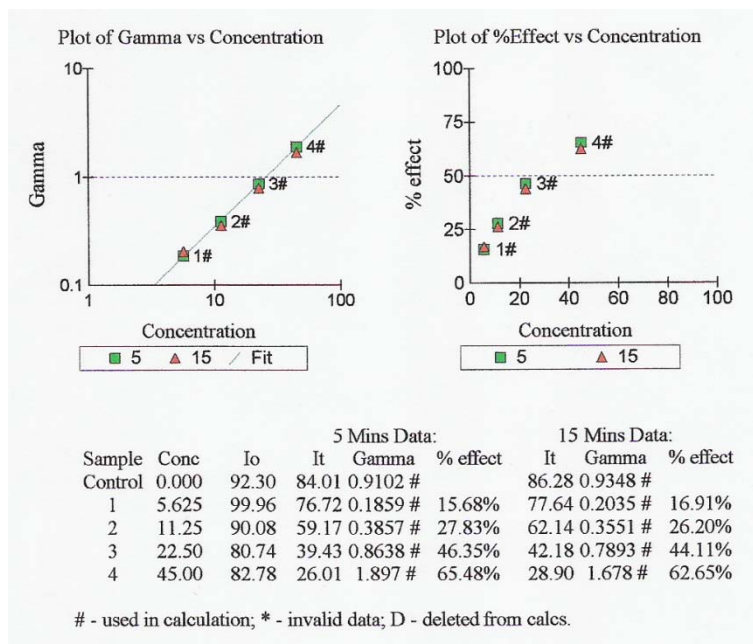
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 5 (Aout)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 27.46% (95% confidence range: 25.22 to 28.14)

95% Confidence Factor: 1.158

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.9812 \times \text{LOG G} + 1.490$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9986

Slope: 1.212

Correction Factor: 0.9201

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 28.99% (95% confidence range: 22.26 to 34.18)

95% Confidence Factor: 1.420

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.9763 \times \text{LOG G} + 1.484$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9964

Slope: 1.082

Correction Factor: 0.9438

MicrotoxOmni Test Report

Date: 24/6/2008 01:21 AM

Test Protocol: 81,9% Basic Test

Sample: Sample 1

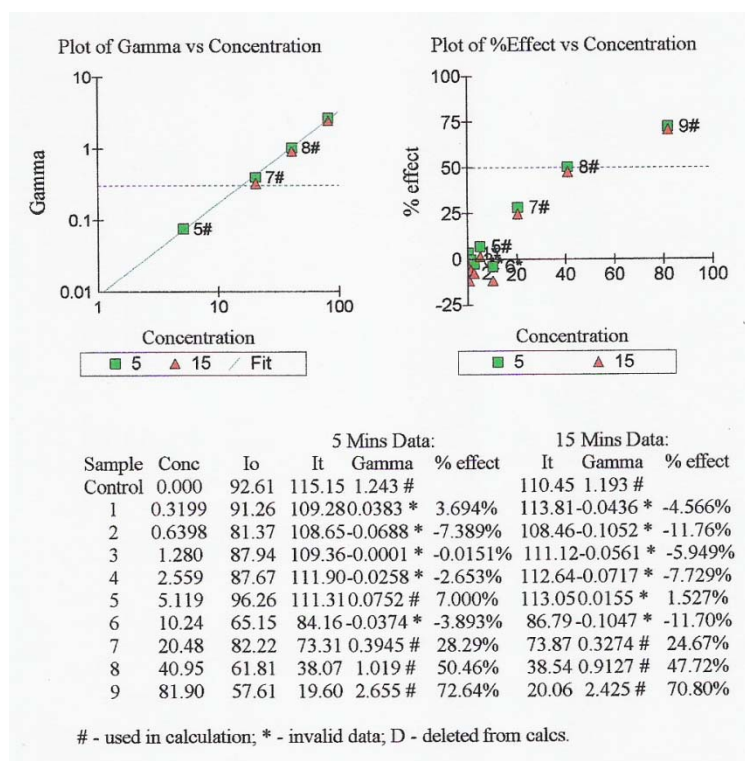
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 6(2) (Bout)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 39.79% (95% confidence range: 34.69 to 45.63)

95% Confidence Factor: 1.147

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.7788 \times \text{LOG G} + 1.600$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9984

Slope: 1.282

Correction Factor: 1.243

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 44.11% (95% confidence range: 39.90 to 48.76)

95% Confidence Factor: 1.105

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.6922 \times \text{LOG G} + 1.645$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9998

Slope: 1.444

Correction Factor: 1.193

MicrotoxOmni Test Report

Date: 24/6/2008 01:54 AM

Test Protocol: 81,9% Basic Test

Sample: Sample 1

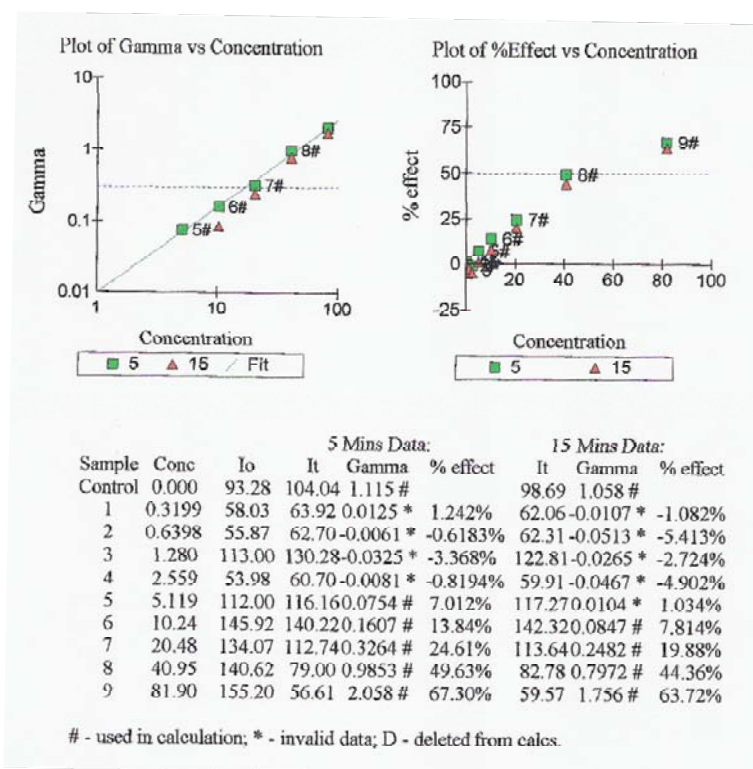
Toxicant:

Reagent Lot no.:

Test description:

Test name: Petros 7(2) (prin H.O 19/6/08)

Database file: C:\Program Files\MicrotoxOmni\db1.mdb



Calculations on 5 Mins data:

EC50 Concentration: 45.09% (95% confidence range: 37.90 to 53.65)

95% Confidence Factor: 1.190

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.8180 \times \text{LOG G} + 1.654$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9944

Slope: 1.216

Correction Factor: 1.115

Calculations on 15 Mins data:

EC50 Concentration: 52.33% (95% confidence range: 41.65 to 65.74)

95% Confidence Factor: 1.256

Estimating Equation: $\text{LOG C} = 0.6716 \times \text{LOG G} + 1.719$

Coeff. of Determination (R^2): 0.9941

Slope: 1.480

Correction Factor: 1.058

Υπολογισμός Συνολικών Ποσοστών Απομακρύνσεων COD & TCU για τα δύο Σενάρια Λειτουργίας

1^ο Σενάριο Λειτουργίας.

Στο 1^ο σενάριο λειτουργίας 10L υγρού αποβλήτου επεξεργάζονται αρχικά από το σύστημα της Η.Ο (3^ο Πείραμα). Στην συνέχεια αυτά διοχετεύονται στον Τ.Υ «Α» με την αντίστοιχη αραιώση τους, για την επίτευξη της επιθυμητής οργανικής φόρτισης από τις 22/05/2008 μέχρι 12/06/2008.

- Σύστημα Η.Ο⁴.

Πίνακας 28: Υπολογισμός απομακρύνσεων στην Η.Ο για το 1^ο σενάριο λειτουργίας.

COD _{in}	COD _{out}	COD _{in} -COD _{out}	TCU _{in}	TCU _{out}	TCU _{in} -TCU _{out}
mg	mg		mg	mg	
97.440	59.690	37.750	193.290	135.300	57990

- Σύστημα Τεχνητού Υγροβιότοπου «Α»

Πίνακας 29: Υπολογισμός απομακρύνσεων στον Τ.Υ «Α» για το 1^ο σενάριο λειτουργίας.

Ημερομηνία	Εισερχόμενη Παροχή (L)			Εξερχόμενη Παροχή (L)	COD (mg)		TCU (mg)		ΔCOD (mg)	ΔTCU (mg)
	Δείγματος	H ₂ O	Συνολική		in	out	in	out		
22-Μαη	1	2	3	1,9	6.126	1.984	12.093	9.988	4.142	2.105
25-Μαη	1	2	3	1,5	10.926	1.791	12.351	7.575	9.135	4.776
28-Μαη	1	2	3	1,5	6.066	1.847	12.654	7.185	4.220	5.469
31-Μαη	1	2	3	1,6	6.225	1.950	12.276	6.762	4.275	5.514
3-Ιουν	1,5	3	4,5	2,6	9.297	3.078	21.821	9.646	6.219	12.175
6-Ιουν	1,5	3	4,5	3	8.330	3.633	19.562	14.847	4.697	4.715
9-Ιουν	1,5	3	4,5	2,5	7.880	2.743	22.289	12.698	5.137	9.591
12-Ιουν	1,5	3	4,5	2,7	4.820	2.994	21.263	14.151	1.825	7.112
Σύνολο	10				59.670	20.020	134.307	82.851	39.649	51.456

$$Total\ COD\% = \frac{(mgCOD_{αποHO} + mgCOD_{αποA})}{(mgCOD_{αποHO} + mgCOD_{αποA} + mgCOD_{απε})} = \frac{(37750 + 39649)}{(37750 + 39649 + 20020)} = 79,45\%$$

$$Total\ TCU\% = \frac{(mgTCU_{αποHO} + mgTCU_{αποA})}{(mgTCU_{αποHO} + mgTCU_{αποA} + mgTCU_{απε})} = \frac{(57990 + 51456)}{(57990 + 51456 + 82851)} = 56,92\%$$

2^ο Σενάριο

Στο 2^ο σενάριο λειτουργίας τα υγρά αποβλήτου επεξεργάζονται αρχικά από το σύστημα του Τ.Υ «Β» με την αντίστοιχη αραιώση τους, για την επίτευξη της επιθυμητής οργανικής φόρτισης. Από την έξοδο του Τ.Υ «Β» έγινε συλλογή 10L υγρών αποβλήτων από τις 3/06/2008 μέχρι 15/06/2008. Στην συνέχεια αυτά τέθηκαν σε επεξεργασία με το σύστημα της Η.Ο (6^ο Πείραμα).

⁴ Αποτελέσματα από το 3^ο πείραμα Η.Ο (21/5/08).

- Σύστημα Τεχνητού Υγροβιότοπου «B»

Πίνακας 30: Υπολογισμός απομακρύνσεων στον Τ.Υ «B» για το 2^ο σενάριο λειτουργίας.

Ημερομηνία	Εισερχόμενη Παροχή (L)	Εξερχόμενη Παροχή (L)	COD (mg)		TCU (mg)		ΔCOD (mg)	ΔTCU (mg)
			in	out	in	out		
3-Ιουν	4	2	8.004	1.660	20.508	7.576	6.344	12.932
6-Ιουν	4	2,4	8.104	2.110	20.508	10.142	5.994	10.366
9-Ιουν	4	1,8	7.204	1.586	17.160	7.758	5.618	9.402
12-Ιουν	4	1,6	3.824	1.496	22.536	7.141	2.328	15.395
15-Ιουν	5	2,4	12.255	2.854	45.580	14.614	9.401	30.966
Σύνολο		10,2	39.391	9.706	126.292	47.231	29.686	79.061

- Σύστημα H.O⁵

Πίνακας 31: Υπολογισμός απομακρύνσεων στην H.O για το 2^ο σενάριο λειτουργίας.

COD _{in}	COD _{out}	COD _{in} -COD _{out}	TCU _{in}	TCU _{out}	TCU _{in} -TCU _{out}
mg	mg		mg	mg	
8.140	3.200	4.940	45.320	11.010	34.310

$$Total\ COD\% = \frac{(mgCOD_{αποB} + mgCOD_{αποHO})}{(mgCOD_{αποB} + mgCOD_{αποHO} + mgCOD_{απε})} = \frac{(29686 + 4940)}{(29686 + 4940 + 3200)} = 91,54\%$$

$$Total\ TCU\% = \frac{(mgTCU_{αποB} + mgTCU_{αποHO})}{(mgTCU_{αποB} + mgTCU_{αποHO} + mgTCU_{απε})} = \frac{(79061 + 34310)}{(79061 + 34310 + 11010)} = 91,15\%$$

Υπάρχει μια μείωση του οργανικού φορτίου ,από το 1^ο στο 2^ο στάδιο επεξεργασίας για το 2^ο σενάριο λειτουργίας , η οποία δεν συνυπολογίζεται στο συνολικό ποσοστό απομάκρυνσης. Πιθανότατα να οφείλεται στην βιοαποικοδόμηση κατά την διάρκεια αποθήκευσης του αποβλήτου μετά το 1^ο στάδιο, για την συλλογή 10L από την έξοδο του Τ.Υ «B» και την μετέπειτα διοχέτευση αυτών στην Η.Ο . Επίσης παρατηρείται ταυτόχρονη μείωση του TCU από το 1^ο στο 2^ο στάδιο. Ενδεχομένως αυτή μείωση να οφείλεται και σε πειραματικό σφάλμα κατά την μέτρηση της εξερχόμενης παροχής από τον Τ.Υ «B», με αποτέλεσμα να επηρεάσει τον υπολογισμό της εξερχόμενης μάζας του TCU καθώς επίσης και του COD.

⁵ Αποτελέσματα από το 6^ο πείραμα Η.Ο (19/6/08).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

Μετεωρολογικά Δεδομένα

(<http://www.meteo.gr/stations/chania/>)

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for APR. 2008

NAME: Leandros Symeonidis CITY: Chania STATE:
ELEV: 137 m LAT: 35° 32' 00" N LONG: 24° 04' 09" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	13.8	17.8	1:10p	10.8	6:40a	4.5	0.0	0.0	9.0	22.5	12:30a	SSW
2	11.9	15.0	1:00p	9.6	10:20p	6.3	0.0	5.2	10.1	41.8	9:30p	ESE
3	13.2	17.7	2:20p	9.7	1:00a	5.1	0.0	2.6	12.4	46.7	1:50p	WSW
4	15.1	19.5	3:00p	11.3	5:40a	3.4	0.1	0.4	12.4	40.2	3:20p	SW
5	13.0	15.2	2:00p	11.6	4:30a	5.3	0.0	3.4	3.9	29.0	11:50p	SE
6	12.9	17.2	3:20p	9.4	5:30a	5.4	0.0	12.6	22.9	57.9	4:00p	WSW
7	15.1	18.7	2:00p	12.1	3:20a	3.2	0.0	0.0	20.4	49.9	3:00p	WSW
8	17.1	23.4	12:50p	12.1	6:50a	2.3	1.1	0.0	5.5	20.9	8:20p	SW
9	18.3	24.0	1:00p	13.7	12:50a	1.3	1.3	0.0	5.8	27.4	1:00p	SSW
10	16.3	21.1	2:30p	12.7	5:30a	2.4	0.4	0.0	5.3	25.7	12:20a	WSW
11	19.8	26.4	2:00p	14.2	2:10a	1.0	2.5	0.0	4.8	19.3	9:40a	ESE
12	24.5	30.5	3:20p	19.4	1:20a	0.0	6.2	0.0	3.1	16.1	6:10p	SE
13	24.2	30.1	1:40p	19.3	9:00p	0.0	5.9	0.0	2.4	19.3	4:50p	WSW
14	21.2	24.4	9:10a	16.2	12:00m	0.0	2.9	0.0	6.0	32.2	9:10a	WSW
15	16.3	19.9	2:00p	13.3	7:10a	2.2	0.2	0.0	24.3	56.3	6:50a	WSW
16	15.3	19.3	2:40p	12.3	5:30a	3.1	0.1	0.0	23.3	54.7	4:00p	WSW
17	14.8	19.8	1:40p	11.1	6:00a	3.6	0.1	0.0	11.6	37.0	9:20p	SW
18	16.8	26.8	1:20p	11.6	3:10a	2.8	1.4	0.0	6.3	37.0	2:10p	NW
19	18.5	25.3	2:40p	12.4	7:10a	1.6	1.8	0.0	4.3	24.1	12:00m	SE
20	23.7	35.6	12:40p	14.6	6:50a	0.5	5.9	0.0	8.7	38.6	2:50p	ESE
21	25.4	35.6	1:50p	16.0	4:50a	0.4	7.5	0.0	6.3	38.6	6:30p	SW
22	26.4	36.7	1:00p	17.6	9:20p	0.0	8.1	0.0	13.2	56.3	2:20p	SW
23	18.2	22.2	3:00p	14.9	6:00a	1.0	1.0	0.0	13.5	32.2	9:20a	SW
24	17.0	21.4	2:50p	13.6	11:50p	1.9	0.6	0.0	11.3	45.1	4:10a	SW
25	15.6	19.9	12:30p	12.2	5:10a	3.0	0.2	0.0	6.3	30.6	2:10p	W
26	13.7	18.6	1:10p	10.6	11:30p	4.6	0.0	0.2	5.5	25.7	12:40p	NNW
27	11.7	14.6	3:40p	9.9	12:00m	6.6	0.0	16.0	5.1	24.1	12:30p	WSW
28	13.3	17.7	1:40p	9.7	5:30a	5.0	0.0	2.8	5.8	22.5	1:20a	NNW
29	15.7	20.3	2:20p	11.8	1:40a	3.0	0.3	0.0	15.8	45.1	4:30p	SSW
30	16.7	21.4	4:10p	12.6	4:40a	2.3	0.6	0.0	8.7	25.7	1:00a	SW
	17.2	36.7	22	9.4	6	81.8	48.2	43.2	9.8	57.9	6	WSW

Max >= 32.0: 3

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 16.00 ON 27/04/08

Days of Rain: 8 (> .2 mm) 6 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for MAY. 2008

NAME: Leandros Symeonidis CITY: Chania STATE:
ELEV: 137 m LAT: 35° 32' 00" N LONG: 24° 04' 09" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	17.5	22.9	12:20p	12.5	6:20a	1.8	1.0	0.0	4.2	17.7	4:00p	SW
2	18.5	24.5	3:00p	13.7	2:20a	1.5	1.7	0.0	3.2	17.7	1:50p	ESE
3	19.2	25.5	3:50p	14.0	6:20a	1.4	2.2	0.0	7.2	25.7	3:20p	E
4	18.1	23.7	1:20p	13.3	6:30a	1.7	1.4	0.2	9.7	32.2	3:30p	E
5	16.9	22.4	1:40p	12.6	5:10a	2.3	0.9	0.0	6.6	27.4	2:20p	E
6	16.5	21.7	12:40p	12.2	6:40a	2.5	0.7	0.0	5.6	25.7	12:10p	N
7	16.9	20.9	2:30p	13.6	11:30p	1.9	0.6	0.0	11.7	32.2	9:40a	NW
8	14.9	19.2	4:30p	11.3	6:40a	3.4	0.0	0.6	10.6	35.4	2:30p	NW
9	16.7	22.8	3:50p	10.7	6:00a	2.7	1.1	0.0	4.5	20.9	5:20p	WSW
10	16.8	24.0	12:10p	12.3	5:20a	2.3	0.8	3.0	5.0	27.4	9:50p	SE
11	15.6	20.2	3:20p	12.8	3:00a	2.8	0.1	1.6	11.1	32.2	4:40p	E
12	16.7	22.3	2:40p	12.6	6:10a	2.4	0.9	0.0	7.4	27.4	3:10p	E
13	16.7	22.2	2:30p	12.8	5:10a	2.2	0.6	0.2	9.8	38.6	6:30p	E
14	16.6	21.7	12:20p	13.9	2:20a	2.0	0.3	0.0	6.3	24.1	12:30p	ENE
15	17.8	22.3	3:00p	14.4	6:10a	1.5	1.0	0.0	9.7	25.7	2:20p	SW
16	18.2	23.4	12:00p	13.8	4:40a	1.7	1.5	0.0	6.8	20.9	1:10a	WNW
17	19.9	27.8	1:20p	13.6	4:40a	1.2	2.8	0.0	4.5	22.5	12:50p	ESE
18	21.6	28.0	3:00p	15.6	6:40a	0.5	3.8	0.0	9.2	27.4	11:30a	ESE
19	22.4	30.1	1:10p	16.4	4:50a	0.3	4.4	0.0	5.3	32.2	12:30a	WSW
20	23.6	33.2	2:00p	18.3	12:00m	0.0	5.3	0.0	4.5	25.7	4:10p	WSW
21	21.3	27.9	3:20p	17.6	6:00a	0.1	3.1	0.0	7.2	41.8	9:20p	WSW
22	20.5	25.2	2:40p	17.2	6:40a	0.2	2.4	0.0	19.5	46.7	12:50p	WSW
23	20.3	25.0	2:40p	16.2	4:50a	0.4	2.4	0.0	16.7	40.2	2:40p	WSW
24	20.5	25.6	3:10p	16.8	12:00m	0.2	2.4	0.0	17.4	37.0	9:30a	WSW
25	21.3	26.1	12:30p	16.5	12:10a	0.1	3.2	0.0	6.3	24.1	1:30p	SSW
26	22.6	29.4	2:00p	16.6	2:30a	0.3	4.6	0.0	5.0	22.5	3:10p	NNW
27	23.7	29.9	12:30p	17.1	3:50a	0.1	5.6	0.0	5.5	27.4	11:30a	SE
28	25.1	32.2	1:40p	18.4	6:10a	0.0	6.8	0.0	4.3	29.0	1:20p	SSE
29	26.6	33.6	12:10p	20.1	2:30a	0.0	8.3	0.0	3.9	17.7	12:10p	NNW
30	24.5	30.7	3:00p	19.9	5:40a	0.0	6.2	0.0	6.9	25.7	5:20p	E
31	24.3	32.2	2:20p	18.0	7:00a	0.0	6.0	0.0	4.8	24.1	6:10p	SW
	19.7	33.6	29	10.7	9	37.3	81.9	5.6	7.8	46.7	22	E

Max >= 32.0: 4

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 3.00 ON 10/05/08

Days of Rain: 5 (> .2 mm) 1 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JUN. 2008

NAME: Leandros Symeonidis CITY: Chania STATE:
 ELEV: 137 m LAT: 35° 32' 00" N LONG: 24° 04' 09" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	23.4	27.7	1:50p	19.6	12:00m	0.0	5.1	0.0	8.4	33.8	2:40a	SSW
2	23.9	30.8	2:10p	18.6	2:10a	0.0	5.6	0.0	5.0	27.4	2:20p	NNW
3	22.3	27.3	11:50a	18.4	6:20a	0.0	4.1	0.0	8.2	27.4	12:10p	E
4	21.1	26.7	12:40p	16.8	6:00a	0.2	3.0	0.0	7.2	29.0	12:30p	E
5	21.9	27.1	2:40p	18.1	3:00a	0.0	3.7	0.0	14.3	41.8	1:50p	WSW
6	22.2	27.4	11:30a	18.4	4:30a	0.0	3.9	0.0	18.5	48.3	5:30p	W
7	21.9	27.3	3:50p	17.7	5:40a	0.0	3.7	0.0	9.8	29.0	12:20p	W
8	22.6	28.2	1:40p	18.3	1:20a	0.0	4.2	0.0	10.6	35.4	6:30p	SW
9	21.7	26.2	2:40p	18.0	12:00m	0.0	3.4	0.0	12.1	35.4	7:30a	SW
10	21.3	25.9	2:00p	17.4	5:10a	0.2	3.1	0.0	6.0	27.4	1:00p	NNW
11	22.1	27.4	2:20p	16.9	5:30a	0.1	3.9	0.0	4.8	25.7	2:20p	NW
12	23.6	30.2	2:30p	16.6	6:10a	0.2	5.5	0.0	3.9	19.3	1:40p	SE
13	24.6	30.9	3:20p	18.9	5:40a	0.0	6.3	0.0	7.1	29.0	7:00p	WSW
14	23.5	28.4	1:20p	19.7	2:10a	0.0	5.2	0.0	14.5	41.8	8:30p	SW
15	23.5	28.3	1:30p	20.3	6:10a	0.0	5.2	0.0	20.8	49.9	12:30a	SW
16	23.2	28.6	2:00p	19.3	5:50a	0.0	4.9	0.0	11.7	29.0	12:10a	SW
17	24.4	32.2	2:40p	17.2	3:20a	0.1	6.3	0.0	3.7	19.3	3:00p	SW
18	27.5	35.1	1:20p	20.1	3:20a	0.0	9.2	0.0	3.5	24.1	12:50p	NNW
19	29.2	36.6	12:40p	22.6	2:30a	0.0	10.9	0.0	3.9	20.9	3:50p	NW
20	28.2	32.0	10:40a	23.7	12:00m	0.0	9.9	0.0	7.7	25.7	12:20p	W
21	25.9	30.2	11:50a	21.7	4:10a	0.0	7.7	0.0	5.6	27.4	3:50p	NNW
22	25.3	29.1	1:10p	21.3	6:20a	0.0	7.0	0.0	5.1	25.7	11:30a	NNW
23	24.8	29.4	3:10p	21.4	6:00a	0.0	6.6	0.0	5.1	22.5	12:30p	NNW
24	25.5	30.4	5:20p	21.0	2:10a	0.0	7.2	0.0	5.3	25.7	11:50a	WNW
25	26.1	31.6	11:00a	20.2	4:50a	0.0	7.8	0.0	4.3	20.9	11:20a	SW
26	25.8	30.9	1:30p	21.3	4:00a	0.0	7.5	0.0	6.1	24.1	1:10p	W
27	26.7	31.7	12:30p	21.8	4:00a	0.0	8.4	0.0	6.8	29.0	3:10p	W
28	27.3	32.1	1:30p	22.3	12:20a	0.0	9.0	0.0	6.3	27.4	3:00p	W
29	26.8	33.0	2:00p	22.1	1:40a	0.0	8.5	0.0	5.6	27.4	3:20p	W
30	26.8	30.8	4:00p	22.7	12:10a	0.0	8.5	0.0	5.6	29.0	12:40p	SW
	24.4	36.6	19	16.6	12	0.9	185.3	0.0	7.9	49.9	15	SW

Max >= 32.0: 6

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 0.00 ON 01/06/08

Days of Rain: 0 (> .2 mm) 0 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JUL. 2008

NAME: Leandros Symeonidis CITY: Chania STATE:
ELEV: 137 m LAT: 35° 32' 00" N LONG: 24° 04' 09" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	26.5	31.3	2:30p	21.5	2:50a	0.0	8.2	0.0	6.8	27.4	2:40p	WSW
2	26.3	30.3	2:50p	21.4	3:00a	0.0	8.0	0.0	8.4	25.7	10:50a	W
3	27.0	31.6	2:30p	22.3	2:00a	0.0	8.7	0.0	5.5	25.7	1:00p	SW
4	27.4	33.1	3:10p	22.0	6:30a	0.0	9.1	0.0	5.3	27.4	11:50p	SW
5	27.6	33.3	4:00p	23.8	12:00m	0.0	9.3	0.0	8.5	25.7	12:10a	WNW
6	27.5	32.9	12:10p	23.5	12:50a	0.0	9.2	0.0	5.8	24.1	1:20p	NNW
7	27.8	33.9	3:30p	22.1	6:10a	0.0	9.5	0.0	6.1	32.2	3:20p	NNW
8	28.5	35.1	2:10p	21.7	5:40a	0.0	10.2	0.0	5.3	27.4	10:00p	SSW
9	31.1	35.7	1:30p	25.1	11:10p	0.0	12.8	0.0	9.8	30.6	2:10a	SW
10	27.6	33.2	12:00p	23.1	4:00a	0.0	9.3	0.0	6.3	27.4	11:50a	NNW
11	26.4	30.7	2:50p	21.9	3:40a	0.0	8.1	0.0	7.9	29.0	10:40a	NW
12	25.9	30.0	3:40p	22.0	3:40a	0.0	7.6	0.0	7.2	27.4	10:00a	NW
13	25.8	29.9	3:50p	20.8	4:00a	0.0	7.5	0.0	6.3	37.0	12:00p	NNW
14	25.9	30.8	1:30p	20.7	6:40a	0.0	7.7	0.0	5.0	24.1	12:00p	NW
15	30.3	38.2	12:40p	22.2	12:10a	0.0	12.0	0.0	5.5	25.7	6:50p	SW
16	27.3	31.0	12:10a	22.2	11:20p	0.0	9.0	0.0	13.2	40.2	3:50a	SW
17	24.7	29.6	3:00p	20.2	6:30a	0.0	6.4	0.0	6.4	27.4	2:20p	NNW
18	25.1	30.4	3:10p	19.6	6:30a	0.0	6.8	0.0	5.8	24.1	3:20p	SW
19	26.7	32.0	1:00p	21.8	1:50a	0.0	8.4	0.0	5.8	20.9	1:40p	WNW
20	27.3	33.2	2:30p	21.3	6:20a	0.0	9.0	0.0	4.8	24.1	12:10p	NW
21	28.3	33.6	3:00p	22.7	4:30a	0.0	10.0	0.0	5.1	24.1	11:30a	W
22	29.4	35.1	1:10p	24.4	6:20a	0.0	11.1	0.0	5.5	24.1	11:40p	NW
23	27.8	33.1	1:20p	23.2	12:00m	0.0	9.6	0.0	20.4	51.5	5:50p	W
24	24.4	28.9	4:10p	21.0	6:40a	0.0	6.1	0.0	20.8	45.1	12:50a	SW
25	24.3	28.8	12:40p	20.8	6:20a	0.0	6.0	0.0	18.3	41.8	7:20p	SW
26	25.4	30.1	2:20p	21.4	6:20a	0.0	7.1	0.0	19.0	45.1	3:30p	SW
27	26.2	32.2	3:30p	22.5	4:50a	0.0	7.8	0.0	13.5	40.2	2:10a	SW
28	26.0	32.9	2:20p	20.7	6:40a	0.0	7.7	0.0	5.6	30.6	2:30p	E
29	25.2	29.9	2:50p	21.5	4:50a	0.0	6.9	0.0	5.0	24.1	11:10a	E
30	25.8	30.1	2:40p	22.4	5:10a	0.0	7.5	0.0	8.0	33.8	3:50p	NW
31	25.3	30.2	2:30p	21.6	6:40a	0.0	7.0	0.0	6.6	27.4	3:10p	NW
	26.8	38.2	15	19.6	18	0.0	263.5	0.0	8.5	51.5	23	SW

Max >= 32.0: 15

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 0.00 ON 01/07/08

Days of Rain: 0 (> .2 mm) 0 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration