



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

*ΤΡΙΤΟΒΑΘΜΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΟΙΚΙΣΜΩΝ ΜΕ
ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΧΑΛΙΚΟΦΙΛΤΡΩΝ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ*

ΑΘΗΝΑ ΜΑΥΡΙΑ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ευριπίδης Στεφάνου (Επιβλέπων)

Καθηγητής Τμήματος Χημείας Πανεπιστημίου Κρήτης

Νικόλαος Κατσαράκης (Συνεπιβλέπων)

Καθηγητής Γενικού Τμήματος Θετικών Επιστημών ΤΕΙ Κρήτης

Κωνσταντίνος Δημάδης

Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Χημείας Πανεπιστημίου Κρήτης

Στους γονείς μου,
Δημήτριο & Αδαμαντία

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων μικρών οικισμών με τη χρήση χαλκικόφιλτρων με ανακυκλοφορία» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος ειδίκευσης, «Τεχνολογίες Προστασίας Περιβάλλοντος» του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης και της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του ΤΕΙ Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ευριπίδη Στεφάνου, Καθηγητή του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης για την ανάθεση του θέματος της παρούσας διατριβής.

Στη συνέχεια, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον συνεπιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Κατσαράκη, Καθηγητή του Γενικού Τμήματος Θετικών Επιστημών του ΤΕΙ Κρήτης, για την ανάθεση του θέματος της παρούσας εργασίας, τη συνεχή καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Ευχαριστώ επίσης τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Χημείας κ. Κωνσταντίνο Δημάδη για την πρόθυμη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

Ειδικές ευχαριστίες οφείλω στους υπαλλήλους της Δ.Ε.Υ.Α. Ηρακλείου, κ. Χαράλαμπο Παπαδογιάννη, κα Κρυσταλλία Σηφακάκη και κ. Παύλο Καταλαγαριανό, για τη βοήθεια τους στη συγκέντρωση των δειγμάτων των λυμάτων, αλλά και τις πολύτιμες υποδείξεις τους καθ' όλη τη διάρκεια της παρακολούθησης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την κα Ειρήνη Γεωργάκη, Έκτακτο Εκπαιδευτικό Προσωπικό του Γενικού Τμήματος Θετικών Επιστημών του ΤΕΙ Κρήτης, για τις εύστοχες παρατηρήσεις – υποδείξεις της στην πορεία της παρούσας μελέτης και τη συγγραφική διαδικασία. Ακόμα δεν μπορώ να μην αναφέρω τον κ. Γιάννη Στεφανάκη, Ειδικό Τεχνικό Προσωπικό του Γενικού Τμήματος Θετικών Επιστημών του ΤΕΙ Κρήτης, για τη συμβολή του στη συντήρηση και επισκευή όλων των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν κατά το πειραματικό μέρος της διατριβής.

Ευχαριστώ ακόμα τον κ. Αντώνη Κουβαράκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη συνεργασία μας στο εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών, του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Τέλος ευχαριστώ θερμά την οικογένεια και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση, κατανόηση και ενθάρρυνση που μου πρόσφεραν σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διατριβής.

Περίληψη

Η εγκατάσταση αποκεντρωμένων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς έχει σημειώσει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας. Η αυξανόμενη τάση κατασκευής τέτοιων εγκαταστάσεων οφείλεται στο χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας τους, καθώς επίσης και στην άμεση δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων εκροών για άρδευση στα γειτονικά αγροτεμάχια, δεδομένου της μειωμένης διαθεσιμότητας νερού που παρατηρείται στην εποχή μας.

Στην παρούσα εργασία, σε χρονικό διάστημα εννέα μηνών, μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι αποδόσεις δυο τέτοιων μικρών αποκεντρωμένων βιολογικών καθαρισμών του νομού Ηρακλείου, με κύριο σκοπό την αξιολόγηση της καταλληλότητας των παραγόμενων επεξεργασμένων εκροών για διάθεση και επαναχρησιμοποίηση σύμφωνα με τα επιτρεπτά νομοθετικά όρια. Οι παραπάνω εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων βρίσκονται στους οικισμούς Σταυράκια – Βούτες και στον οικισμό Δαφνές, εξυπηρετώντας περίπου 1800 ισοδύναμους κατοίκους.

Η αξιολόγηση της απόδοσης κάθε εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων πραγματοποιήθηκε με βάση ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα δειγματοληψιών, όπου μετρήθηκαν διάφορες παράμετροι ρυπαντικού φορτίου, όπως για παράδειγμα τα Αιωρούμενα Στερεά (TSS), το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD_5), το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD), ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) κ.α. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγινε επίσης και μια προσπάθεια εφαρμογής της ετερογενούς φωτοκατάλυσης, μια από τις προχωρημένες οξειδωτικές μεθόδους (Advanced Oxidation Processes), για την προ-επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, με σκοπό τη διάσπαση των μη βιοαποικοδομήσιμων οργανικών ενώσεων που παρεμποδίζουν τις βιολογικές διεργασίες. Για τις ανάγκες του πειράματος η εφαρμογή έγινε σε δείγματα εισροής, αμέσως πριν την είσοδό τους στα χαλκικόφιλτρα, χρησιμοποιώντας καταλύτη Degussa P25 TiO_2 σε συγκεντρώσεις 200 mg/L, 500 mg/L και 1000 mg/L. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε υπό την έκθεση UV-A ακτινοβολία για χρονικό διάστημα οχτώ ωρών.

Τα αποτελέσματα στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στους οικισμούς Σταυράκια- Βούτες παρουσιάζουν σταθερά ικανοποιητικές αποδόσεις της τάξης

σχεδόν του 100% για το BOD₅ και το COD, καθώς επίσης και εκροές επεξεργασμένων λυμάτων κατάλληλες για επαναχρησιμοποίηση (περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση) σύμφωνα με τα επιτρεπτά νομοθετικά όρια. Αντιθέτως, η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στον οικισμό Δαφνές δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, καθιστώντας τις εκροές των επεξεργασμένων λυμάτων ακατάλληλες για επαναχρησιμοποίηση. Τέλος, η μέθοδος της ετερογενούς φωτοκατάλυσης λειτούργησε πιο αποδοτικά για συγκέντρωση καταλύτη 1000 mg/L, οδηγώντας σε μια μείωση του TOC της τάξης του 42%. Απαιτείται φυσικά περαιτέρω μελέτη των παραμέτρων που επιδρούν (π.χ. pH, αγωγιμότητα, συγκέντρωση οργανικού φορτίου, χρόνου ακτινοβολήσης κ.τ.λ.) για βελτίωση της φωτοκαταλυτικής απόδοσης του συστήματος.

Abstract

For the past few years, in Greece, there has been a remarkable development in decentralized wastewater installations in small communities. The increasing tendency of manufacturing such installations is due to the low cost of manufacture and operation, as well as in the direct possibility of re-use of the processed effluents for irrigation of agricultural units, considering the decreased water availability in certain areas.

In the current work and for the time interval of nine months, the efficiency of two small decentralized wastewater systems was studied and evaluated in the Prefecture of Heraklion. The aim was mainly the quality evaluation of the processed effluent for disposal and re-use, according to the permissible legislation limits. These decentralized wastewater systems are found in the communities “Stavrakia” – “Voutes” and in the community “Dafnes”, serving roughly 1800 equivalent residents.

The evaluation of the efficiency of decentralized wastewater system was carried out on the basis of a carefully organized program of samplings, where various physicochemical parameters for wastewater were measured such as: Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Organic Carbon (TOC) etc. In the frame of this work, an attempt was also made applying heterogeneous photocatalysis, as one important among the advanced oxidation processes (AOP's), for the pretreatment of urban wastewater waste, aiming to degrade the refractory, non-biodegradable organic compounds that inhibits the biological activities. For the needs of the experiment, the application involved influent samples, sampled at position just before their entry to the trickling bio-filters, using catalyst Degussa P25 TiO₂ in concentrations 200 mg/L, 500 mg/L and 1000 mg/L. The experiment was carried out under the exposure of UV-A radiation, for the time interval of eight hours.

Overall, the results in decentralized wastewater system in the settlements “Stavrakia” – “Voutes” present efficient results. Almost the 100% for the BOD₅ and the COD was removed, and the effluent of processed sewages was shown to be suitable for re-use (limited and unlimited irrigation) according always to the permissible legislation limits. On the contrary, the installation of treatment of sewages in the settlement “Dafnes” does not give satisfactory results, rendering the effluents in

this case totally inadequate for re-use. Finally, the process of heterogeneous photocatalysis was found to be efficient for catalyst loading of 1000 mg/L, leading to a reduction of TOC of up to 42%. Further work is of course required in this area, studying and setting the critical parameters (e.g. pH, conductivity, organic load, irradiation exposure, etc.) for improvement of the photocatalytic efficiency. In addition, the system may well be tested to be activated under the presence of sunlight, with the purpose of a wide-range application with low operational cost for the integration of the photocatalytic technology in open biological treatment units.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	iv
Περίληψη	vi
Abstract.....	viii
Περιεχόμενα.....	x

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 1

1.1. Εισαγωγή	1
1.1.1. Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.....	1
1.1.1.1. Εδαφικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων	2
1.1.1.2. Λίμνες	5
1.1.1.3. Τεχνητοί Υγροβιότοποι.....	6
1.1.2. Βιολογικά Φιλτρα	7
1.1.3. Αντιδραστήρες Βιολογικών Μεμβρανών	8
1.2. Χαλικόφιλτρα με Ανακυκλοφορία	10
1.3. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων	11
1.3.1. Φυσικά Χαρακτηριστικά	12
1.3.1.1. Χρώμα.....	12
1.3.1.2. Οσμή	13
1.3.1.3. Ενεργός Οξύτητα (pH).....	13
1.3.1.4. Αγωγιμότητα.....	14
1.3.1.5. Θολρότητα.....	14
1.3.1.6. Διαλυμένο Οξυγόνο	14
1.3.1.7. Στερεές Ουσίες.....	15
1.3.2. Χημικά Χαρακτηριστικά	15
1.3.2.1. Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο	16
1.3.2.2. Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο.....	17

1.3.2.3.	Ολικός Οργανικός Άνθρακας	17
1.3.2.4.	Συσχετίσεις μεταξύ BOD, COD και TOC	17
1.3.2.5.	Άζωτο.....	18
1.3.2.6.	Φώσφορος.....	20
1.3.3.	Βιολογικά Χαρακτηριστικά.....	20
1.4.	Διάθεση & Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των Υγρών Αποβλήτων	21
1.4.1.	Ελληνική Νομοθεσία.....	22
1.4.2.	Οδηγία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ	32
1.5.	Φωτοκατάλυση	34
1.5.1.	Εισαγωγή	34
1.5.2.	Έννοια και Μηχανισμός της Φωτοκατάλυσης	34
1.5.3.	Χρήση του Διοξειδίου του Τιτανίου (TiO ₂)	35
1.5.4.	Πλεονεκτήματα της Ετερογενούς Φωτοκατάλυσης.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ		38
2.1.	Εισαγωγή	38
2.2.	Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Βουτών – Σταυρακίων ...	39
2.2.1.	Γενικά Στοιχεία.....	39
2.2.2.	Σηπτική Δεξαμενή	42
2.2.3.	Βιολογική Επεξεργασία.....	44
2.2.3.1.	Δεξαμενή Τροφοδοσίας & Ανακυκλοφορίας Χαλικόφιλτρου	44
2.2.3.2.	Χαλικόφιλτρο.....	44
2.2.4.	Απολύμανση (UV).....	45
2.2.5.	Διάθεση των Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων.....	46
2.3.	Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Δαφνών	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ 48

3.1.	Δειγματοληψία.....	48
3.2.	Πρότυπα Ανάλυσης Παραμέτρων & Αναλυτική Διαδικασία.....	49
3.2.1.	pH.....	49
3.2.2.	Αγωγιμότητα.....	49
3.2.3.	Διαλυμένο Οξυγόνο	49
3.2.4.	Θολερότητα.....	50
3.2.5.	Ολικά Στερεά (TS).....	50
3.2.6.	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)	51
3.2.7.	Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)	52
3.2.8.	Καθιζάνοντα Στερεά	53
3.2.9.	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	53
3.2.10.	Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	54
3.2.11.	Ολικό Άζωτο (TN).....	54
3.2.12.	Ολικός Φώσφορος (TP)	55
3.2.13.	Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC).....	55
3.3.	Πειραματική Διαδικασία της Ετερογενούς Φωτοκατάλυσης.....	59
3.3.1.	Υλικά & Στάδια Πειραματικής Διαδικασίας	59
3.3.2.	Φωτοκαταλυτικός Αντιδραστήρας	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ 63

4.1.	Εισαγωγή	63
4.2.	Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Βουτών – Σταυρακίων ...	63
4.2.1.	Φυσικά Χαρακτηριστικά	63
4.2.1.1.	pH.....	63
4.2.1.2.	Αγωγιμότητα.....	65
4.2.1.3.	Θολερότητα.....	66

4.2.1.4.	Διαλυμένο Οξυγόνο (DO).....	67
4.2.2.	Στερεά Συστατικά	69
4.2.2.1.	Ολικά Στερεά (TS).....	69
4.2.2.2.	Ολικά Πτητικά Στερεά (TVS).....	70
4.2.2.3.	Καθιζάνοντα Στερεά	71
4.2.2.4.	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)	72
4.2.2.5.	Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)	73
4.2.3.	Χημικά Χαρακτηριστικά	75
4.2.3.1.	Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	75
4.2.3.2.	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	76
4.2.3.3.	Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC).....	77
4.2.3.4.	Ολικό Άζωτο T(N).....	78
4.2.3.5.	Ολικός Φώσφορος T(P).....	80
4.2.3.6.	Λόγος BOD/COD	82
4.2.3.7.	Λόγος BOD/TOC.....	83
4.2.4.	Αξιολόγηση Εγκατάστασης.....	84
4.2.4.1.	Απόδοση Εγκατάστασης.....	84
4.2.4.2.	Επαναχρησιμοποίηση Εκροής	85
4.3.	Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Δαφνών	86
4.3.1.	Φυσικά Χαρακτηριστικά	86
4.3.1.1.	pH.....	86
4.3.1.2.	Αγωγιμότητα.....	87
4.3.1.3.	Θολρότητα.....	88
4.3.1.4.	Διαλυμένο Οξυγόνο (DO).....	89
4.3.2.	Στερεά Συστατικά	90
4.3.2.1.	Ολικά Στερεά (TS).....	90
4.3.2.2.	Ολικά Πτητικά Στερεά (TVS).....	91

4.3.2.3	Καθιζάνοντα Στερεά	92
4.3.2.4.	Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)	92
4.3.2.5.	Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)	93
4.3.3	Χημικά Χαρακτηριστικά	94
4.3.3.1.	Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD).....	94
4.3.3.2	Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	95
4.3.3.3	Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC).....	96
4.3.3.4	Ολικό Άζωτο T(N).....	97
4.3.3.5	Ολικός Φώσφορος T(P)	98
4.3.3.6	Λόγοι BOD/COD & BOD/TOC	98
4.3.4	Αξιολόγηση Εγκατάστασης	100
4.3.4.1	Απόδοση Εγκατάστασης.....	100
4.3.4.2	Επαναχρησιμοποίηση Εκροών	102
4.4.	Σύγκριση των δυο Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων	102
4.5.	Ετερογενής Φωτοκατάλυση.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ		112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Η αποκεντρωμένη διαχείριση των λυμάτων μπορεί να οριστεί ως η συλλογή, η επεξεργασία και η διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων από μεμονωμένα σπίτια, συγκροτήματα σπιτιών, δημόσια κτίρια, απομονωμένες κοινότητες ή μέρη μεγάλων κοινοτήτων που βρίσκονται κοντά σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Tchobanoglous, 1995; Crites and Tchobanoglous, 1998). Όπως άλλωστε τονίζει ο Nhari (2004), οι αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων γεμίζουν το «χάσμα» μεταξύ των ατομικών συστημάτων σε οικίες και των μεγάλων- κεντρικών εγκαταστάσεων.

Η εγκατάσταση αποκεντρωμένων συστημάτων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς είναι αναγκαία για την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και για την καλύτερη ποιότητα ζωής των κατοίκων τους.

Η έλλειψη αποχετευτικού δικτύου σε μικρές κοινότητες, η μεγάλη απόσταση αυτών των κοινοτήτων από τα κεντρικά αποχετευτικά δίκτυα, η άμεση δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των εκροών στα περιβάλλοντα αγροτεμάχια και το σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, οδήγησαν στη ραγδαία ανάπτυξη των αποκεντρωμένων συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων.

Οι σημαντικότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνουν: (α) τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας (εδαφικά συστήματα, λίμνες και τεχνητοί υγροβιότοποι), (β) βιολογικά φίλτρα και (γ) αντιδραστήρες βιολογικών μεμβρανών.

1.1.1 Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Γενικά, φυσικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ονομάζονται αυτά όπου η επεξεργασία του υγρού αποβλήτου πραγματοποιείται στο φυσικό

περιβάλλον κυρίως με φυσικές, χημικές, βιολογικές διεργασίες ή συνηθέστερα με κατάλληλο συνδυασμό τους, που λαμβάνει χώρα στο σύστημα ατμόσφαιρα – έδαφος – φυτό - απόβλητο (Αγγελάκης και Τσομπάνογλου, 1995; U.S. EPA, 2002). Συγκεκριμένα, στα συστήματα αυτά η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων βασίζεται σε διεργασίες, όπως είναι η καθίζηση, η προσρόφηση, η βιολογική αποικοδόμηση, η χημική κατακρήμνιση κ.α., που εφαρμόζονται και στα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας, καθώς επίσης και σε διεργασίες όπως είναι η φωτοσύνθεση, η φωτοοξειδωση και η πρόσληψη από τα φυτά.

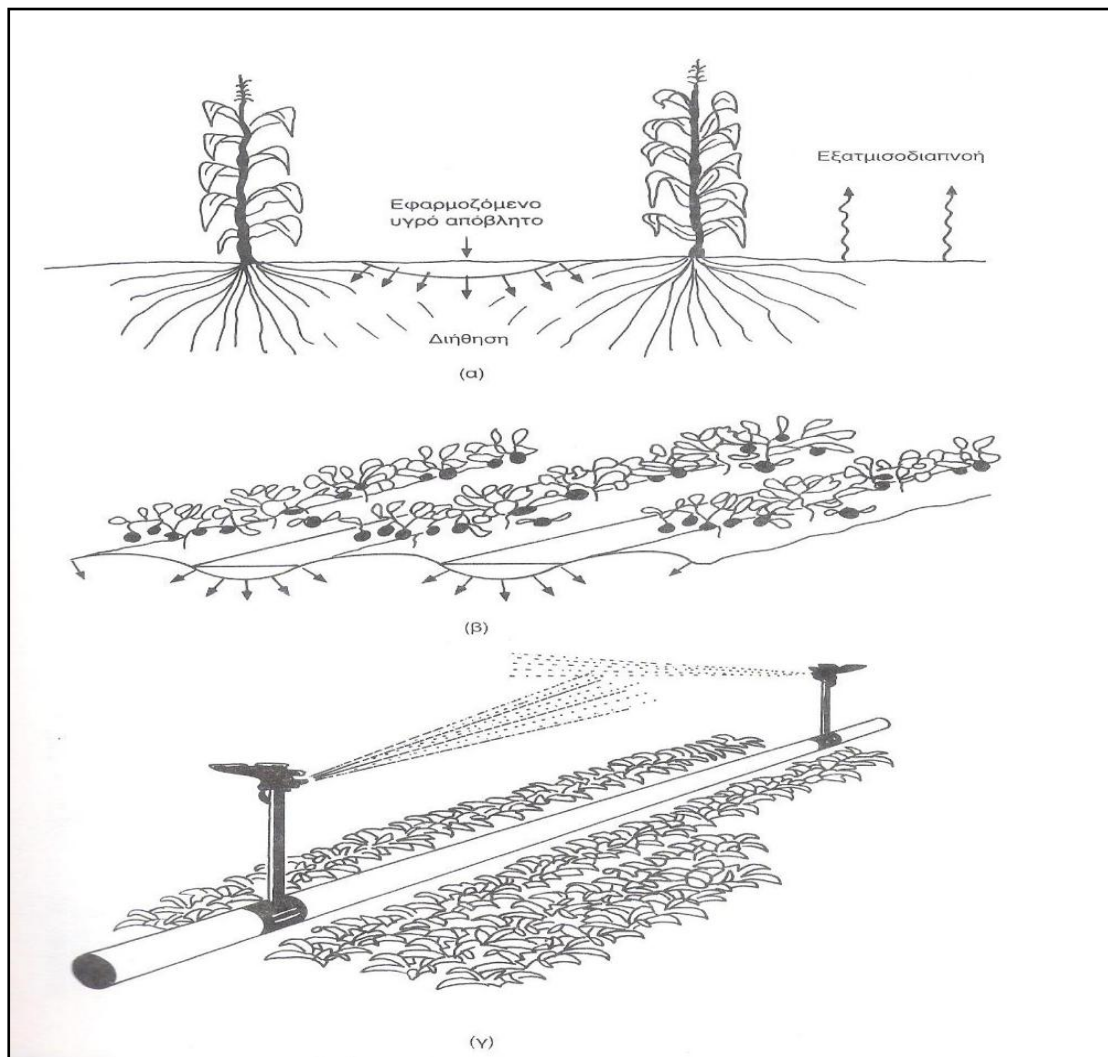
Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων συνοψίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

1.1.1.1 Εδαφικά Συστήματα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

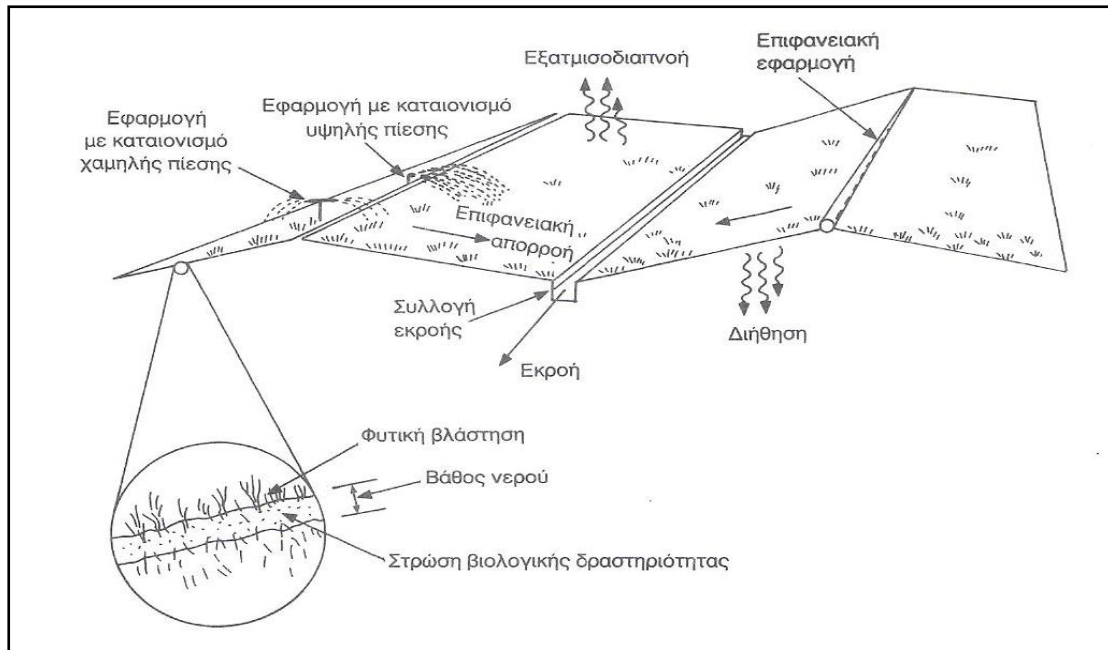
Στα εδαφικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων (Land treatment wastewater systems) η επεξεργασία των αποβλήτων πραγματοποιείται στην επιφάνεια του εδάφους και επιτυγχάνεται με φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες μέσα στο σύστημα έδαφος - υδροφορέας – ατμόσφαιρα – λύματα. Τα συστήματα αυτά διαχωρίζονται στις εξής επιμέρους τεχνικές (Crites and Tchobanoglous, 1998):

- Συστήματα Βραδείας Διήθησης ή Εφαρμογής (Slow rate Systems): τα προ- επεξεργασμένα απόβλητα στα συστήματα αυτά εφαρμόζονται σε έδαφος με βλάστηση, με σκοπό την κατανάλωσή τους μέσω της εξατμισοδιαπνοής ή διηθούνται στο έδαφος (Αγγελάκης και Τσομπάνογλου, 1995).
- Συστήματα Ταχείας Διήθησης (Rapid Infiltration Systems): τα προ- επεξεργασμένα απόβλητα εφαρμόζονται σε αβαθείς λεκάνες διήθησης σε διαπερατό έδαφος. Καθώς το απόβλητο διηθείται, δημιουργείται περαιτέρω επεξεργασία του μέσω φυσικών, χημικών και βιολογικών μηχανισμών (Crites and Tchobanoglous, 1998). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Metcalf and Eddy (1991), στα συστήματα αυτά η επεξεργασία γίνεται συνήθως με εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα, ανάκτηση με στράγγιση ή διάθεση και φυσική ροή του υπόγειου νερού και απόληξη σε επιφανειακή πηγή.

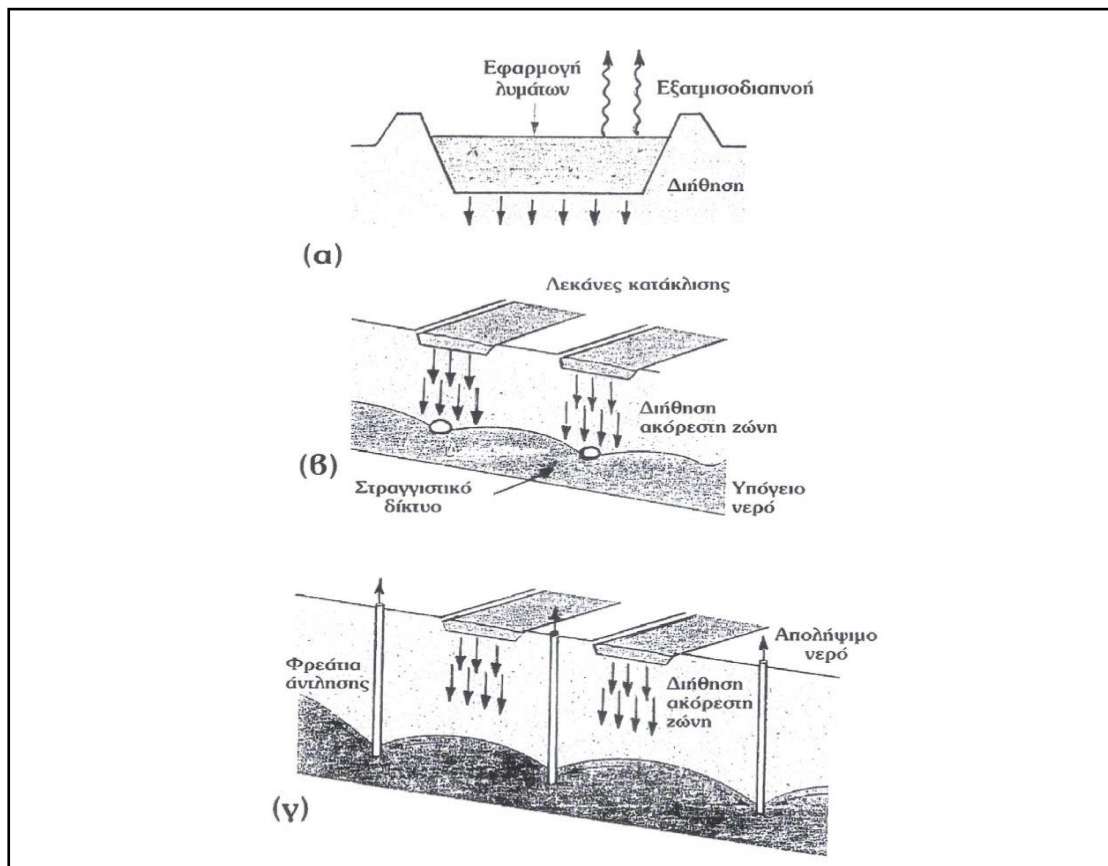
- Συστήματα Επιφανειακής Απορροής (Overland Flow Systems): βασίζονται στην εφαρμογή του προ- επεξεργασμένου αποβλήτου κατά μήκος της υψηλότερης πλευράς μιας κεκλιμένης επιφάνειας με φυτική βλάστηση, που επιτρέπει τη ροή του σε όλη την έκτασή της και τη συλλογή της στο τέλος της κλίσης της. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με εναλλασσόμενες περιόδους εφαρμογής και ανάπαυσης (ξηρανσης), η χρονική διάρκεια των οποίων εξαρτάται από το σκοπό της επεξεργασίας, δηλ. τη χρήση της τελικής εκροής. Η διανομή του υγρού αποβλήτου στα συστήματα αυτά γίνεται με εκτοξευτές υψηλής ή χαμηλής πίεσης ή με επιφανειακές μεθόδους, όπως είναι οι σωλήνες με ρυθμιζόμενες εξόδους (Αγγελάκης και Τσομπάνογλου, 1995; Προχάσκα, 2005).



Σχήμα 1.1: Σύστημα Βραδείας Διήθησης ή Εφαρμογής: (α) υδραυλική ροή, (β) επιφανειακή διάθεση και (γ) εφαρμογή με καταιονισμό (Metcalf and Eddy, 1991).



Σχήμα 1.2: Σύστημα Επιφανειακής Απορροής (Metcalf and Eddy, 1991).



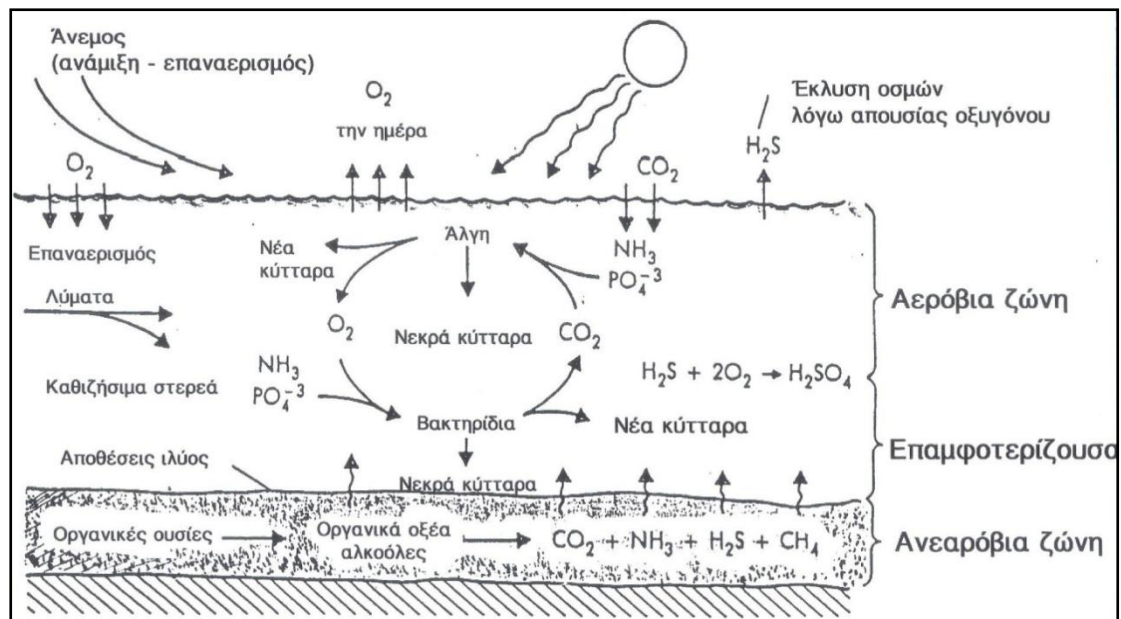
Σχήμα 1.3: Σύστημα Ταχείας Διήθησης: (α) διαδικασίες κατά τη διάθεση, (β) στραγγιστικό δίκτυο απόληψης λυμάτων και (γ) φρεάτια απόληψης λυμάτων.

1.1.1.2 Λίμνες

Η επεξεργασία των λυμάτων στα συστήματα αυτά βασίζεται σε διάφορες διεργασίες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα και οφείλονται στη μικροβιακή ζωή που αναπτύσσεται στο σύστημα. Οι λίμνες, οι οποίες ουσιαστικά είναι δεξαμενές διαφόρων βαθών, διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την παρουσία και την πηγή του οξυγόνου στα συστήματα αυτά (Crites and Tchobanoglous, 1998):

- Αερόβιες Λίμνες (Aerobic Lagoons): οι δεξαμενές αυτές συνήθως είναι ρηχές (0,3- 0,6 m) και περιέχουν βακτήρια και άλγη. Το μικρό βάθος τους επιτρέπει στο φως να τις διαπερνά, με στόχο την ενεργοποίηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των αλγών. Οι αερόβιες λίμνες χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες λίμνες και κατασκευάζονται κυρίως σε ζεστά και με άφθονο ήλιο κλίματα (Reed et al., 1995; Crites and Tchobanoglous, 1998).
- Επαμφοτερίζουσες Λίμνες (Facultative Lagoons): είναι ο επικρατέστερος και πιο ευπροσάρμοστος τύπος λιμνών. Το βάθος τους είναι πιο μεγάλο από τις αερόβιες, με αποτέλεσμα στα επιφανειακά στρώματα να επικρατούν αερόβιες συνθήκες, ενώ στα χαμηλότερα ανοξικές ή αναερόβιες. Ο εφοδιασμός του επιφανειακού στρώματος με οξυγόνο γίνεται με επαναερισμό ή από τα φωτοσυνθετικά φύκια.
- Μερικής Ανάμειξης Αεριζόμενες Λίμνες (Partial-mix Aerated Lagoons): το βάθος τους κυμαίνεται από 2 - 6 m και έχουν μεγαλύτερο οργανικό φορτίο από τις επαμφοτερίζουσες. Το οξυγόνο παρέχεται με σύστημα διαχύσεως αέρα ή με επιφανειακούς αεριστήρες.
- Αναερόβιες Λίμνες (Anaerobic Lagoons): χρησιμοποιούνται κυρίως για βιομηχανικά απόβλητα (σφαγεία κ.α.) σε αγροτικές περιοχές και έχουν βάθος από 5 έως 10 m.

Επιπλέον, θεωρείτο σκόπιμο να αναφερθούν μερικά αρνητικά στοιχεία των συστημάτων αυτών σε ξηρά κλίματα. Συγκεκριμένα, τα μειονεκτήματα είναι: (α) απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις (β) συχνά προβλήματα οσμών στις επαμφοτερίζουσες και αναερόβιες λίμνες, (γ) έκλυση αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. μεθάνιο, υδρόθειο) στην ατμόσφαιρα, (δ) εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων πολύτιμου νερού και (στ) αύξηση των ανόργανων αλάτων εξαιτίας της εξάτμισης (J. Van Lier et al., 1998).



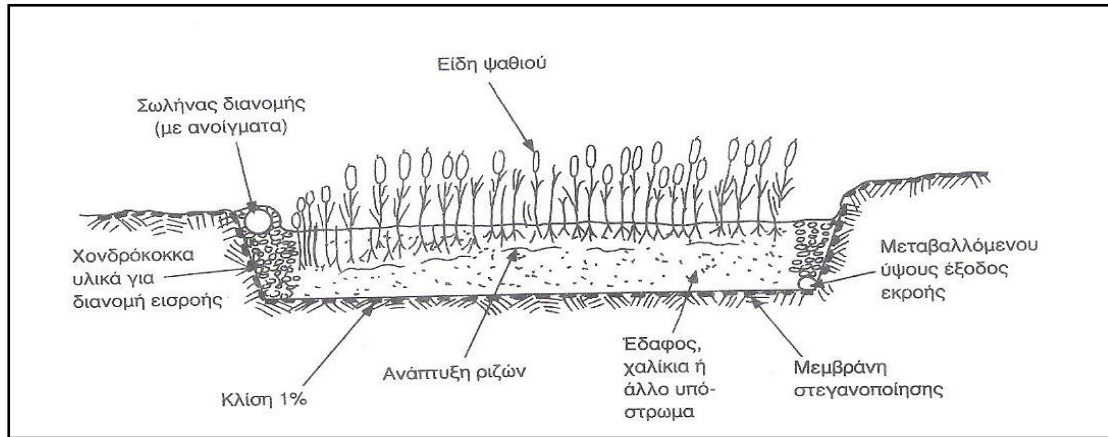
Σχήμα 1.4: Διεργασίες Επαμφοτερίζουσας Λίμνης (Tchobanoglous and Schroeder, 1985).

1.1.1.3 Τεχνητοί Υγροβιότοποι

Οι υγροβιότοποι (wetlands) χρησιμοποιούνται συνήθως για αστικά απόβλητα μικρών οικισμών, αγροτικές απορροές και για βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Γενικά, ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από: (α) μια δεξαμενή προ-επεξεργασίας των λυμάτων, (β) μια στεγανή δεξαμενή βιολογικής επεξεργασίας, η οποία περιέχει ένα στρώμα εδάφους (π.χ. άμμος, χαλίκι) το οποίο καλύπτεται από υδροχαρή φυτά και (γ) μια δεξαμενή συγκέντρωσης του επεξεργασμένου λύματος πριν την τελική διάθεση. Οι κυριότεροι τύποι τεχνητών υγροβιότοπων είναι οι εξής:

- Ελεύθερης Επιφανειακής Ροής (Free Water Surface constructed wetlands): τα λύματα ρέουν στην επιφάνεια του υγρότοπου από το σημείο εισόδου μέχρι το σημείο εξόδου ενώ, μερικές φορές, πραγματοποιείται εξάτμισή τους και διήθηση στο εσωτερικό του υγροβιότοπου. Η συνηθέστερη βλάστηση που χρησιμοποιείται είναι, διάφορα είδη ψαθών (*Typha* spp.), βούρλων (*Scirpus* spp.) και καλαμιών (*Phragmites* spp.) (U. S. EPA, 2000).
- Υπό- Επιφανειακής Ροής (Subsurface flow constructed wetlands): σε αυτόν τον τύπο υγροβιότοπου τα λύματα ρέουν μέσω των πόρων του

εδαφικού μέσου, στον οποίο χρησιμοποιούνται όμοια είδη βλάστησης με τον προηγούμενο. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά διακρίνονται, ανάλογα με τη ροή των λυμάτων ως προς το έδαφος, σε «Οριζόντιας Ροής» και «Κατακόρυφης Ροής».



Σχήμα 1.5: Εγκάρσια τομή υγροβιότοπου υπό- επιφανειακής ροής (U.S. EPA, 1988).

1.1.2 Βιολογικά Φίλτρα

Τα βιολογικά φίλτρα είναι η πιο συνηθισμένη αερόβια διεργασία προσκολλημένης βιομάζας. Δηλαδή, οι μικροοργανισμοί, που είναι υπεύθυνοι για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης ή των θρεπτικών συστατικών, είναι προσκολλημένοι σε ένα αδρανές πληρωτικό υλικό, το οποίο μπορεί να είναι τελειώς εμβαπτισμένο στο υγρό ή να μην είναι εμβαπτισμένο, με κενό χώρο αέρα πάνω από το υγρό στρώμα της βιολογικής στοιβάδας. Τα υλικά που κυρίως χρησιμοποιούνται στις διεργασίες αυτές είναι κροκάλες, χαλίκια, άμμος, ξύλα και μια μεγάλη ποικιλία πλαστικών και άλλων συνθετικών υλικών (Tchobanoglous et al., 2006).

Τα υγρά απόβλητα που εισέρχονται στα συστήματα αυτά, διοχετεύονται στην επιφάνεια του φίλτρου, μέσω διανομέων (κινούμενων ή σταθερών), όπου διηθούνται στο υλικό πλήρωσης. Στη συνέχεια, τα λύματα έρχονται σε επαφή με τη βιομάζα των μικροοργανισμών, η οποία διασπά ένα μέρος του οργανικού φορτίου και αποβάλλεται ακολούθως. Το οξυγόνο που απαιτείται κατά τις παραπάνω διεργασίες παρέχεται με καλό αερισμό μέσω του πορώδους των φίλτρων (Crites and Tchobanoglous, 1998).

Το ιδανικό υλικό πλήρωσης των βιολογικών φίλτρων πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (α) μεγάλη ειδική επιφάνεια, (β) να επιτρέπει ομοιόμορφη ροή των λυμάτων σαν ένα λεπτό στρώμα πάνω από τη βιομάζα, (γ) να έχει αρκετά κενά για την κυκλοφορία του αέρα και την απομάκρυνση των αποκολλημένων μικροοργανισμών, (δ) να είναι βιολογικά αδρανές, (ε) να είναι χημικά σταθερό και (στ) να είναι ανθεκτικό (Ανδρεαδάκης, 1989).



Σχήμα 1.6: Αερόβια βιολογική επεξεργασία (Νταρακάς, 2010).



Εικόνα 1.1: Βιολογικά φίλτρα με υλικό πλήρωσης α) χαλίκια και β) πλαστικό (www.google.gr).

1.1.3 Αντιδραστήρες Βιολογικών Μεμβρανών

Οι αντιδραστήρες βιολογικών μεμβρανών (Membrane Biological Reactors, MBR) έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων (Tchobanoglous et al., 2006; Brindle and Stephenson, 1996; Van Dijk and

Roncken, 1977; Trussel et al., 2000) και για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του νερού (Tchobanoglous et al., 2006; Cicek et al., 1998). Ουσιαστικά, οι μεμβράνες στηρίζονται στη διεργασία της διήθησης και αποσκοπούν στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και κolloειδών.

Οι μεμβράνες κατασκευάζονται συνήθως από οξική κυτταρίνη, πολυπροπυλένιο, αρωματικά πολυαμίδια και διακρίνονται σε τέσσερις τύπους (Tchobanoglous et al., 2006):

- Μικροδιήθησης (microfiltration): με μέγεθος πόρων μεμβράνης μεγαλύτερο από 50 nm.
- Υπερδιήθησης (ultrafiltration): με μέγεθος πόρων μεμβράνης από 2 – 50 nm.
- Νανοδιήθησης (nanofiltration): με μέγεθος πόρων μεμβράνης μικρότερο από 2 nm.
- Αντίστροφης Ωσμωσης (reverse osmosis).

Συστατικό	MF	UF	NF	RO
Βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις		√	√	√
TDS			√	√
TSS	√	√		
Βαρέα μέταλλα			√	√
Σκληρότητα			√	√
Νιτρικά ιόντα			√	√
Συνθετικές οργανικές ενώσεις			√	√
Οργανικοί ρύποι προτεραιότητας		√	√	√
Κύστες πρωτόζωων, ωοκύστες και ωάρια ελμίνθων	√	√	√	√
Ιοί			√	√
Βακτήρια	√	√	√	√

Πίνακας 1.1: Απομάκρυνση συστατικών με τους διαφόρους τύπους μεμβρανών (Tchobanoglous et al., 2006).

Το κυριότερο πλεονέκτημα της χρήσης μεμβρανών κατά την τριτοβάθμια ή προχωρημένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι ο μεγάλος βαθμός απομάκρυνσης οργανικού φορτίου και διαλυτών αλάτων. Αντιθέτως, τα

σημαντικότερα μειονεκτήματα, τα οποία περιορίζουν την ευρεία εφαρμογή τους, είναι (α) το υψηλό κόστος των διατάξεων και (β) το υψηλό κόστος λειτουργίας. Τα αρνητικά αυτά στοιχεία οφείλονται κυρίως, στις μεγάλες καταναλώσεις ενέργειας για την επίτευξη της απαιτούμενης υπερπίεσης και στις απαιτήσεις για τακτικές αντικαταστάσεις ή καθαρισμό των μεμβρανών λόγω έμφραξης (Νταρακάς, 2010).

1.2 Χαλικόφιλτρα με Ανακυκλοφορία

Τα χαλικόφιλτρα, όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω ενότητα, είναι αντιδραστήρες αερόβιων διεργασιών με πληρωτικό υλικό (χαλίκια). Δηλαδή, είναι δεξαμενές (κυκλικές ή ορθογώνιες) μέσα στις οποίες τοποθετούνται τα χαλίκια. Οι μικροοργανισμοί είναι προσκολλημένοι στην επιφάνεια των χαλικιών, όπου πραγματοποιείται η βιολογική αποικοδόμηση των λυμάτων που εισέρχονται στα φίλτρα.

Τα κενά μεταξύ των χαλικιών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα προκειμένου να μη φράζονται εύκολα από τη βιομάζα που αναπτύσσεται στις επιφάνειές τους. Συνεπώς, η διάμετρος των χαλικιών δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλη γιατί έτσι ελαττώνεται η επιφάνεια των στερεών, αλλά ούτε και πολύ μικρή γιατί έτσι ελαττώνεται ο όγκος των κενών χώρων (Νταρακάς, 2010). Η διάμετρος των χαλικιών σε ένα τυπικό χαλικόφιλτρο ενδείκνυται να είναι από 2,5 - 10,2 cm (U.S. EPA, 2000).

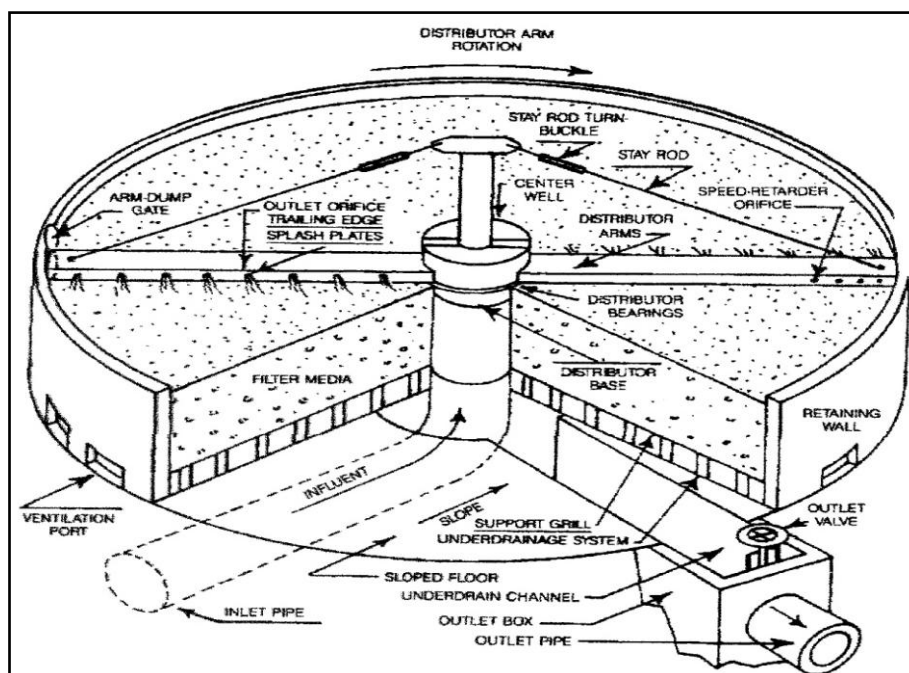
Συνήθως, για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της επεξεργασίας, και κατά συνέπεια του ποσοστού απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου από τα υγρά απόβλητα, συνίσταται να πραγματοποιείται επανακυκλοφορία του επεξεργασμένου υγρού μέσω των βιολογικών φίλτρων. Έτσι, με την ανακυκλοφορία μπορεί να πραγματοποιηθεί επεξεργασία μεγαλύτερου οργανικού φορτίου ανά μονάδα όγκου του φίλτρου. Σύμφωνα με τους Crites and Tchobanoglous (1998), οι τιμές του βαθμού ανακυκλοφορίας των λυμάτων γενικά προσαρμόζονται, καθώς η ροή των αποβλήτων αλλάζει, έτσι ώστε να διατηρείται μια περίπου συνεχόμενη - σταθερή ροή τους μέσα στα φίλτρα.

Ο βαθμός ανακυκλοφορίας ουσιαστικά δεν καθορίζει μόνο την ποσότητα των λυμάτων που θα οδηγηθούν στα βιολογικά φίλτρα, αλλά μειώνει ή ελαχιστοποιεί τις οσμές, αφού ανακατεύει ένα μεγάλο μέρος του επεξεργασμένου λύματος, που

βρίσκεται στη δεξαμενή ανακυκλοφορίας, με τα λύματα που εξέρχονται από τη σηπτική δεξαμενή, πριν το μείγμα των λυμάτων διοχετευτεί στα φίλτρα. Ο βαθμός ανακυκλοφορίας πρέπει να κυμαίνεται από 3:1 έως 5:1 (U.S. EPA, 2002).

Γενικά, τα βιολογικά φίλτρα έχουν ένα ποσοστό απομάκρυνσης του BOD₅ της τάξεως 80- 85 %. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται με τη διαδικασία της ανακυκλοφορίας των λυμάτων. Επιπλέον, τα ποσοστά ανακυκλοφορίας των λυμάτων πρέπει να αυξάνονται κατά τους κρύους μήνες, έτσι ώστε να διατηρήσουν την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας (Ragsdale and Associates, 1994).

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των χαλικοφίλτρων με ανακυκλοφορία είναι τα εξής (Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2012):(α) υψηλότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα απλά, (β) δεν πραγματοποιείται ικανοποιητική νιτροποίηση, (γ) αδυναμία ελέγχου της βιομάζας του φίλτρου, (δ) αδυναμία ελέγχου της ποσότητας του παρεχόμενου οξυγόνου και (δ) οχλήσεις από οσμές και έντομα.



Σχήμα 1.7: Χαλικοφίλτρο σε τομή (Metcalf and Eddy, 1991).

1.3 Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αποβλήτων

Αρχικά, ως υγρά απόβλητα χαρακτηρίζονται όλες οι ποσότητες νερού που καταναλώνονται, αξιοποιούνται σε διάφορες δραστηριότητες, από τον άνθρωπο και

αποβάλλονται υπό τη μορφή αποβλήτου. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192B/1997), τα υγρά απόβλητα ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- *Αστικά λύματα*: τα οικιακά λύματα ή το μείγμα οικιακών με βιομηχανικά υγρά απόβλητα ή και όμβρια ύδατα.
- *Οικιακά λύματα*: τα λύματα από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών που προέρχονται κυρίως από τις λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού και τις εμπορικές δραστηριότητες.
- *Βιομηχανικά απόβλητα*: οποιαδήποτε υγρά απόβλητα που απορρίπτονται από κτίρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική δραστηριότητα, και τα οποία δεν είναι οικιακά ή όμβρια ύδατα.

Στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μικρών οικισμών, όπως εξετάζονται και στην παρούσα εργασία, κυρίως, καταλήγει το νερό που έχει αποβληθεί από οικιακή χρήση.

Θεμελιώδη αξία έχουν οι γνώσεις των χαρακτηριστικών των υγρών αποβλήτων και της επίδρασής τους στο περιβάλλον, για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας (Νταρακάς, 2010).

1.3.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

Τα φυσικά χαρακτηριστικά που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ποιότητα των υγρών αποβλήτων είναι το χρώμα, η οσμή, το pH, η αγωγιμότητα, το διαλυμένο οξυγόνο, τα στερεά και η θολερότητα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια.

1.3.1.1 Χρώμα

Το χρώμα είναι ένδειξη της ηλικίας και της προέλευσης των υγρών αποβλήτων. Τα φρέσκα λύματα έχουν ανοιχτό καφέ γκρι χρώμα, ενώ όσο περισσότερο χρόνο παραμένουν σε αναερόβιες συνθήκες το χρώμα αυτό μετατρέπεται σε σκούρο γκρι και τελικά σε μαύρο. Το μαύρο χρώμα των λυμάτων οφείλεται στη σήψη τους (Tchobanoglous et al., 2006). Δηλαδή, είναι αποτέλεσμα

της κατανάλωσης του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς που διασπούν τις οργανικές ουσίες (Γεωργάκη, 2007).

1.3.1.2 Οσμή

Η οσμή στα υγρά απόβλητα δημιουργείται συνήθως από διάφορες χημικές ουσίες, διαλυμένες ή αιωρούμενες οργανικές ουσίες σε αποσύνθεση, μικροοργανισμούς και από τη διάλυση ορισμένων αερίων σε αυτά (Νταρακάς, 2010). Γενικά, η οσμή είναι ενδεικτικό στοιχείο της κατάστασης των λυμάτων. Συγκεκριμένα, τα φρέσκα υγρά απόβλητα έχουν μια διακριτική, δυσάρεστη οσμή, η οποία δεν συγκρίνεται με την έντονα ενοχλητική οσμή των αποβλήτων που έχουν υποστεί αναερόβια αποσύνθεση (Tchobanoglous et al., 2006). Αυτό οφείλεται στην έκλυση αερίων, όπως το υδρόθειο (H_2S), η αμμωνία (NH_3), το μεθάνιο (CH_4), που προκαλείται από τη διάσπαση της οργανικής ύλης. Επίσης, η ένταση της οσμής μπορεί να είναι και αποτέλεσμα της προέλευσης των υγρών αποβλήτων, όπως τα βιομηχανικά απόβλητα, τα γεωργικά υγρά απόβλητα κ.α.

1.3.1.3 Ενεργός Οξύτητα (pH)

Το pH του νερού εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, τη μεταβολική δραστηριότητα των υδρόβιων οργανισμών (φωτοσύνθεση, αναπνοή) και την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών. Η τιμή του στα φυσικά νερά πρέπει να κυμαίνεται από 6,5 έως 8,5. Η ενεργός οξύτητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ρύπανσης διότι επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις. Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH (pH=7). Επομένως, πολύ όξινα ή αλκαλικά υγρά απόβλητα είναι δύσκολο να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Συμπερασματικά, προκύπτει ότι έχει ιδιαίτερη σημασία η τιμή της ενεργού οξύτητας κατά τη διάθεση των εκροών των επεξεργασμένων λυμάτων, αφού δεν πρέπει να ξεπερνάει τις τιμές του pH του φυσικού αποδέκτη (Νταρακάς, 2010).

1.3.1.4 Αγωγιμότητα

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού αποτελεί μέτρο της ικανότητας ενός διαλύματος να άγει ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα αυτή αυξάνει με την αύξηση της συγκέντρωσης των ιόντων, και κατ' επέκταση των αλάτων που περιέχονται σε αυτό (Tchobanoglous et al., 2006). Επίσης, η αγωγιμότητα χρησιμοποιείται ως αντιπροσωπευτικό μέτρο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών (Total Dissolved Solids) στα υγρά απόβλητα, καθώς και στην αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων αποβλήτων που προορίζονται για άρδευση αφού συνδέεται άμεσα με την αλατότητα (Tchobanoglous et al., 2006; Νταρακάς, 2010).

1.3.1.5 Θολερότητα

Με τον όρο θολερότητα νοείται η απουσία διαύγειας σε ένα υγρό δείγμα. Η θολερότητα οφείλεται στα αιωρούμενα και τα κολλοειδή σωματίδια, όπως άργιλος, οργανικά και ανόργανα συστατικά, πλαγκτόν και άλλοι μικροοργανισμοί, που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Η θολερότητα των νερών παρεμποδίζει τη δίοδο του φωτός και απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία (Eaton et al., 1995; Hammer, 1986). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι κατά τη διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε υδάτινους αποδέκτες μπορεί να προκαλέσει την αύξηση της θερμοκρασίας τους, καθώς και τη μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε αυτούς.

1.3.1.6 Διαλυμένο Οξυγόνο

Γενικά, το οξυγόνο που βρίσκεται στα φυσικά νερά προέρχεται είτε μέσω της διάχυσης του ατμοσφαιρικού οξυγόνου στο νερό, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία, την αλατότητα και την ατμοσφαιρική πίεση, είτε μέσω της φωτοσυνθετικής παραγωγής οξυγόνου από τα ανώτερα υδρόβια φυτά και το φυτοπλαγκτόν (Νταρακάς, 2010).

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (Dissolved Oxygen, DO) παίζει σημαντικό ρόλο στα υδάτινα οικοσυστήματα. Αποτελεί δείκτη της ρύπανσης ενός

υδάτινου φορέα και είναι απαραίτητο για τη διατήρηση των περισσότερων μορφών ζωής σε αυτόν. Επίσης, το διαλυμένο οξυγόνο είναι εξίσου σημαντικό σε διάφορες χημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα τόσο κατά τη βιολογική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων όσο και κατά τη διάθεση των επεξεργασμένων αποβλήτων σε υδάτινους αποδέκτες.

1.3.1.7 Στερεές Ουσίες

Τα ολικά στερεά συστατικά (Total Solids, TS), που βρίσκονται στη μάζα των υγρών αποβλήτων, αποτελούνται από αιωρούμενα στερεά (Suspended Solids, SS) και διαλυμένα στερεά (Dissolved Solids, DS), τα οποία με τη σειρά τους διαχωρίζονται σε οργανικά ή πτητικά στερεά (Volatile Solids, VS) και ανόργανα – αδρανή ή σταθερά στερεά (Non- Volatile Solids, NVS ή Fixed Solids, FS) (Στάμου, 2004).

Τα στερεά συστατικά, που βρίσκονται στις επεξεργασμένες εκροές των υγρών αποβλήτων, παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος, κατά τη διάθεσή τους σε αυτό. Συγκεκριμένα, πολύ μεγάλη σημασία έχουν τα αιωρούμενα στερεά, αφού κατά τη διάθεσή τους στον υδάτινο αποδέκτη συσσωρεύονται στον πυθμένα, δημιουργώντας στρώμα λάσπης και ανεπιθύμητες αναερόβιες συνθήκες για το οικοσύστημα του φορέα. Επίσης, τα αιωρούμενα μαζί με τα διαλυμένα στερεά είναι υπεύθυνα για τη θολότητα των υδάτινων αποδεκτών (Στάμου, 2004). Επιπλέον, τα αιωρούμενα στερεά επηρεάζουν τη μεταφορά συστατικών, όπως του οξυγόνου, μεταξύ ατμόσφαιρας και νερού (Λοϊζίδου, 2006).

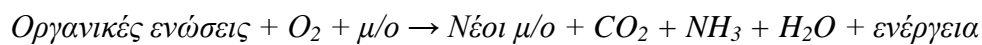
1.3.2 Χημικά Χαρακτηριστικά

Τα χημικά συστατικά των υγρών αποβλήτων διακρίνονται σε ουσίες οργανικής προέλευσης, όπως πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, έλαια, φυτοφάρμακα και οργανικές πτητικές ενώσεις, καθώς και σε ουσίες ανόργανης προέλευσης, όπως άζωτο, φώσφορος, ασβέστιο, νάτριο, μαγνήσιο κ.α.

Συγκεκριμένα, η οργανική ύλη που περιέχεται στα υγρά απόβλητα μετριέται κυρίως ως η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξειδωσή της. Οι κύριες εκφράσεις της κατανάλωσης αυτής περιγράφονται ακολούθως.

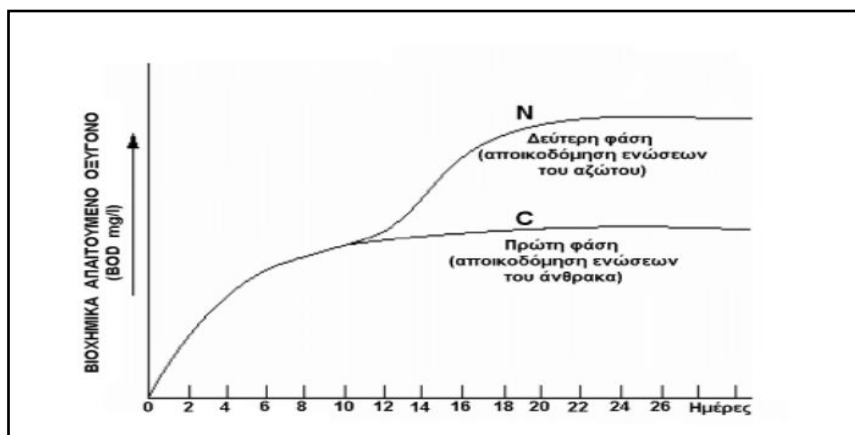
1.3.2.1 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς (μ/ο) κατά τη βιολογική αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών που βρίσκονται σε ένα δείγμα υγρών αποβλήτων. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι συνδυασμός βιολογικών και χημικών αντιδράσεων και δεν έχουν αυστηρό χαρακτήρα, όπως αυτά που προκύπτουν από μια καλά καθορισμένη χημική διαδικασία (ΕΛΟΤ 357). Η οξείδωση που πραγματοποιείται δίνεται παραστατικά παρακάτω:



Δεδομένου ότι η βιοχημική αποδόμηση είναι βραδεία διαδικασία και ολοκληρώνεται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, συνήθως μετράται το οξυγόνο που καταναλώνεται εντός των πρώτων πέντε ημερών από την έναρξή της (προσδιορισμός του BOD₅) (Λοϊζίδου, 2006).

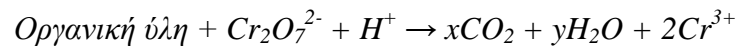
Τα αποτελέσματα των αναλύσεων του BOD στα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται: (α) για την εύρεση της ποσότητας του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοχημική οξείδωση της οργανικής ύλης, (β) την εύρεση του μεγέθους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, (γ) τη μέτρηση της αποδοτικότητας των διεργασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και (δ) την εύρεση των τιμών συμμόρφωσης των ορίων των εκροών κατά τη διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση (Tchobanoglous et al., 2006).



Σχήμα 1.8: Στάδια βιολογικής αποικοδόμησης των ενώσεων του αζώτου και του άνθρακα.

1.3.2.2 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD) εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που καταναλώνεται κατά την πλήρη οξείδωση των οργανικών συστατικών ενός δείγματος υγρού αποβλήτου από ένα ισχυρό οξειδωτικό (π.χ. διχρωμικό κάλιο), παρουσία καταλύτη, σε ανόργανα τελικά προϊόντα (ΕΛΟΤ 174). Η οξείδωση που πραγματοποιείται δίνεται παραστατικά παρακάτω:



Ουσιαστικά, το COD προσδιορίζει σε σύντομο χρονικό διάστημα το συνολικό φορτίο που υπάρχει σε ένα δείγμα υγρών αποβλήτων είτε είναι βιοαποικοδομήσιμο είτε όχι. Επίσης, αποτελεί βασική παράμετρο για το σχεδιασμό και τον έλεγχο της λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

1.3.2.3 Ολικός Οργανικός Άνθρακας

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (Total Organic Carbon, TOC) είναι μια άμεση μέτρηση του συνολικού οργανικού άνθρακα που περιέχεται στα υγρά απόβλητα ανεξάρτητα του είδους των ενώσεων σε αυτά. Δηλαδή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο των ρυπογόνων συστατικών, που περιέχονται σε ένα δείγμα υγρών αποβλήτων καθώς και των επεξεργασμένων εκροών τους.

1.3.2.4 Συσχετίσεις μεταξύ BOD, COD και TOC

Οι λόγοι BOD/ COD και BOD/ TOC είναι πολύ χρήσιμοι, γιατί δίνουν περισσότερες πληροφορίες για την ποιότητα των υγρών αποβλήτων καθώς και την αποτελεσματικότητα των διαφόρων σταδίων επεξεργασίας στις εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Πίνακα 1.2, εάν ο λόγος BOD/ COD για ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα είναι ίσος με 0,5 ή μεγαλύτερος, τότε τα απόβλητα θεωρούνται ότι είναι εύκολα επεξεργάσιμα με βιολογικές μεθόδους. Δηλαδή, όσο ο λόγος BOD/ COD είναι πιο κοντά στη μονάδα τόσο πιο βιοαποικοδομήσιμα είναι τα απόβλητα. Αντιθέτως, εάν ο λόγος είναι μικρότερος από 0,3, τότε τα απόβλητα είναι

τοξικά και δεν ενδείκνυται η εφαρμογή βιολογικής επεξεργασίας. Οι τιμές του λόγου BOD/ TOC αντίστοιχα κυμαίνονται από 1,2 έως 2,0 (Tchobanoglous et al., 2006).

Είδος Υγρού Αποβλήτου	BOD/ COD	BOD/ TOC
Ανεπεξέργαστα	0,3 – 0,8	1,2 – 2,0
Μετά την πρωτοβάθμια επεξεργασία	0,4 – 0,6	0,8 – 1,2
Τελική εκροή	0,1 – 0,3	0,2 – 0,5

Πίνακας 1.2: Λόγοι παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό των υγρών αποβλήτων (Tchobanoglous et al., 2006).

1.3.2.5 Άζωτο

Οι κύριες πηγές αζωτούχων ενώσεων στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι (α) τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, (β) η δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου, (γ) οι μηχανισμοί διάβρωσης και απόπλυσης των εδαφών της λεκάνης απορροής, με τα υπόγεια και τα επιφανειακά νερά και (δ) οι εκροές των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Νταρακάς, 2010).

Το άζωτο είναι απαραίτητο συστατικό για την ανάπτυξη διαφόρων μορφών ζωής τόσο στα υδάτινα όσο και στα χερσαία οικοσυστήματα. Στον Πίνακα 1.3, παρουσιάζονται οι διάφορες μορφές αζώτου που περιέχονται στα διάφορα οικοσυστήματα. Οι σημαντικότερες από αυτές, όσον αφορά την επίδρασή τους στο περιβάλλον κατά τη διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών, καθώς και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, είναι το οργανικό άζωτο (πρωτεΐνες, ουρία, αμινοξέα), η αμμωνία, τα νιτρώδη και τα νιτρικά.

Γενικά, η παρουσία αμμωνίας και νιτρικών στα υδάτινα οικοσυστήματα αποτελεί ένδειξη ρύπανσής τους από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει πρόσφατη ρύπανση, ενώ οι υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών, που αποτελούν και το τελικό προϊόν της οξείδωσης της αμμωνίας και γενικά των αζωτούχων ενώσεων, υποδηλώνει ρύπανση μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος (Λοϊζίδου, 2006).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι διάφορες μορφές του αζώτου, από τις οποίες αποτελούνται οι επεξεργασμένες εκροές των λυμάτων, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά προβλήματα στους υδάτινους αποδέκτες. Δηλαδή, η οξείδωση της αμμωνίας σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά απαιτεί σημαντικές ποσότητες οξυγόνου, το οποίο είναι απαραίτητο για τις διάφορες μορφές ζωής. Επίσης, η αμμωνία είναι τοξική στα ψάρια, ενώ τα νιτρικά χρησιμοποιούνται από τα φύκια και διάφορα άλλα υδρόβια φυτά για την ανάπτυξή τους. Επομένως, οι αυξημένες ποσότητες αζώτου σε υδάτινους αποδέκτες, σε συνδυασμό με την παρουσία φωσφόρου, μπορούν να προκαλέσουν υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών και άλλων υδρόβιων φυτών (ευτροφισμός) (Στάμου, 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό επικαλύμματος στις υδάτινες επιφάνειες προκαλώντας σκίαση στο κάτω μέρος των υδάτινων φορέων, μείωση του διαλυμένου οξυγόνου και κατά συνέπεια της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Επιπλέον, οι υψηλές συγκεντρώσεις του αζώτου στις επεξεργασμένες εκροές είναι σημαντική, σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση.

Στις βιολογικές διαδικασίες που πραγματοποιούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων το άζωτο έχει μεγάλη σημασία, γιατί αποτελεί μια από τις κυριότερες θρεπτικές ουσίες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών (Στάμου, 2004).

Μορφή του Αζώτου	Συμβολισμός	Προσδιορισμός
Αέρια αμμωνία	NH_3	NH_3
Αμμώνιο	NH_4^+	NH_4^+
Ολικό αμμωνιακό άζωτο	TAN	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Νιτρώδη	NO_2^-	NO_2^-
Νιτρικά	NO_3^-	NO_3^-
Ολικό οργανικό άζωτο	TIN	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$
Ολικό άζωτο Kjeldahl	TKN	Οργανικό N + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Οργανικό άζωτο	Οργανικό N	$\text{TKN} - (\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+)$
Ολικό άζωτο	TN	Οργανικό N + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$

Πίνακας 1.3: Διάφορες μορφές του αζώτου (Tchobanoglous et al., 2006).

1.3.2.6 Φώσφορος

Ο φώσφορος είναι ένα από τα βασικά συστατικά των ζωντανών οργανισμών. Στα υγρά απόβλητα εκφράζεται ως ολικός φώσφορος, ο οποίος διαχωρίζεται σε οργανικό και ανόργανο. Ο ανόργανος φώσφορος απαντάται κυρίως με τη μορφή των ορθοφωσφορικών (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) ή των πολυφωσφορικών ($\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$, $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$). Τα πολυφωσφορικά σε υδατικό διάλυμα υδρολύονται σε ορθοφωσφορικά, τα οποία καταναλώνονται από τους μικροοργανισμούς κατά το βιολογικό μεταβολισμό (Στάμου, 2004).

Η παρουσία φωσφόρου στα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, σε συνδυασμό με άζωτο, κατά τη διάθεσή τους σε υδάτινους αποδέκτες ευνοεί το φαινόμενο του ευτροφισμού. Επιπλέον, ο φώσφορος είναι απαραίτητο συστατικό της ανάπτυξης των μικροοργανισμών κατά τις βιολογικές διεργασίες στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

1.3.3 Βιολογικά Χαρακτηριστικά

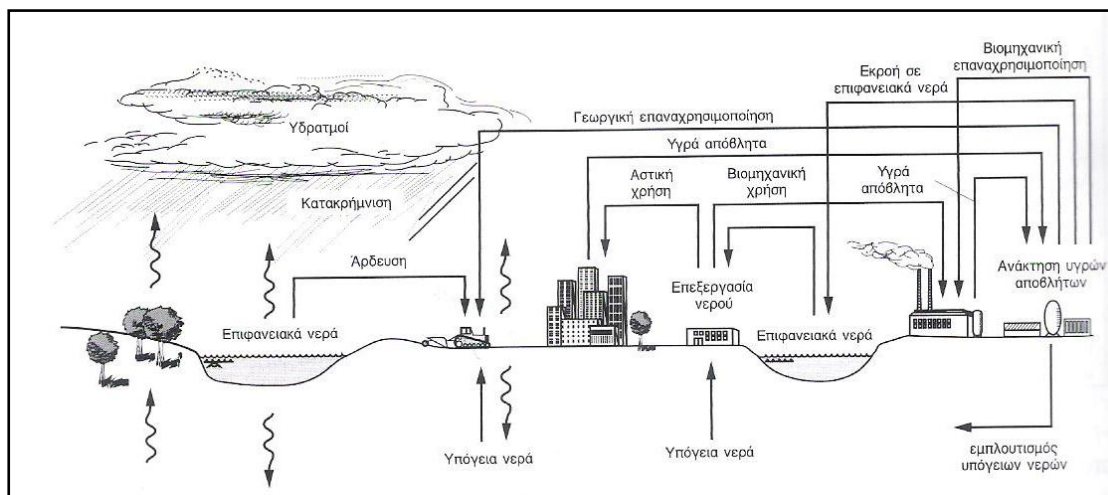
Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, όπως είναι τα βακτήρια τύφου, δυσεντερίας, χολέρας και διάφοροι ιοί, κυρίως αυτοί της λοιμώδους ηπατίτιδας και της πολιομυελίτιδας, υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτων, δημιουργώντας προβλήματα μόλυνσης και κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Οι κύριες πηγές τους είναι τα περιττώματα των ανθρώπων και των ζώων που πάσχουν ή είναι φορείς της σχετικών μικροοργανισμών (Λοϊζίδου, 2006).

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί βρίσκονται στους υδάτινους φορείς σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και σε μεγάλη ποικιλία ειδών, γεγονός που δυσχεραίνει την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό τους. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται τα κολοβακτηρίδια (*Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*), ως ενδεικτικοί παθογόνοι οργανισμοί, οι οποίοι βρίσκονται σε μεγάλους αριθμούς στα έντερα των ανθρώπων και των ζώων. Η παρουσία αυτής της ομάδας μικροοργανισμών στα υγρά απόβλητα είναι ένδειξη παθογένειας (Στάμου, 2004). Όσον αφορά τον προσδιορισμό των ιών, απαιτούνται πιο εξειδικευμένες αναλύσεις λόγω ότι δεν υπάρχει άμεση και πλήρης συσχέτισή τους με τα κολοβακτηρίδια (Λοϊζίδου, 2006).

1.4 Διάθεση & Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των Υγρών Αποβλήτων

Η έλλειψη υδάτινων πόρων καθώς και η μεγιστοποίηση των απαιτήσεων σε νερό, λόγω της αύξησης του πληθυσμού και των κλιματικών αλλαγών, οδήγησαν στην αναγκαιότητα επανάχρησης των υγρών αποβλήτων. Τα υγρά απόβλητα μετά την επεξεργασία τους μπορούν να διατεθούν σε υδάτινους ή εδαφικούς αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια, υπόγειους υδροφορείς, θάλασσα) ή να επαναχρησιμοποιηθούν (άρδευση, βιομηχανική χρήση, συμπλήρωση των επιφανειακών νερών, εμπλουτισμό των υπόγειων νερών). Η τελική τους χρησιμότητα εξαρτάται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία πρέπει να ακολουθούν τα Εθνικά και Διεθνή νομοθετικά πλαίσια που έχουν θεσπιστεί.

Διάφορες μελέτες δείχνουν ότι, αν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα διαχειρίζονταν κατάλληλα από τις κοινωνίες, τότε οι ανάγκες που έχουν οι αναπτυσσόμενες οικονομίες (π.χ. Ιορδανία, Λίβανος, Παλαιστίνη, Τουρκία) για υδάτινους πόρους θα εξαλείφονταν (Bdour et al., 2009). Συγκεκριμένα στην Κρήτη, οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούν περίπου μόλις το 5,1 % των εκροών τους για επαναχρησιμοποίηση σε αγροτικές καλλιέργειες, ποσοστό που με σωστούς χειρισμούς μπορεί και πρέπει να αυξηθεί (Tsagarakis et al., 2004).



Σχήμα 1.9: Ρόλος της επεξεργασίας, ανάκτησης και των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης στον κύκλο του νερού μέσω του υδρολογικού κύκλου (Metcalf & Eddy, 2006; Asano and Levine, 1996).

Η σχέση μεταξύ υγρών αποβλήτων, ανακτημένου νερού και επαναχρησιμοποίησης του νερού απεικονίζονται πιο ξεκάθαρα όταν χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν μικροί κύκλοι ανακύκλωσης (Σχήμα 1.9). Σε αυτό το σχήμα, απεικονίζονται συνοπτικά οι διαδικασίες του κύκλου του νερού, ξεκινώντας από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδάτινους πόρους, ακολουθούν οι διεργασίες επεξεργασίας του νερού για άρδευση, για αστικές και βιομηχανικές εφαρμογές, καθώς και οι διεργασίες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης. Η συμπλήρωση των επιφανειακών νερών και ο εμπλουτισμός των υπόγειων νερών γίνεται μέσω φυσικών λεκανών απορροής και μέσω διείσδυσης των νερών άρδευσης και των βρόχινων νερών (Tchobanoglous et al., 2006).

Η ποσότητα του μεταφερόμενου νερού εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, κλιματολογικούς και υδρογεωλογικούς παράγοντες, το βαθμό χρησιμοποίησης του νερού στις διάφορες εφαρμογές και το βαθμό άμεσης ή έμμεσης επαναχρησιμοποίησης του νερού (Tchobanoglous et al., 2006).

1.4.1 Ελληνική Νομοθεσία

- **KYA 145116 (ΦΕΚ 354B/ 8 Μαρτίου 2011)**

Η Κοινή Υπουργική Απόφαση 145116 καθορίζει τα μέτρα, τους όρους και τις διαδικασίες που απαιτούνται για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Συγκεκριμένα, σκοπός της είναι η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση των υδατικών πόρων, καθώς και η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων.

«*Επαναχρησιμοποίηση Υγρών Αποβλήτων*»: Η εν γένει διαχείριση των υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να μπορούν να ανακτηθούν ως νερό με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους.

«*Άμεση Επαναχρησιμοποίηση*»: η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ανακτημένο νερό), χωρίς να προηγηθεί αποθήκευση ή ανάμιξη με άλλα νερά.

«*Έμμεση Επαναχρησιμοποίηση*»: η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ανακτημένο νερό) σε επιφανειακούς ή υπόγειους ταμειυτήρες πριν από την επαναχρησιμοποίησή τους και κατά κανόνα η ανάμιξή τους με άλλα νερά.

«*Επαναχρησιμοποίηση χωρίς περιορισμούς (απεριόριστη)*»: οι χρήσεις του ανακτημένου νερού κατά τις οποίες η πρόσβαση του ευρύτερου κοινού και η σωματική επαφή δεν περιορίζονται, όπως πάρκα, ή άλλοι χώροι αναψυχής, χώροι πράσινου σε πόλεις και λίμνες αναψυχής.

«*Επαναχρησιμοποίηση με περιορισμούς (περιορισμένη)*»: οι χρήσεις του ανακτημένου νερού κατά τις οποίες η πρόσβαση του ευρύτερου κοινού και η σωματική επαφή τελούν υπό έλεγχο ή απαγόρευση, όπως περιφραγμένες και ελεγχόμενες περιοχές, συνήθως από δημόσιους φορείς.

«*Τροφοδότηση ή Εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα*»: η τροφοδότηση ή ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μέσω επιφανειακής διήθησης ή απευθείας μέσω γεωτρήσεων. Για την εφαρμογή της παρούσας απόφασης, η επαναχρησιμοποίηση μέσω της τροφοδότησης ή του εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα καλύπτει και την υπεδάφια ή επιφανειακή διάθεση των υγρών αποβλήτων.

Στη συνέχεια, στους παρακάτω πίνακες δίνονται αναλυτικά τα όρια των τιμών διαφόρων παραμέτρων των υγρών αποβλήτων που απαιτούνται για τις διάφορες περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών απόβλητων. Συγκεκριμένα, οι τύποι επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η περιορισμένη άρδευση, η απεριόριστη άρδευση, η βιομηχανική χρήση, η βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης, η αστική χρήση, ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων και το περιαστικό πράσινο.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Περιορισμένη άρδευση Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</p> <p>Βιομηχανική χρήση Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p>Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του άρθρου 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά⁽⁹⁾</p>	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνά με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ^{(α), (β)} Απολύμανση ^(γ)	BOD ₅ , SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) EC: μια ανά εβδομάδα Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)

Πίνακας 1.4: Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος.

Σημειώσεις Πίνακα 1.4:

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Άλλα συστήματα που παράγουν εκροή με ισοδύναμη ποιότητα (BOD₅/SS σε συμφωνία με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97) είναι αποδεκτά κατόπιν επαρκούς τεκμηρίωσης. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 45 mg/l, με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε ταμειυτήρες, γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορρύπανση ζωνών ή γίνεται εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα. Στις περιπτώσεις αυτές οι μέσες συγκεντρώσεις αζώτου πρέπει να μην υπερβαίνουν τα 15 mg/l.

β) Στην περίπτωση κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2000 ισοδύναμους κατοίκους και οικιακών ιδιωτικών συστημάτων επεξεργασίας επιτρέπονται οι τύποι επαναχρησιμοποίησης του Πίνακα 1.4 μετά από εφαρμογή μεθόδων επεξεργασίας, που δεν επιτυγχάνουν για τα BOD₅/SS τα όρια της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97), με την προϋπόθεση ότι τεκμηριωμένα εξασφαλίζεται η μη επαφή κοινού και γεωργών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Στις περιπτώσεις των

κοινοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας ως μέγιστη διάμεση τιμή *Escherichia coli* τίθενται τα 1000 EC/ 100ml.

γ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπερϊόδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδοι καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη διάμεση συγκέντρωση *Escherichia coli*. Σε κάθε περίπτωση και στο βαθμό που η επεξεργασία συνίσταται στην ελάχιστη απαιτούμενη κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται γινόμενο υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής ($C \cdot t$) μεγαλύτερο ή ίσο από $30 \text{ mg} \cdot \text{min/l}$, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 30 min, ενώ για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 70 mWsec/cm^2 στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 50%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

δ) Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη να τεκμηριώνεται η επάρκεια του εδαφικού συστήματος να επιτυγχάνει συγκράτηση οργανικών.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Απεριόριστη άρδευση Όλες οι καλλιέργειες όπως σπυροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριόριστη άρδευση επιπρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.</p> <p>Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ^(α)</p>	<p>≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95 % των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων v</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων v</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^(ε) ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια επεξεργασία^(στ) και Απολύμανση^(θ)</p>	<p><i>BOD₅, SS, N, P:</i> σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p><i>Θολότητα και διαπερατότητα:</i> για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p><i>EC:</i> για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής μία ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl_2 συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Πίνακας 1.5: Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης.

Σημειώσεις Πίνακα 1.5:

ε) Όπως η σημείωση (α) του Πίνακα 1.4. Στην περίπτωση άρδευσης σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητες λόγω νιτρορύπανσης απαιτείται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης – απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα.

στ) Κατάλληλο σύστημα που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 1.5 όρια για το BOD₅, τα SS και τη θολότητα. Ενδεικτικά, κατ' ελάχιστον προσθήκη κατάλληλου κροκιδωτικού (π.χ.θευκού αργιλίου) σε δόση μεγαλύτερη από 10 mg/l και απευθείας διύλιση σε δυλιστήριο άμμου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: βάθος δυλιστικού μέσου (L) ≥ 1,40 m, ενεργή διάμετρο κόκκων άμμου (D_e) ≈ 1 mm, συντελεστή ομοιομορφίας κόκκων άμμου (u) 1,45–1,60 και επιφανειακή φόρτιση ≤ 8 m³/m²/hr για κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

ζ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση Escherichia coli για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου ≥ 2 mg/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 60 mWsec/cm² στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

η) Για νερό βιομηχανικών διεργασιών θα εφαρμόζονται από την ενδιαφερόμενη βιομηχανία τα εκάστοτε απαιτούμενα πρόσθετα προχωρημένα συστήματα επεξεργασίας για απομάκρυνση ιόντων και άλλων διαλυμένων ενώσεων ή/και στοιχείων.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηριδία (TC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Αστική χρήση Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάβρεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρομίων, διακοσμητικά σιντριβάνια Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p> <p>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις</p> <p>Περιαστικό πράσινο συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών^(α)</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95 % των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^(β)</p> <p>ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία^(β) και Απολύμανση^(α)</p>	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>TC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δύο ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl₂ συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Πίνακας 1.6: Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις.

Σημειώσεις Πίνακα 1.6:

θ) Όπως η σημείωση (α) του Πίνακα 1.4 με την πρόσθετη απαίτηση να επιτυγχάνεται απομάκρυνση αζώτου μέσω νιτροποίησης-απονιτροποίησης, ώστε οι συγκεντρώσεις αμμωνιακού αζώτου και ολικού αζώτου να είναι μικρότερες από 2 mg/l και 15 mg/l αντίστοιχα.

ι) Κατάλληλο σύστημα μεμβρανών (συνιστάται τουλάχιστον υπερδιήθηση) ή ισοδύναμο σύστημα επεξεργασίας που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα 1.5 όρια για το BOD₅, τα SS και τη θολότητα. Στην περίπτωση χρήσης βιολογικών αντιδραστήρων μεμβράνης (membrane bioreactors) είναι δυνατή η συγχώνευση της δευτεροβάθμιας και προχωρημένης επεξεργασίας.

κ) Χλωρίωση, οζόνωση, χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδος καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων για το 80% των δειγμάτων. Σε κάθε περίπτωση κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου ≥ 2 mg/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος

μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 60 mWsec/cm² στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%. Θα πρέπει με κατάλληλη μελέτη, που συμπεριλαμβάνεται στη μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής να τεκμηριώνεται η επάρκεια, η αποτελεσματικότητα και κυρίως, η ευχέρεια ελέγχου της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης.

λ) Στις περιπτώσεις δασών είναι δυνατή η κατά περίπτωση, μετά από τεκμηρίωση, εφαρμογή των απαιτήσεων του Πίνακα 1.5 ή του Πίνακα 1.4.

- **ΚΥΑ 5673/400 (ΦΕΚ 192B/ 14 Μαρτίου 1997) (εναρμόνιση με την Οδηγία 91/271/EC)**

Η απόφαση 5673/400 εναρμονίζεται με τις διατάξεις της οδηγίας 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων που έχει δημοσιευτεί στην επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Κύριος σκοπός της απόφασης αυτής είναι ο καθορισμός και η λήψη των αναγκαίων μέτρων, ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος και της Δημόσιας Υγείας από τις αρνητικές επιπτώσεις της διάθεσης των αστικών λυμάτων, καθώς και των λυμάτων από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς.

«Διάθεση Λυμάτων»: η απόρριψη αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων στους υδάτινους αποδέκτες.

«Ευαίσθητες Περιοχές»: μια υδάτινη μάζα χαρακτηρίζεται ως ευαίσθητη περιοχή, αν εμπίπτει σε μια από τις εξής ομάδες:

α) Φυσικές λίμνες γλυκών υδάτων, εκβολές ποταμών και παράκτια και άλλοι υδάτινοι αποδέκτες γλυκών νερών όπου παρουσιάζεται ευτροφισμός ή που μπορεί, στο εγγύς μέλλον, να παρουσιασθεί ευτροφισμός αν δεν ληφθούν προστατευτικά μέτρα.

Όταν εξετάζεται ποια θρεπτικά συστατικά πρέπει να μειωθούν με περαιτέρω επεξεργασία μπορούν να λαμβάνονται υπόψη τα εξής στοιχεία:

i) Λίμνες και ρεύματα τα οποία καταλήγουν σε λίμνες / ταμιευτήρες / κλειστούς όρμους που διαπιστώνεται ότι έχουν ασθενή εναλλαγή ύδατος, οπότε μπορεί να συμβεί συσσώρευση. Στις περιοχές αυτές η επεξεργασία πρέπει να περιλαμβάνει την αφαίρεση φωσφόρου, εκτός εάν μπορεί να αποδειχθεί ότι η αφαίρεση δε θα επηρεάσει το επίπεδο ευτροφισμού. Όπου πραγματοποιούνται απορρίψεις από μεγάλους οικισμούς μπορεί επίσης να εξετασθεί η αφαίρεση αζώτου.

ii) Εκβολές ποταμών, όρμοι και άλλα παράκτια ύδατα που διαπιστώνεται ότι έχουν ασθενή εναλλαγή ύδατος ή που δέχονται μεγάλες ποσότητες θρεπτικών συστατικών. Οι απορρίψεις από μικρούς οικισμούς συνήθως είναι δευτερεύουσας σημασίας στις περιοχές αυτές, αλλά για τους μεγάλους οικισμούς η επεξεργασία πρέπει να περιλαμβάνει την αφαίρεση του φωσφόρου ή /και του αζώτου, εκτός εάν μπορεί να αποδειχθεί ότι η αφαίρεση δε θα επηρεάσει το επίπεδο ευτροφισμού.

β) Επιφανειακά γλυκά ύδατα προοριζόμενα για την άντληση πόσιμου νερού τα οποία θα μπορούσαν να περιέχουν νιτρικά ιόντα σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από εκείνη που προβλέπουν οι σχετικές διατάξεις της υπ' αριθμόν οικ. 46399/1352/1986 Κοινής Υπουργικής Απόφασης «Απαιτούμενη ποιότητα των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα κλπ» αν δε ληφθούν προστατευτικά μέτρα.

«Λιγότερο Ευαίσθητες Περιοχές»: μια θαλάσσια υδάτινη μάζα ή περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως λιγότερο ευαίσθητη περιοχή αν τα απορριπτόμενα λύματα δε θίγουν το περιβάλλον λόγω της μορφολογίας, της υδρολογίας ή των ειδικών υδραυλικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή αυτή.

Κατά τον προσδιορισμό των λιγότερο ευαίσθητων περιοχών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής στοιχεία: ανοικτοί όρμοι, εκβολές ποταμών και άλλα παράκτια ύδατα με καλή εναλλαγή ύδατος και στα οποία δεν παρουσιάζεται ευτροφισμός ή εξάντληση οξυγόνου ή στα οποία θεωρείται απίθανο να παρουσιαστεί ευτροφισμός ή εξάντληση οξυγόνου εξαιτίας της απόρριψης αστικών λυμάτων.

Οι απαιτήσεις των αστικών λυμάτων για την απόρριψή τους σε υδάτινους αποδέκτες από τους σταθμούς επεξεργασίας τους πρέπει να είναι οι εξής:

1. Ο σχεδιασμός ή η μετασκευή των σταθμών επεξεργασίας λυμάτων γίνεται έτσι ώστε να μπορούν να λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά δείγματα των εισερχομένων και επεξεργασμένων λυμάτων προτού απορριφθούν στους υδάτινους αποδέκτες.
2. Οι απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων, οι οποίες υποβάλλονται σε επεξεργασία, σύμφωνα με τα άρθρα 4 (Δημιουργία δικτύων αποχέτευσης) και 5 (Προσδιορισμός ευαίσθητων περιοχών- Προϋποθέσεις διάθεσης αστικών λυμάτων) της παρούσας οδηγίας πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις που παρατίθενται στον Πίνακα 1.7.
3. Επιπλέον οι απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων προς τις ευαίσθητες περιοχές όπου παρουσιάζεται ευτροφισμός, πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις που παρατίθενται στον Πίνακα 1.8.
4. Όπου πρέπει να διασφαλίζεται ότι οι υδάτινοι αποδέκτες ανταποκρίνονται σε τυχόν άλλες σχετικές οδηγίες ισχύουν αυστηρότερες απαιτήσεις από όσες παρατίθενται στους Πίνακες 1.7 ή /και 1.8.
5. Τα σημεία απόρριψης των αστικών λυμάτων επιλέγονται ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο δυνατόν οι επιπτώσεις στα ύδατα υποδοχής.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία που έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω. Συγκεκριμένα, στον Πίνακα 1.7 δίνονται οι ανώτατες συγκεντρώσεις ορισμένων παραμέτρων των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, που είναι για απόρριψη από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Επίσης, στον Πίνακα 1.8 συνοψίζονται τα ανώτατα όρια των συγκεντρώσεων του αζώτου και του φωσφόρου στα επεξεργασμένα λύματα που διατίθενται σε ευαίσθητες περιοχές.

Παράμετροι	Συγκέντρωση	Ελάχιστη Εκατοστιαία Μείωση (1)	Μέθοδοι Μέτρησης Αναφοράς
Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD ₅) στους 20 °C χωρίς νιτροποίηση (2)	25 mg/l O ₂	70-90 40 δυνάμει αρθ.4 παρ.2 (2000-15000 ι.π. και άνω των 15000 ι.π.)	Ομογενοποιημένο, αδιάθιτο, ακατακάθιστο δείγμα-προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου πριν & μετά την πενήνήμερη επώαση σε απόλυτο σκότος. Προσθήκη του παρεμποδιστή της νιτροποίησης
Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)	125 mg/l O ₂	75	Ομογενοποιημένο, αδιάθιτο, ακατακάθιστο δείγμα-Διχρωμικό κάλιο.
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)	35 mg/l (3) 35 δυνάμει αρθ.4 παρ.2 (άνω των 1000 ι.π.) 60 δυνάμει αρθ.4 παρ.2 (2000- 1000 ι.π.)	90 90 δυνάμει αρθ.4 παρ.2 (άνω των 10000 ι.π.) 70 δυνάμει αρθ.4 παρ.2 (2000- 1000 ι.π.)	-Διήθηση αντιπροσωπευτικού δείγματος μέσω φίλτρου μεμβράνης 0,45μm, ξήρανση σε θερμοκρασία 105 °C και ζύγιση. -Φυγοκέντριση αντιπροσωπευτικού δείγματος επί 5 τουλάχιστον λεπτά με μέση επιτάχυνση 2800-3200, ξήρανση στους 105 °C και ζύγιση.

Πίνακας 1.7: Απαιτήσεις για απορρίψεις από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Σημειώσεις Πίνακα 1.7:

- (1) Μείωση ανάλογα με το φορτίο των εισερχομένων λυμάτων
- (2) Η παράμετρος αυτή μπορεί να αντικατασταθεί από τον ολικό οργανικό άνθρακα (TOC) ή ολικά απαιτούμενο οξυγόνο (TOD), αν μπορεί να υπάρχει σχέση μεταξύ του BOD₅ και της υποκατάστατης παραμέτρου.
- (3) Η απαίτηση είναι προαιρετική. Οι αναλύσεις που αφορούν απορρίψεις από τελμάτωση διεξάγονται σε διηθημένα δείγματα. Ωστόσο τη συγκέντρωση συνόλου των αιωρούμενων στερεών σε αδιάθιτα δείγματα υδάτων δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 150 mg/l.

Παράμετροι	Συγκέντρωση	Ελάχιστη Εκατοστιαία Μείωση (1)	Μέθοδοι Μέτρησης Αναφοράς
Ολικός Φώσφορος	2 mg/l P (10000 - 100000 ι.π.) 1 mg/l P (άνω των 100000 ι.π.)	80	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης.
Ολικό Άζωτο (2)	15 mg/l N (1000- 100000 ι.π.) 10 mg/l N (άνω των 100000 ι.π.) (3)	70- 80	Φασματοφωτομετρία μοριακής απορρόφησης.

Πίνακας 1.8: Απαιτήσεις για διάθεση από σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων σε ευαίσθητες περιοχές, όπου παρουσιάζεται ευτροφισμός.

Σημειώσεις Πίνακα 1.8:

- (1) Μείωση ανάλογα με το φορτίο των εισερχομένων λυμάτων
- (2) Ολικό άζωτο σημαίνει το άθροισμα του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl, των νιτρικών και νιτρωδών ιόντων.
- (3) Εναλλακτικά ο ημερήσιος μέσος όρος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 mg/l. Η απαίτηση αυτή αναφέρεται σε θερμοκρασία ύδατος τουλάχιστον 120 °C κατά τη λειτουργία του βίο-αντιδραστήρα της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων. Αντί για την προϋπόθεση της θερμοκρασίας μπορεί να εφαρμοστεί ένας περιορισμένος χρόνος λειτουργίας ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες.

1.4.2 Οδηγία της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (U.S. EPA, 2004)

Στην προαναφερθείσα οδηγία (U.S. EPA, 2004), καθορίζονται διεργασίες επεξεργασίας και όρια ποιοτικών παραμέτρων για κάθε προοριζόμενη χρήση των εκροών των υγρών αποβλήτων. Επίσης, υιοθετούνται τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια (FC) ως «δείκτες» για την εκτίμηση της μικροβιολογικής ποιότητας των εκροών και θέτονται όρια συγκέντρωσης για το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) και την θολότητα. Επιπλέον, προτείνεται ένα ελάχιστο επίπεδο απολύμανσης για όλες τις χρήσεις του επεξεργασμένου νερού, έτσι ώστε να

αποφευχθούν τυχόν επιπτώσεις από τυχαία επαφή ή επαφή προερχόμενη από ατύχημα ή λανθασμένους χειρισμούς.

Οι λόγοι που οδήγησαν την υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ να καταλήξει στις οδηγίες, που παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.9, είναι οι εξής (Παρανυχιανάκης κ.α., 2009):

- α) Τα περισσότερα παθογόνα βακτήρια θα απενεργοποιηθούν ή θα απομακρυνθούν σε χαμηλά ή μη σημαντικά επίπεδα.
- β) Η συγκέντρωση ενεργών ιών και παρασίτων θα μειωθεί σημαντικά.
- γ) Η απολύμανση δευτεροβάθμιας επεξεργασίας εκροών στο επίπεδο 200 FC/100 ml είναι εύκολα επιτεύξιμη και με μικρό σχετικά κόστος.
- δ) Η επίτευξη χαμηλότερου (και όχι μηδενικού) επιπέδου παθογόνων οργανισμών θεωρείται ότι δε συνεπάγεται αντίστοιχα σημαντικά οφέλη για τη δημόσια υγεία.

Κατηγορία ανακύκλωσης υγρών αποβλήτων	Διεργασίες επεξεργασίας και Ποιοτικοί παράμετροι	Ενδεικτική χρήση
Αστική χρήση		
Χωρίς Περιορισμούς Χρήσης/Πρόσβασης	Δευτεροβάθμια, απολύμανση BOD ₅ : <10 mg/L, FC: ND/100 mL, Θολότητα: < 2 NTU Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L	Άρδευση τοπίων (πάρκα και αυλές), αντιπυρική προστασία, κατασκευαστικές εργασίες, σιντριβάνια, τουαλέτας, κλιματισμός
Με Περιορισμούς Χρήσης/Πρόσβασης	Δευτεροβάθμια και απολύμανση BOD ₅ : < 30 mg/L, TSS: < 30 mg/L FC: < 200/100 mL Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L	Άρδευση περιοχών όπου η διέλευση κοινού είναι αραιή και ελεγχόμενη: νησίδες δρόμων, νεκροταφεία, γήπεδα γκολφ, οικιστικές ζώνες πρασίνου
Γεωργική χρήση		
Άρδευση χωρίς περιορισμούς χρήσης	Δευτεροβάθμια, διήθηση, απολύμανση BOD ₅ : < 10 mg/L, Θολότητα: <2 NTU, FC: ND/100 mL Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L	Καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα που καταναλώνονται ωμά
Άρδευση με περιορισμούς χρήσης	Δευτεροβάθμια και απολύμανση BOD ₅ : <30 mg/L, TSS: < 30 mg/L, FC: < 200/100 mL Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L	Κτηνοτροφικά φυτά, καλλιέργειες σποροπαραγωγής, ανθοκομικές καλλιέργειες, λιβάδια, βοσκές και άλλες
Χρήσεις για αναψυχή		
Χωρίς περιορισμούς	Δευτεροβάθμια, διήθηση, απολύμανση BOD ₅ : <10 mg/L, Θολότητα: <2 NTU, FC: ND/100 mL Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L	Κανένας περιορισμός ως προς την ανθρώπινη επαφή:
Με περιορισμούς	Δευτεροβάθμια και απολύμανση BOD ₅ : < 30 mg/L, TSS: < 30 mg/L, FC: < 200/100 mL Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L	Ψάρεμα και άλλες χρήσεις αναψυχής, που δεν περιλαμβάνουν επαφή
Περιβαλλοντική χρήση		
	Όρια ανά περίπτωση pH, DO, TC, θρεπτικά	Χρήση εκροών σε υδροβιότοπους, αύξηση ροής υδατορευμάτων κ.α.
Βιομηχανική χρήση		
	Δευτεροβάθμια και απολύμανση BOD ₅ : <30 mg/L, TSS: <30 mg/L FC: < 200/100 mL	Συστήματα ψύξης, νερό τροφοδοσίας λεβήτων και κατασκευαστικές χρήσεις

Πίνακας 1.9: Οδηγίες επαναχρησιμοποίησης εκροών αστικών υγρών αποβλήτων που εφαρμόζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

1.5 Φωτοκατάλυση

1.5.1 Εισαγωγή

Η ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, από δύσκολα βιοαποικοδομήσιμους ρύπους, όπως χρωστικές ουσίες που προέρχονται από εργοστάσια κλωστοϋφαντουργίας, χάρτου, πλαστικού, χρωμάτων κ.α. και φυτοφάρμακα, οδηγεί στην εύρεση και μελέτη πιο αποτελεσματικών μεθόδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Konstantinou and Albanis, 2004; Pekakis et al., 2006; Chong et al., 2010). Μια από αυτές τις μεθόδους αποτελεί η ετερογενής φωτοκατάλυση, η οποία ανήκει στις τεχνολογίες που χαρακτηρίζονται ως «Προχωρημένες Οξειδωτικές Μέθοδοι Αντιρρύπανσης (Π.Ο.Μ.Α.)». Η αποτελεσματικότητα τους οφείλεται στη δημιουργία δραστικών ενδιάμεσων (όπως η ρίζα υδροξυλίου), με τη βοήθεια των οποίων οξειδώνεται μια μεγάλη γκάμα ρύπων γρήγορα και μη επιλεκτικά (Konstantinou and Albanis, 2004).

1.5.2 Έννοια και Μηχανισμός της Φωτοκατάλυσης

Με τον όρο *φωτοκατάλυση* νοείται η επιτάχυνση μιας φωτοχημικής αντίδρασης παρουσία ενός καταλύτη, στην επιφάνεια του οποίου πραγματοποιείται η αντίδραση αυτή. Στην πλειονότητα των περιβαλλοντικών εφαρμογών, η φωτοκατάλυση είναι η διαδικασία παραγωγής ισχυρών οξειδωτικών μορίων (κυρίως ριζών $\cdot\text{OH}$) από ένα υδατικό μέσο, παρουσία ενός στερεού (ετερογενούς) ημιαγωγικού καταλύτη (TiO_2 anatase, TiO_2 Degussa P-25, TiO_2 rutile, ZnO κ.α.), ο οποίος είναι χημικά αδρανής, οικονομικός και μη τοξικός, παρουσία τεχνητού ή φυσικού φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος (Μανιός, 2003; Konstantinou and Albanis, 2004). Τελικό αποτέλεσμα των παραπάνω διεργασιών είναι η πλήρης οξείδωση διαφόρων οργανικών και ανόργανων ρύπων, καθώς και η απενεργοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών, χωρίς την περαιτέρω επιβάρυνση του περιβάλλοντος (Πούλιος, 2004). Η συνολική διαδικασία μπορεί να χωριστεί σε πέντε στάδια (Chong et al., 2010; Herrmann, 1991; Fogler, 1999):

- Μεταφορά των οργανικών ρύπων της υγρής φάσης στην επιφάνεια του καταλύτη.
- Προσρόφηση τουλάχιστον ενός ρύπου στην ενεργή επιφάνεια του καταλύτη.

- Φωτοκαταλυτική αντίδραση στην επιφάνεια του καταλύτη στη φάση προσρόφησης.
- Αποβολή των απορροφηθέντων προϊόντων.
- Αφαίρεση των προϊόντων από τη διεπιφάνεια.

Ο μηχανισμός της ετερογενούς φωτοκατάλυσης των οργανικών ενώσεων βασίζεται στο φωτοηλεκτροχημικό φαινόμενο, το οποίο αποτελεί έναν από τους τρεις τρόπους μετατροπής της φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική ή χημική. Κατά το φωτισμό των αιωρημάτων των ημιαγωγικών κόνεων, η απορρόφηση ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη αυτής που αντιστοιχεί στο ενεργειακό χάσμα, προκαλεί τη δημιουργία φορέων ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή ηλεκτρονίων (e^-) και οπών (h^+).

Σύμφωνα με το μοντέλο των μοριακών τροχιακών, σε υδατικά διαλύματα οι φωτοδημιουργούμενες οπές αντιδρούν με τα ιόντα OH^- ή με τα μόρια του H_2O , που είναι προσροφημένα στην επιφάνεια του ημιαγωγού, και τα οξειδώνουν προς τις αντίστοιχες ρίζες υδροξυλίου ($\bullet OH$). Οι ρίζες αυτές αποτελούν το κύριο οξειδωτικό μέσο (δυναμικό οξείδωσης 2,8V), το οποίο προσβάλλει τα οργανικά μόρια ($N=N$, $C=C$, $C-C$, $C-N$, $C-S$ και $C=N$) τα οποία είναι απορροφημένα στην επιφάνεια του καταλύτη στο διάλυμα, σπάζουν τους διάφορους δεσμούς και τα αποδομούν προς CO_2 και ανόργανα άλατα (Πούλιος, 2004; Μιχαηλίδης, 2009).

Ταυτόχρονα, τα φωτοπαραγόμενα ηλεκτρόνια μπορούν να αντιδράσουν με αποδέκτες ηλεκτρονίων, όπως το οξυγόνο που περιέχεται στον αέρα, με αποτέλεσμα την αναγωγή του και την παραγωγή υπεροξειδικών ανιόντων ($O_2^{\bullet -}$). Τα ανιόντα αυτά ενώνονται με το ενδιάμεσο προϊόν της οξειδωτικής αντίδρασης, σχηματίζοντας υπεροξείδιο και στη συνέχεια νερό. Πιστεύεται ότι, η διεργασία μεταφοράς των ηλεκτρονίων στα μόρια οξυγόνου μπορεί να καθορίσει την ταχύτητα της συνολικής φωτοκαταλυτικής δράσης, σε περιπτώσεις όμως, που οι θετικές οπές καταναλώνονται ικανοποιητικά από τους οργανικού ρύπους (Μιχαηλίδης, 2009).

1.5.3 Χρήση του Διοξειδίου του Τιτανίου (TiO_2) στη Φωτοκατάλυση

Το TiO_2 εμφανίζεται σε τρεις κρυσταλλογραφικές μορφές: του ανατάσιου (anatase), του ρουτιλίου (rutile) και του μπρουκίτη (brookite). Μόνο οι δύο πρώτες χρησιμοποιούνται ως φωτοκαταλύτες. Τόσο στο ανατάσιο όσο και στο ρουτίλιο, το

ίον του τιτανίου, βρίσκεται στο κέντρο ενός οκταέδρου που σχηματίζεται από άτομα οξυγόνου. Στο ρουτίλιο τα ιόντα οξυγόνου σχηματίζουν ένα συμπαγές στραμμένο οκταεδρικό πλέγμα, με δύο ακμές κοινές με διπλανά οκτάεδρα. Στο ανατάσιο τα γειτονικά οκτάεδρα έχουν τέσσερις ακμές κοινές. Και στις δύο δομές, κάθε οξυγόνο συνορεύει με τρία ομοεπίπεδα κατιόντα τιτανίου. Η διαφορά των δύο κρυσταλλικών δομών είναι ότι στο ρουτίλιο, η γωνία των Ti-O-Ti είναι περίπου 120° η κάθε μία, ενώ στο ανατάσιο, οι δύο γωνίες είναι 90° και η τρίτη 180° . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή στο εύρος των ζωνών αγωγιμότητας και σθένους (Augugliaro et al., 1997).

Το ρουτίλιο είναι η πιο κοινή και πιο διαδεδομένη από τις τρεις δομές, ενώ το ανατάσιο είναι η πιο σπάνια, αλλά χρησιμοποιείται ευρέως στην εργαστηριακή έρευνα. Το ανατάσιο και ο μπρουκίτης μπορούν να περιέλθουν στη δομή του ρουτιλίου κάτω από υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες είναι 915°C και 750°C αντίστοιχα (Howard, 1999). Η αύξηση όμως της θερμοκρασίας ανόπτησης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους του κρυστάλλου που αναπτύσσεται, ενώ μειώνεται σημαντικά η ενεργή επιφάνεια του. Η μορφή του TiO_2 , που υπερτερεί σε σχέση με τη φωτοκαταλυτική δραστηριότητα, είναι του ανατάσιου, λόγω της μεγαλύτερης ενεργού επιφάνειας και επιπλέον λόγω του χαμηλότερου βαθμού επανασύνδεσης των φωτοδιεγερμένων e^- και h^+ (Palmisano and Sclafani, 1997). Βέβαια, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η μορφή του ρουτιλίου δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα, π.χ. η οξειδωση των CN^- και η αναγωγή των χρωμικών γίνεται ευκολότερα με το ρουτίλιο παρά με το ανατάσιο.

Το μειονέκτημα του TiO_2 είναι ότι η ενεργοποίησή του πραγματοποιείται με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας, γεγονός που επιτρέπει την εκμετάλλευση μικρού μόνο τμήματος της ηλιακής ακτινοβολίας, αφού μόνο το 3,5- 8% της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη είναι υπεριώδης.

Ο πιο εμπορικός φωτοκαταλύτης που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το Degussa P25 TiO_2 . Παράγεται από την υδρόλυση του TiCl_4 σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 1200°C παρουσία υδρογόνου και οξυγόνου και υπόκειται σε επεξεργασία με ατμό για την απομάκρυνση του HCl . Το τελικό προϊόν είναι 99,5% καθαρό TiO_2 με μικρές ποσότητες προσμίξεων. Το ανατάσιο και το ρουτίλιο είναι σε αναλογία περίπου 80:20 με μέση περιοχή επιφάνειας $50 \pm 15 \text{ m}^2/\text{g}$ και μέση διάμετρο σωματιδίων 21 nm (Mills and Hunte, 1997).

1.5.4 Πλεονεκτήματα της Ετερογενούς Φωτοκατάλυσης

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η ετερογενής φωτοκαταλυτική οξείδωση συνοψίζονται παρακάτω:

- Πλήρης οξείδωση των οργανικών ενώσεων προς CO₂ και H₂O.
- Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις ρύπων.
- Ο καταλύτης ενεργοποιείται εξίσου ικανοποιητικά και με το ηλιακό φως, με αποτέλεσμα τη δραστική μείωση των λειτουργικών εξόδων. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη σημασία σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια, όπως άλλωστε είναι και η Ελλάδα.
- Η χρησιμοποίηση φωτοκαταλυτικών ημιαγωγικών υλικών χαμηλού κόστους, τα οποία είναι χημικά και βιολογικά αδρανή.
- Η δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του καταλύτη και κατά συνέπεια τη μείωση του κόστους της μεθόδου, αλλά και την αποφυγή της επιπλέον επιβάρυνσης του περιβάλλοντος με χημικούς ρύπους.
- Η απολυμαντική ικανότητα της μεθόδου και η δυνατότητα ανακύκλωσης του νερού.
- Ήπιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.
- Υποβοηθά τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων, διασπώντας τις δύσκολα βιοαποικοδομήσιμες ενώσεις (π.χ. χρώματα, φυτοφάρμακα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονα η ανάπτυξη των αποκεντρωμένων εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων σε μικρούς οικισμούς με τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της εκροής τους. Το μικρό κόστος εγκατάστασης και οι λιγότερες απαιτήσεις λειτουργίας, καθώς και η έλλειψη υδάτινων πόρων και γενικά η προστασία του υδάτινου και ευρύτερου περιβάλλοντος είναι μερικά από τα στοιχεία που οδήγησαν στην έξαρση αυτή.

Για τους παραπάνω λόγους θεωρήθηκε ενδιαφέρον να μελετηθούν στην παρούσα διατριβή μικροί αποκεντρωμένοι βιολογικοί του νομού Ηρακλείου. Στη Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης και Αποχέτευσης Ηρακλείου ανήκουν οι εγκαταστάσεις των Δημοτικών Διαμερισμάτων Σκαλανίου, Βασιλειών, Αϊ Βλάση, Βουτών- Σταυρακίων, Δαφνών και Προφήτη Ηλία. Οι οικισμοί αυτοί βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του νομού Ηρακλείου και σε απόσταση μέχρι 20 χλμ από την πόλη.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βουτών – Σταυρακίων και Δαφνών. Η επιλογή των προς μελέτη εγκαταστάσεων έγινε με βάση την ευκολία προσβασιμότητας, καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, για τη διενέργεια των δειγματοληψιών.

Ο σκοπός της διατριβής είναι η συνολική αξιολόγηση της λειτουργίας των παραπάνω εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, μέσω της παρακολούθησης διαφόρων ποιοτικών χαρακτηριστικών, που καθορίζουν την απόδοση των βιολογικών διεργασιών αλλά και των διαφόρων σταδίων επεξεργασίας μέχρι την τελική εκροή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την παραγωγή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων κατάλληλων για διάθεση και επαναχρησιμοποίηση σύμφωνα με τα επιτρεπτά νομοθετικά όρια.

2.2 Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Βουτών – Σταυρακίων

2.2.1 Γενικά Στοιχεία

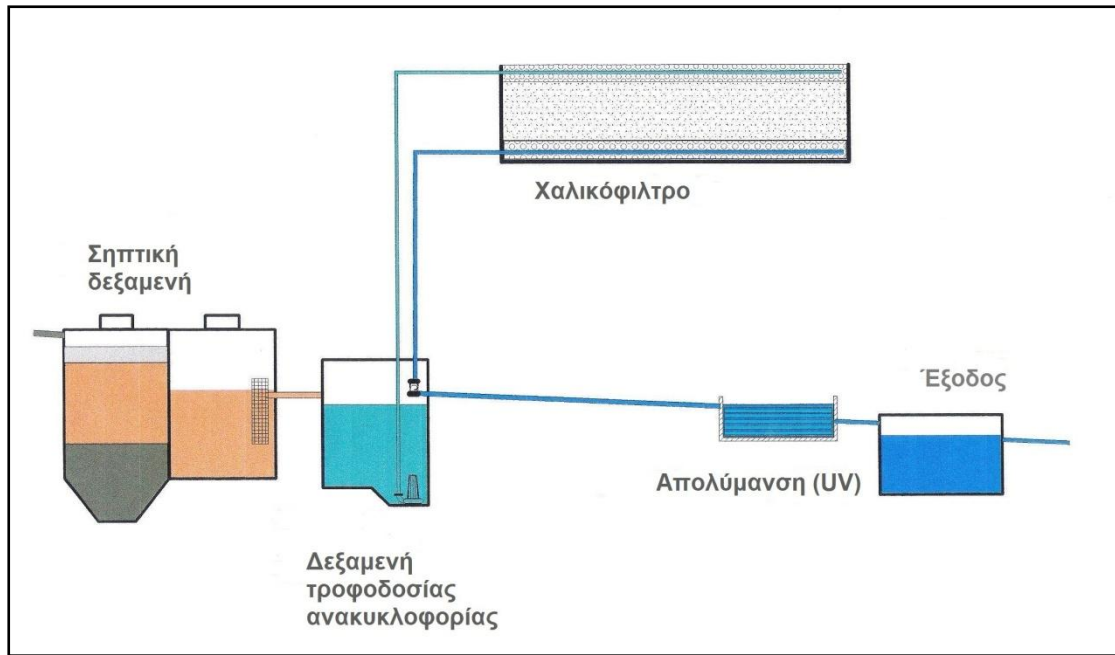
Σύμφωνα με τη μελέτη του έργου (Διαλυνάς και Ρουκουνάκης, 2001), ο πληθυσμός που θα εξυπηρετείται στη συγκεκριμένη εγκατάσταση, συνολικά και για τους δυο οικισμούς, ανέρχεται το χειμώνα στους 1350 κατοίκους, ενώ το καλοκαίρι περίπου στους 1500 κατοίκους. Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης επεξεργασίας υλοποιήθηκε με βάση μια αύξηση του πληθυσμού για τα επόμενα είκοσι χρόνια, της τάξεως του 20% (Πίνακας 2.1). Οι τιμές της μέσης ημερήσιας παροχής προβλέπεται να είναι κατά τον χειμώνα $Q_d = 112 \text{ m}^3/\text{d}$ και το καλοκαίρι $Q_d = 180 \text{ m}^3/\text{d}$, ενώ η μέγιστη ημερήσια παροχή θα κυμανθεί από $Q_{d,\text{max}} = 168 \text{ m}^3/\text{d}$ το χειμώνα, έως $Q_{d,\text{max}} = 270 \text{ m}^3/\text{d}$ το καλοκαίρι.

ΕΠΟΧΗ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΟΙΚΙΣΜΩΝ (2001)			ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
	Σταυράκια	Βούτες	Σύνολο	Σύνολο
Χειμώνας	600	750	1350	1600
Καλοκαίρι	700	800	1500	1800

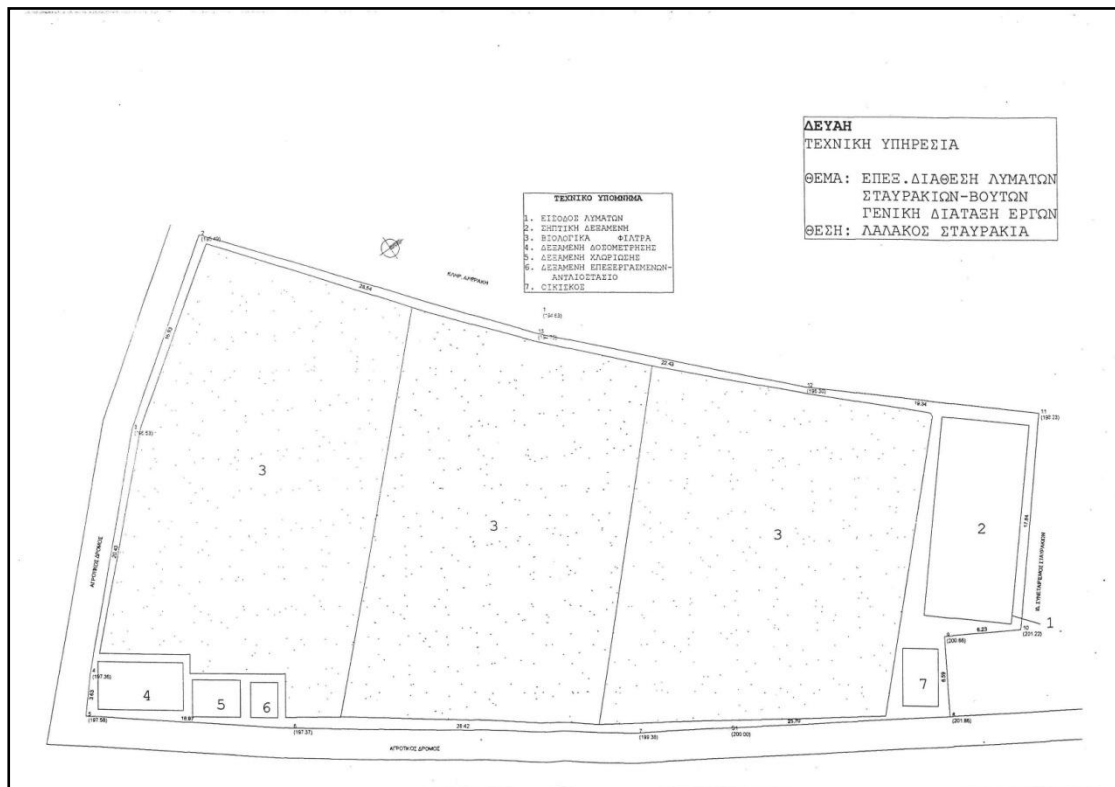
Πίνακας 2.1: Εξυπηρετούμενος πληθυσμός των οικισμών Σταυρακίων και Βουτών.

Στο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνονται τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας (Σχήμα 2.1, Σχήμα 2.2):

- Έργα εισόδου των υγρών αποβλήτων (φρεάτιο και χονδρή εσχάρα)
- Σηπτική δεξαμενή
- Αντλιοστάσιο και δεξαμενή τροφοδοσίας χαλικάφιλτρου
- Βιολογικό χαλικάφιλτρο με ανακυκλοφορία
- Απολύμανση της εκροής με υπεριώδη ακτινοβολία (UV)
- Δεξαμενή αποθήκευσης εκροής
- Κτίριο διοίκησης (χώρος ηλεκτρικού πίνακα, αποθήκη και WC)
- Μονάδα εξουδετέρωσης οχλήσεων σηπτικής δεξαμενής
- Λοιπά έργα υποδομής (διαμόρφωση και περίφραξη χώρου, ύδρευση, ηλεκτροφωτισμός)
- Δίκτυο άρδευσης για την επαναχρησιμοποίηση της εκροής



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα ροής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων των οικισμών Σταυρακίων – Βουτών.



Σχήμα 2.2: Γενική διάταξη εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων των οικισμών Σταυρακίων – Βουτών.

Τα πλεονεκτήματα του παραπάνω συστήματος είναι: (α) πλήρης κάλυψη της σηπτικής δεξαμενής με απόσμιση, ώστε να μην υπάρχει καμιά όχληση στην περιοχή, (β) η παραγόμενη λάσπη από τη σηπτική δεξαμενή είναι αρκετά σταθεροποιημένη, ώστε να διατεθεί σε αγρούς ή σε χώρους ταφής απορριμμάτων με ή χωρίς αφυδάτωση, (γ) μεγάλη ανθεκτικότητα και ελαστικότητα σε μεταβολές του υδραυλικού και βιολογικού φορτίου, (δ) μεγάλες αντοχές σε διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος, (ε) έχει δυνατότητα πλήρους νιτροποίησης και απονιτροποίησης των λυμάτων με τη διακοπτόμενη φόρτιση και ανακυκλοφορία, (στ) μεγάλη απλότητα χειρισμού και (ζ) έχει σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα επεξεργασίας.



Εικόνα 2.1: Εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων Σταυρακίων - Βουτών.

2.2.2 Σηπτική Δεξαμενή

Η σηπτική δεξαμενή ή δεξαμενή τύπου Imhoff (Σχήμα 2.1) είναι το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των λυμάτων σε ένα μικρό αποκεντρωμένο σύστημα. Οι στόχοι που εξυπηρετεί η σηπτική δεξαμενή είναι η αφαίρεση μέρους των καθιζανόντων στερεών και των επιπλεόντων υλικών (αφρός, λίπη - έλαια) έτσι ώστε:

- Η εκροή να μη δημιουργήσει προβλήματα βουλωμάτων (εμφράξεων) στα επόμενα στάδια επεξεργασίας και διάθεσης των λυμάτων
- Να μειωθούν τα φορτία των επόμενων σταδίων
- Να αυξηθούν οι αποδόσεις των επόμενων σταδίων

Η σηπτική δεξαμενή συνηθίζεται να κατασκευάζεται διθάλαμη ή τριθάλαμη, διότι έτσι πραγματοποιείται καλύτερη ασφάλεια στην παγίδευση – συγκράτηση των επιπλεόντων και των λασπών, ιδιαίτερα μάλιστα σε περιόδους με μεγάλες φορτίσεις ή ανατάραξη λόγω μεγάλων ρυθμών παραγωγής αερίων χώνευσης (π.χ. το καλοκαίρι).

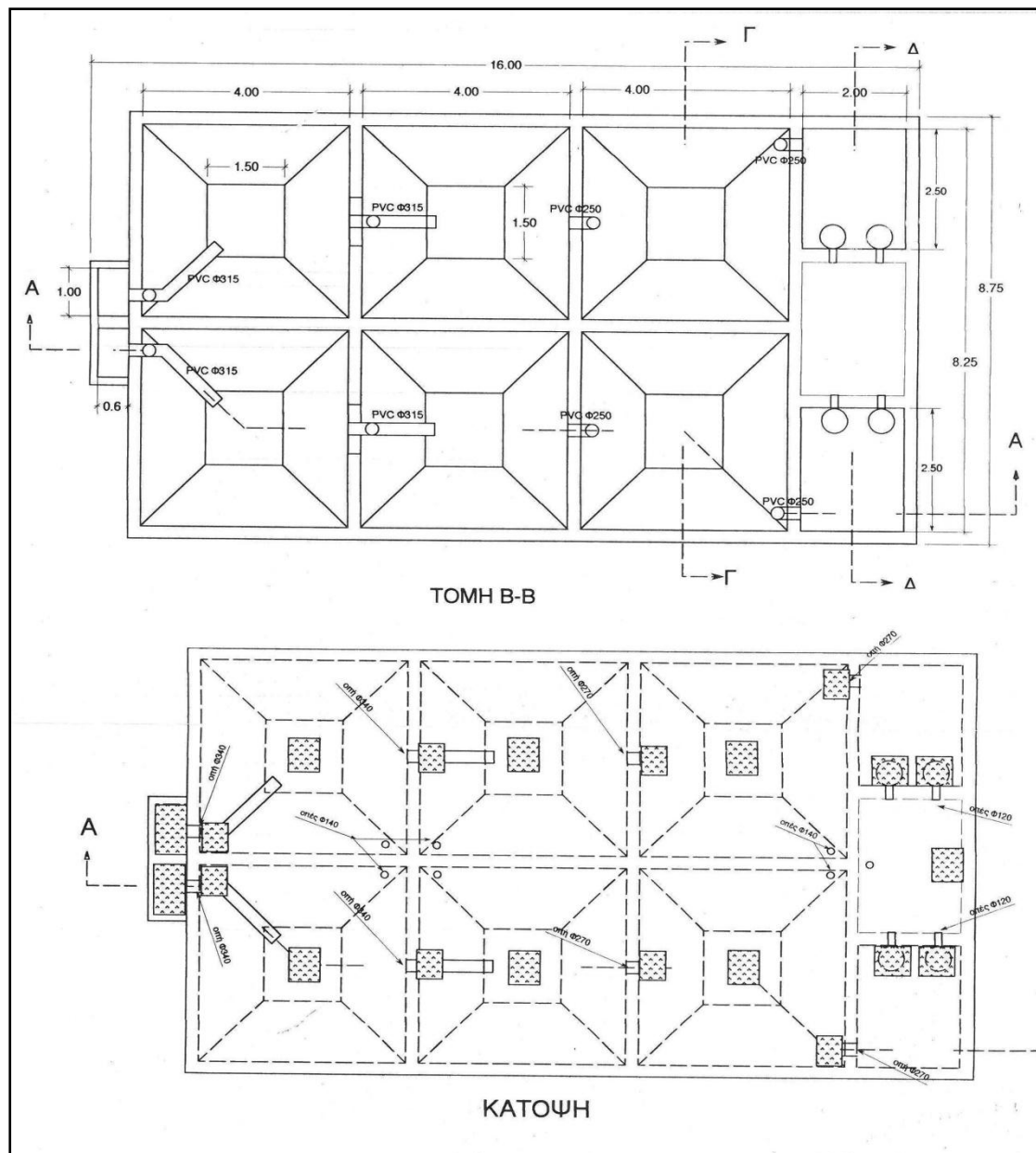
Οι μέσες αποδόσεις των σηπτικών δεξαμενών παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις αποδόσεις αυτές είναι οι εξής:

- Γεωμετρία (σχήμα, διαστάσεις, σχέση μήκους – πλάτους – βάθους κλπ.)
- Υδραυλικές φορτίσεις (μεγάλη υπερφόρτιση μπορεί να μειώσει την απόδοση καθίζησης ή επίπλευσης)
- Διαμορφώσεις εισόδου – εξόδου
- Αριθμός θαλάμων
- Θερμοκρασίας περιβάλλοντος και λυμάτων
- Τρόπος λειτουργίας και συντήρησης

Παράμετρος	Ποιότητα εκροής (ppm)	Απόδοση (%)
BOD ₅	120 - 240	20 - 40
COD	200 - 330	20 - 40
Αιωρούμενα Στερεά (SS)	40 - 150	50 - 80
Ολικό Άζωτο	20 - 45	10 - 40
Ολικός Φώσφορος	10 - 25	15
Λίπη - Λάδια	-	70 - 80
Μικροοργανισμοί	Ανεπαρκής μείωση	

Πίνακας 2.2: Μέσες ημερήσιες αποδόσεις σηπτικών δεξαμενών.

Στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στους οικισμούς Σταυράκια και Βούτες, η σηπτική δεξαμενή είναι τριθάλαμη, σχήματος ορθογωνίου, με διαστάσεις 16 m ύψος και 8,75 m πλάτος (Σχήμα 2.3). Όσον αφορά τη μονάδα απόσμησης της σηπτικής δεξαμενής, αποτελείται από δίκτυο συγκέντρωσης – απαγωγής των οσμερίων, τα οποία μεταφέρονται με εξαεριστήρα σε φίλτρο με πληρωτικό υλικό άνθρακα (Εικόνα 2.2).



Σχήμα 2.3: Τομή και κάτοψη της σηπτικής δεξαμενής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Σταυρακίων – Βούτων.



Εικόνα 2.2: Μονάδα εξουδετέρωσης οσμερίων της σηπτικής δεξαμενής.

2.2.3 Βιολογική Επεξεργασία

2.2.3.1 Δεξαμενή Τροφοδοσίας & Ανακυκλοφορίας Χαλικόφιλτρου

Η δεξαμενή αυτή (Σχήμα 2.1), χρησιμεύει ως αποθήκη της πρωτοβάθμιας εκροής, που αντλείται από τη σηπτική δεξαμενή, αλλά και της διηθημένης εκροής μέσω της ανακυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, από τη δεξαμενή ξεκινά η γραμμή τροφοδοσίας και ανακυκλοφορίας του χαλικόφιλτρου, που αποτελείται από τις αντλίες τροφοδοσίας (δύο για κάθε λεκάνη φίλτρου), τους κεντρικούς αγωγούς μεταφοράς διανομής (ένα για κάθε φίλτρο) και τους αγωγούς διανομής της ροής των λυμάτων πάνω στο χαλικόφιλτρο. Επιπλέον, στη δεξαμενή αυτή καταλήγει με φυσική ροή ο αγωγός επιστροφής (με τις συλλεκτήριες γραμμές που μεταφέρουν τη διηθημένη εκροή από κάθε χαλικόφιλτρο).

2.2.3.2 Χαλικόφιλτρο

Στην υπό εξέταση εγκατάσταση, η βιολογική επεξεργασία επιτυγχάνεται μέσω τριών χαλικόφιλτρων στη σειρά (Σχήμα 2.1, Εικόνα 2.3). Οι καθαρές διαστάσεις του κάθε φίλτρου είναι 35 m μήκος και 20 m πλάτος. Σύμφωνα με τη μελέτη του έργου, το κάθε φίλτρο αποτελείται από στρώσεις με διαφορετικής ποιότητας υλικά πλήρωσης. Συγκεκριμένα, το κατώτερο υπόστρωμα είναι πάχους 0,35 m και

κατασκευάστηκε με χαλίκι διαμέτρου 15–20 mm, το μεσαίο έχει πάχος 0,60 m και αποτελείται από λεπτό χαλίκι διαμέτρου 3–5 mm και το στρώμα επικάλυψης έχει πάχος 0,20 m και το υλικό πλήρωσης είναι χαλίκι διαμέτρου 15-20 mm.

Οι συνθήκες στο χαλικοφίλτρο είναι πάντα αερόβιες με φυσικό εφελκυσμό αέρα μετά την τροφοδοσία των λυμάτων και την κάθοδό τους σταγόνα – σταγόνα διαμέσου των υποστρωμάτων των χαλικιών στο φίλτρο. Η διασπορά των λυμάτων γίνεται σε κατάλληλες δόσεις, έτσι ώστε να είναι επαρκής η φυσική οξυγόνωσή τους.



Εικόνα 2.3: Βιολογικά φίλτρα στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Σταυρακίων- Βουτών.

2.2.4 Απολύμανση (UV)

Μετά τη βιολογική επεξεργασία τα λύματα οδηγούνται στο σύστημα απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία UV. Συγκεκριμένα, η εκροή θα διέρχεται με φυσική ροή μέσα από διαμορφωμένο κανάλι με λάμπες υπεριώδους ακτινοβολίας, όπου θα παραμένει τουλάχιστον 10 δευτερόλεπτα. Το σύστημα αυτό είναι τοποθετημένο ανάμεσα στη δεξαμενή αποθήκευσης της τελικής εκροής και της δεξαμενής τροφοδοσίας και ανακυκλοφορίας (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Λάμπες UV.

2.2.5 Διάθεση των Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων

Σύμφωνα με τη μελέτη του έργου της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στους οικισμούς Σταυράκια και Βούτες, η άρδευση δενδροκομικών ή καλλωπιστικών καλλιεργειών (μετά από σωστή απολύμανση) επιλέχθηκε ως η πιο σωστή και ασφαλής λύση για τη διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Η επιλογή αυτή στηρίζεται στα παρακάτω στοιχεία:

- Έχει αποδειχθεί ότι η άρδευση ελαιοδέντρων με δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα δεν επηρεάζει το δένδρο ή τον καρπό, αντιθέτως μάλιστα οι μικρές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που περιέχονται σε αυτά βοηθούν στη φυσική λίπανση και αποφεύγεται η χρήση χημικών λιπασμάτων.
- Η στάγδην άρδευση είναι ασφαλέστατη και για τους γεωργούς.
- Η άρδευση με τις επεξεργασμένες εκροές των υγρών αποβλήτων εξοικονομεί μεγάλες ποσότητες νερού, ιδιαίτερα το καλοκαίρι, που παρατηρείται μεγαλύτερη συσσώρευση λυμάτων στην εγκατάσταση επεξεργασίας, καθώς επίσης και μεγαλύτερη έλλειψη αρδευτικού νερού.

Τα προτεινόμενα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση δένδρων στην περιοχή είναι $BOD_5 < 15\text{ppm}$, $TSS < 10\text{ppm}$ και ολικά κολοβακτηρίδια $< 100\text{ EC}/100\text{mL}$.

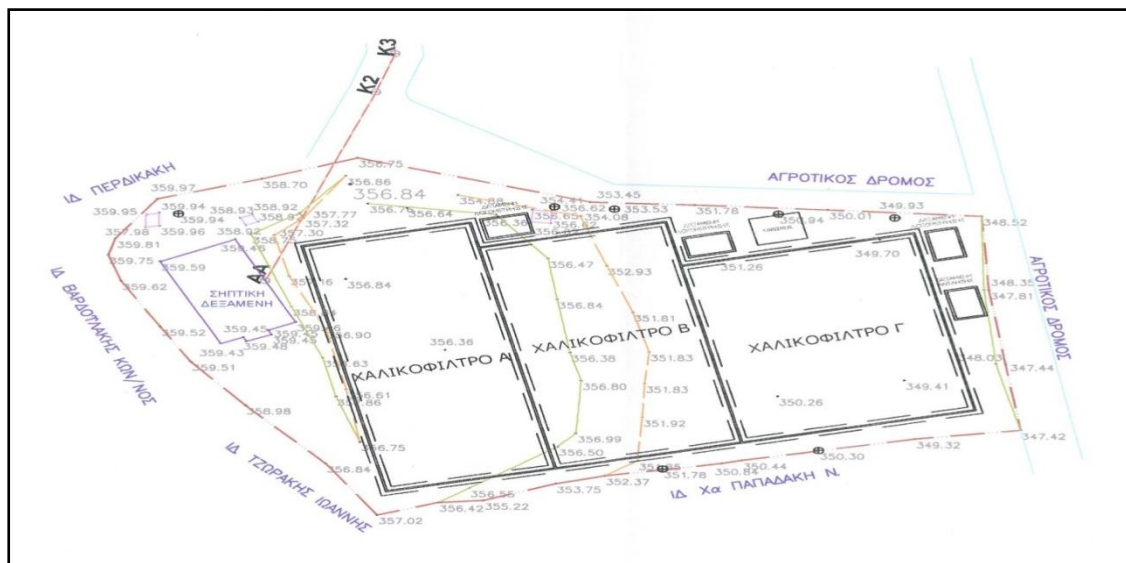
2.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Δαφνών

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στο Δημοτικό Διαμέρισμα Δαφνών κατασκευάστηκε (σύμφωνα με τη μελέτη των Διαλυνά και Ρουκουνάκη) παρόμοια με αυτήν στους οικισμούς Σταυράκια και Βούτες. Ο πληθυσμός σχεδιασμού για την κάλυψη της 20ετίας ανέρχεται στους 1800 κατοίκους, όπως άλλωστε στην προηγούμενη εγκατάσταση. Τα στάδια επεξεργασίας των λυμάτων είναι ακριβώς τα ίδια (Σχήμα 2.4). Επιπλέον, η σηπτική δεξαμενή είναι τριθάλαμη και εξυπηρετεί τον ίδιο όγκο λυμάτων και τα βιολογικά φίλτρα είναι τρία σε σειρά με υλικό πλήρωσης χαλίκια (Εικόνα 2.5).

Ο πληθυσμός του οικισμού το χειμώνα ανέρχεται στους 1300 κατοίκους, ενώ το καλοκαίρι στους 1500 κατοίκους. Οι τιμές της μέσης ημερήσιας παροχής των

λυμάτων για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών προβλέπεται να είναι κατά τον χειμώνα $Q_d = 105 \text{ m}^3/\text{d}$, ενώ το καλοκαίρι $Q_d = 180 \text{ m}^3/\text{d}$. Επίσης, η μέγιστη ημερήσια παροχή θα κυμανθεί από $Q_{d, \text{max}} = 157,5 \text{ m}^3/\text{d}$ το χειμώνα, έως $Q_{d, \text{max}} = 270 \text{ m}^3/\text{d}$ το καλοκαίρι.

Η διαφορά των δύο υπό μελέτη εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων παρουσιάζεται στο μέγεθος των βιολογικών φίλτρων. Στην παρούσα εγκατάσταση οι καθαρές διαστάσεις των φίλτρων είναι 60 m μήκος και 15 m πλάτος.



Σχήμα 2.4: Γενική διάταξη εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων στις Δαφνές.



Εικόνα 2.5: Εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία οργανώθηκε με στόχο τη δυνατότητα αξιολόγησης της συνολικής απόδοσης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αλλά και των ενδιάμεσων σταδίων κατά τη διάρκεια τριών εποχών του έτους (Χειμώνας – Άνοιξη – Καλοκαίρι). Για το σκοπό αυτό επελέγησαν τρία σημεία δειγματοληψίας για κάθε εγκατάσταση, τα οποία είναι τα εξής:

- Φρεάτιο άφιξης των λυμάτων στην εγκατάσταση επεξεργασίας (*Εισροή Α*)
- Είσοδος των λυμάτων στο χαλκίκοφιλτρο, φρεάτιο μετά την επεξεργασία στη σηπτική δεξαμενή (*Εισροή Β*)
- Τελική έξοδος των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (*Εκροή*)

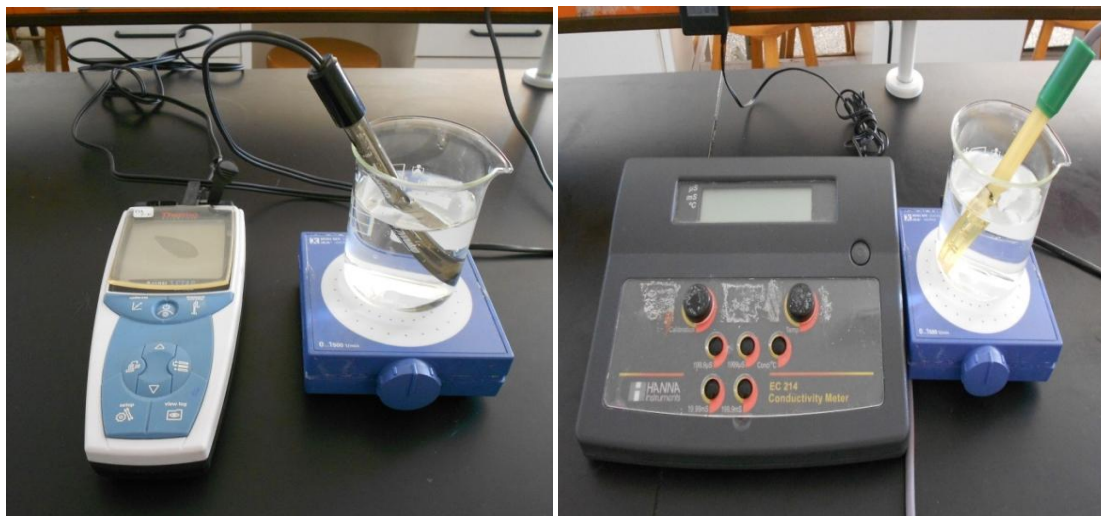
Η δειγματοληψία ξεκίνησε το Δεκέμβριο του 2011 και ολοκληρώθηκε τον Αύγουστο του 2012. Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν δυο φορές το μήνα κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης, ενώ το καλοκαίρι μία φορά το μήνα. Στη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος λήφθηκαν στιγμιαία δείγματα όγκου 1,5 L το καθένα, για κάθε σημείο δειγματοληψίας και από τις δυο εγκαταστάσεις. Στη συνέχεια, τα δείγματα μεταφέρονταν στο εργαστήριο της Χημικής και Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του ΤΕΙ Κρήτης, όπου πραγματοποιήθηκε το μεγαλύτερο μέρος των αναλύσεων, και αποθηκεύονταν σε ψυγείο μέχρις ότου αναλυθούν. Πριν από κάθε ανάλυση, τα δείγματα αναδεύονταν καλά με στόχο την ομογενοποίησή τους.

Όσον αφορά τον τρόπο που διεξήχθησαν οι δειγματοληψίες, χρησιμοποιήθηκε μια χειροκίνητη ιδιοκατασκευή στην άκρη της οποίας τοποθετήθηκε το σκεύος της συλλογής των λυμάτων.

3.2 Πρότυπα Ανάλυσης Παραμέτρων & Αναλυτική Διαδικασία

3.2.1 pH

Η μέτρηση του pH έγινε με ηλεκτρικό όργανο που λέγεται πεχάμετρο (Εικόνα 3.1α). Το πεχάμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις ήταν της εταιρίας “Thermo scientific” (Orion 3Star). Στο δείγμα, που βρισκόταν υπό συνεχή ανάδευση, βυθίστηκε το ηλεκτρόδιο του οργάνου και έτσι έγινε η καταγραφή της τιμής του pH, με ταυτόχρονη αντιστάθμιση της θερμοκρασίας του δείγματος.



Εικόνα 3.1: Όργανα μέτρησης α) του pH και β) της αγωγιμότητας.

3.2.2 Αγωγιμότητα

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε το αγωγιμόμετρο της εταιρίας “HANNA instruments” (EC 214) (Εικόνα 3.1β). Το όργανο δίνει απευθείας την τιμή της αγωγιμότητας του εξεταζόμενου δείγματος εκφρασμένη σε mS/cm ή $\mu\text{S/cm}$. Αποτελείται από ένα ηλεκτρόδιο, το οποίο βυθίστηκε στο δείγμα των λυμάτων που βρισκόταν υπό ανάδευση.

3.2.3 Διαλυμένο Οξυγόνο

Ο προσδιορισμός του διαλυμένου οξυγόνου έγινε με τη χρήση ενός οξυγονόμετρου (“HANNA instruments” – HI 9146-04). Το ηλεκτρόδιο του οργάνου βυθίστηκε στο δείγμα των λυμάτων που βρισκόταν υπό ανάδευση, και με τον τρόπο

αυτόν μετρήθηκε η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο υπό εξέταση δείγμα (Εικόνα 3.2α).

3.2.4 Θολερότητα

Ο προσδιορισμός της θολερότητας πραγματοποιήθηκε νεφελομετρικά χρησιμοποιώντας το όργανο της εταιρίας “HANNA instruments” (HI 93703) (Εικόνα 3.2β). Ουσιαστικά, με το όργανο αυτό μετρήθηκε η ένταση της σκέδασης του φωτός που δημιουργήθηκε από την ύπαρξη των αιωρούμενων στερεών στο δείγμα. Όσο μεγαλύτερη είναι η σκέδαση του φωτός τόσο πιο μεγάλη είναι και η τιμή της θολερότητας. Η ευαισθησία του οργάνου επιτρέπει την ανίχνευση διαφορών στην τιμή της θολερότητας της τάξεως των 0,02 NTU ή λιγότερο. Η μέτρηση της θολερότητας πραγματοποιήθηκε στα επεξεργασμένα λύματα της εκροής διότι έχει σημαντικό ρόλο για την τελική διάθεση ή την επαναχρησιμοποίησή τους.



Εικόνα 3.2: α) Οξυγονόμετρο και β) Όργανο μέτρησης της θολερότητας.

3.2.5 Ολικά Στερεά (TS)

Η μέτρηση των ολικών στερεών έγινε σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία. Μετά από καλή ανάμειξη, 50 mL του δείγματος μεταφέρθηκαν σε μια κάψα πορσελάνης (Εικόνα 3.3β), η οποία έχει προζυγιστεί σε ηλεκτρονική ζυγαριά ακρίβειας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων (π.χ. 0,0001gr) (Εικόνα 3.3α). Στη συνέχεια

το δείγμα τοποθετήθηκε στο πυριαντήριο για περίπου 24 ώρες σε θερμοκρασία 103 - 105°C (Εικόνα 3.4). Ακολούθως, το δείγμα αφέθηκε να κρυώσει σε ειδικό ξηραντήρα, ενώ στη συνέχεια ξαναζυγίστηκε.. Η διαφορά βάρους της κάψας πριν και μετά τη ξήρανση ουσιαστικά αντιστοιχεί στα ολικά στερεά. Δηλαδή, τα ολικά στερεά εκφράζονται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{mg Total Solids / L} = \text{A-B} / \text{όγκος δείγματος σε L}$$

όπου A= βάρος της κάψας και του ξηρού δείγματος, σε mg

και B= αρχικό βάρος της κάψας της πορσελάνης, σε mg



Εικόνα 3.3: α) Ηλεκτρονικός αναλυτικός ζυγός ακρίβειας, β) Ξηραντήρας και κάψες πορσελάνης στο εσωτερικό του.

3.2.6 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των αιωρούμενων στερεών είναι η εξής: Ζυγίστηκε φίλτρο διαμέτρου πόρων 0,45 μm, το οποίο και τοποθετήθηκε σε ειδική διηθητική φιάλη. Στη συνέχεια, δείγμα λυμάτων όγκου 100mL διηθήθηκε υπό συνθήκες κενού. Το φίλτρο τοποθετήθηκε στο πυριαντήριο, στους 103 - 105°C για περίπου μισή ώρα. Μετά την ξήρανση, το φίλτρο αφέθηκε έως ότου κρυώσει και ξαναζυγίστηκε. Η διαφορά του βάρους του εκφράζει το σύνολο των αιωρούμενων στερεών. Δηλαδή,

$$\text{mg Total Suspended Solids} / \text{L} = \text{A-B} / \text{όγκος δείγματος σε L}$$

όπου A= βάρος του φίλτρου μετά την ξήρανση, σε mg

και B= βάρος του φίλτρου πριν τη διήθηση και την ξήρανση, σε mg



Εικόνα 3.4: Πυριαντήρια του εργαστηρίου Χημείας & Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του ΤΕΙ Κρήτης.

3.2.7 Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)

Το διηθημένο δείγμα, όγκου 50 mL, από τη διαδικασία προσδιορισμού των αιωρούμενων στερεών, τοποθετήθηκε σε προζυγισμένο ποτήρι ζέσεως, το οποίο στη συνέχεια αφέθηκε για περίπου 24 ώρες σε πυριαντήριο σε θερμοκρασία 180°C (Εικόνα 3.4). Μετά το πέρας του χρόνου αυτού, το δείγμα αφέθηκε να κρυσταλλώσει και ακολούθως ξαναζυγίστηκε. Η διαφορά βάρους που παρατηρήθηκε στο ποτήρι ζέσεως αντιστοιχεί στο σύνολο των διαλυμένων στερεών, που εκφράζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{mg Total Dissolved Solids} / \text{L} = \text{A-B} / \text{όγκος δείγματος σε L}$$

όπου A= βάρος του δείγματος μετά την ξήρανση, σε mg

και B= αρχικό βάρος του ποτηριού ζέσεως, σε mg

3.2.8 Καθιζάνοντα Στερεά

Το υπό εξέταση δείγμα λυμάτων, μετά την ανάδευσή του, τοποθετήθηκε σε κώνο Imhoff μέχρι τη χαραγή που αντιστοιχεί σε όγκο ενός λίτρου (Εικόνα 3.5). Στη συνέχεια το δείγμα αφέθηκε σε ηρεμία επί 45 λεπτά, έτσι ώστε να κατακαθίσουν τα στερεά. Μετά ακολούθησε μια ελαφρά ανάδευση του πάνω μέρους των τοιχωμάτων του κώνου με ένα γυάλινο αναδευτήρα με σκοπό την απόσπαση των στερεών που έχουν επικαθίσει σε αυτά. Το δείγμα αφέθηκε ακόμα 15 λεπτά σε ηρεμία και σημειώθηκε ο όγκος των στερεών που έχουν καθιζάνει ανά λίτρο δείγματος, εκφρασμένος σε mL/L.



Εικόνα 3.5: Κώνος Imhoff.

3.2.9 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Για τη μέτρηση του BOD₅ χρησιμοποιήθηκαν ειδικές γυάλινες φιάλες, οι οποίες αφού συνδέθηκαν με υδραργυρικό μανόμετρο κλείστηκαν αεροστεγώς (Εικόνα 3.6). Από το προς ανάλυση δείγμα λυμάτων, αφού αρχικά αναδευτήκε καλά, ογκομετρήθηκε κατάλληλη ποσότητά του και στη συνέχεια τοποθετήθηκε στην ειδική γυάλινη φιάλη. Όλο το χρονικό διάστημα της ανάλυσης το δείγμα βρισκόταν υπό συνεχή ανάδευση μέσα σε θάλαμο επώασης και σε θερμοκρασία $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Γενικά, στο χώρο μέσα στη φιάλη και πάνω από το δείγμα υπάρχει ποσότητα αέρα που περιέχει 21% οξυγόνο. Τα βακτήρια, που περιέχονται στο δείγμα, καταναλώνουν το οξυγόνο και παράγουν διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο με τη σειρά του προσροφάται από το καυστικό νάτριο. Το καυστικό νάτριο είναι τοποθετημένο στο ειδικό ελαστικό φιαλίδιο στο στόμιο της φιάλης. Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται αρνητική πίεση, η οποία καταγράφεται στο μανόμετρο παίρνοντας έτσι την ένδειξη του BOD₅.



Εικόνα 3.6: Ειδικές φιάλες μέτρησης.

3.2.10 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο προσδιορίζεται άμεσα φασματοφωτομετρικά με τη χρήση ειδικών κυψελών (Spectroquant - Merck), μέσα στις οποίες περιέχεται το αντιδραστήριο που οξειδώνει τις οργανικές ενώσεις. Συγκεκριμένα, τρία ml δείγματος λυμάτων, μετά από την ομογενοποίησή τους, τοποθετήθηκαν στην κυψελίδα όπου και ανακατεύθηκαν καλά. Οι κυψέλες θερμάνθηκαν σε θερμοαντιδραστήρα (WTW- CR3200) (Εικόνα 3.7α) για 2 ώρες στους 148°C. Μετά την πάροδο του χρονικού διαστήματος αυτού, οι κυψέλες αφέθηκαν να κρυώσουν και στη συνέχεια μετρήθηκε η τιμή του COD σε φασματοφωτόμετρο (Merck- Nova60) (Εικόνα 3.7β).



Εικόνα 3.7: α) Ειδικός θερμοαντιδραστήρας και β) Φασματοφωτόμετρο.

3.2.11 Ολικό Άζωτο (T(N))

Για τον προσδιορισμό του αζώτου χρησιμοποιήθηκαν κυψέλες της εταιρίας Merck. Η μέθοδος στηρίχθηκε στη μετατροπή των οργανικών και ανόργανων ενώσεων του αζώτου σε νιτρικά, σύμφωνα με την αντίδραση Koroleff, κατά τη θέρμανση του δείγματος με ένα οξειδωτικό αντιδραστήριο. Τα νιτρικά που προκύπτουν με τη διαδικασία αυτή αντιδρούν με βενζοϊκό οξύ και δίνουν νίτρο-ένωση κόκκινου χρώματος, που μετράται φωτομετρικά στα 517 nm.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια: Σε μια άδεια κυψέλη προστέθηκαν 1 mL διηθημένου δείγματος, 9 mL απιονισμένο νερό και μια δόση από το πρώτο αντιδραστήριο. Μετά από καλή ανάδευση προστέθηκαν 6 σταγόνες από το δεύτερο αντιδραστήριο και το δείγμα ανακατεύτηκε ξανά. Η κυψέλη στη συνέχεια τοποθετήθηκε στο θερμοαντιδραστήρα για μία ώρα στους 120°C. Αφού το δείγμα αφέθηκε να κρυώσει, σε μια ειδική κυψέλη για τη μέτρηση του αζώτου, προστέθηκαν 1 mL χωνευμένου δείγματος και μια δόση από το τρίτο αντιδραστήριο. Ακολούθως αφέθηκε για 10 λεπτά να αντιδράσει και μετρήθηκε η τιμή του αζώτου στο φασματοφωτόμετρο.

3.2.12 Ολικός Φώσφορος (T(P))

Ο προσδιορισμός του ολικού φωσφόρου στα λύματα στηρίζεται στη μετατροπή των ορθοφωσφορικών ενώσεων σε μολυβδοφωσφορικό οξύ με την επίδραση ιόντων μολυβδαινίου παρουσία θεικού οξέος. Το μολυβδαίνιο, που περιέχεται στο μολυβδοφωσφορικό οξύ, ανάγεται με ασκορβικό οξύ σε φωσφομολυβδαινικό μπλε, το οποίο είναι ανάλογο της ποσότητας των φωσφορικών και μετράται φωτομετρικά στα 710 nm.

Μετά από καλή ανάδευση του δείγματος των λυμάτων, ένα mL διηθημένου δείγματος τοποθετήθηκε σε ειδική κυψέλη (Spectroquant - Merck), όπου έγινε η προσθήκη μιας δόσης του πρώτου αντιδραστηρίου. Το δείγμα ανακατεύθηκε καλά και τοποθετήθηκε στο θερμοαντιδραστήρα για μισή ώρα στους 120°C. Όταν το δείγμα έφτασε στη θερμοκρασία δωματίου τότε προστέθηκαν 5 σταγόνες του δεύτερου αντιδραστηρίου και μία δόση από το τρίτο αντιδραστήριο. Το δείγμα ανακατεύθηκε καλά και ακολούθως αφέθηκε για πέντε λεπτά να αντιδράσει. Η κυψέλη στη συνέχεια τοποθετήθηκε στο φασματοφωτόμετρο όπου μετρήθηκε η τιμή του ολικού φωσφόρου.

3.2.13 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Η ανάλυση των δειγμάτων των υγρών αποβλήτων για τον ολικό οργανικό άνθρακα έγινε με τη χρήση του αναλυτή Συνολικού Οργανικού Άνθρακα TOC- V_{CSH}

της εταιρίας Shimadzu, που βρίσκεται στο εργαστήριο Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών, του τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Κρήτης (Εικόνα 3.8α). Η μέθοδος ανάλυσης του οργάνου βασίζεται στη χημική οξείδωση του άνθρακα και στη μετατροπή του σε CO₂.



Εικόνα 3.8: α) Αναλυτής Ολικού Οργανικού Άνθρακα, β) Φυγόκεντρος της Beckman Coulter.

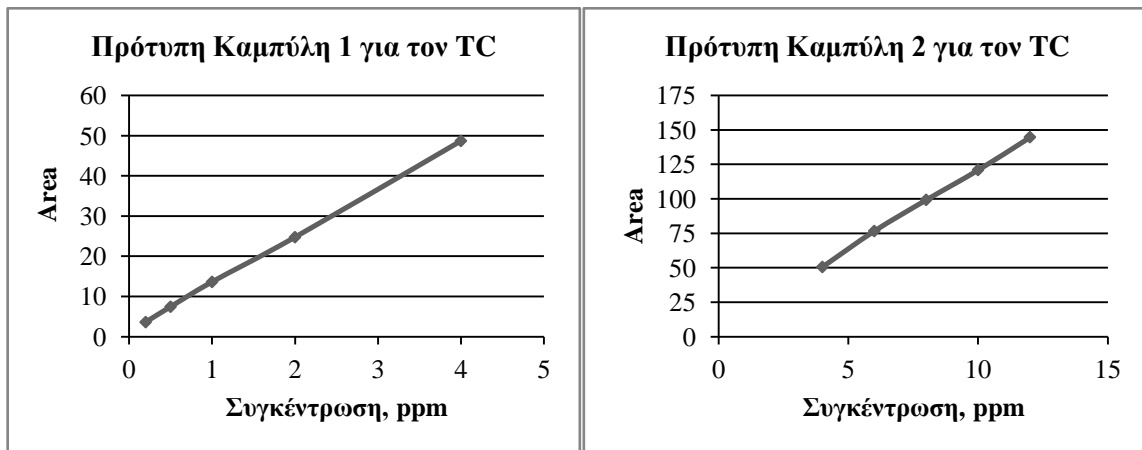
Κατά τη διάρκεια των αναλύσεων των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν δυο τρόποι υπολογισμού του οργανικού άνθρακα. Δηλαδή είτε μέσω του υπολογισμού της διαφοράς (TOC=TC-IC) του «Ολικού Άνθρακα» (TC) και του «Ανόργανου» (IC), είτε μέσω του προσδιορισμού του «Μη Πτητικού Οργανικού Άνθρακα» (NPOC=TOC). Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν περιγράφονται παρακάτω:

- Προσδιορισμός του Ολικού Άνθρακα: Ποσότητα του δείγματος (150 μL) εισάγονται απευθείας στο σωλήνα καύσης που περιέχει τον καταλύτη και βρίσκεται στους 680°C. Ο ολικός άνθρακας του δείγματος καίγεται στο θάλαμο και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα. Το φέρον αέριο που περιέχει το CO₂ και άλλα προϊόντα της καύσης διοχετεύεται σε έναν αφυγραντή όπου ψύχεται και απομακρύνεται η υγρασία. Στη συνέχεια περνάει από έναν απογυμνωτή αλογόνων και τελικά οδηγείται στον ανιχνευτή NDIR (Non Dispersive Infra Red), όπου ανιχνεύεται το CO₂. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό του ολικού άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν δυο καμπύλες βαθμονόμησης (Σχήμα 3.1).
- Προσδιορισμός του Ανόργανου Άνθρακα: Ουσιαστικά αναφέρεται στο διοξείδιο του άνθρακα που είναι διαλυμένο στο νερό ή στα ανθρακικά άλατα.

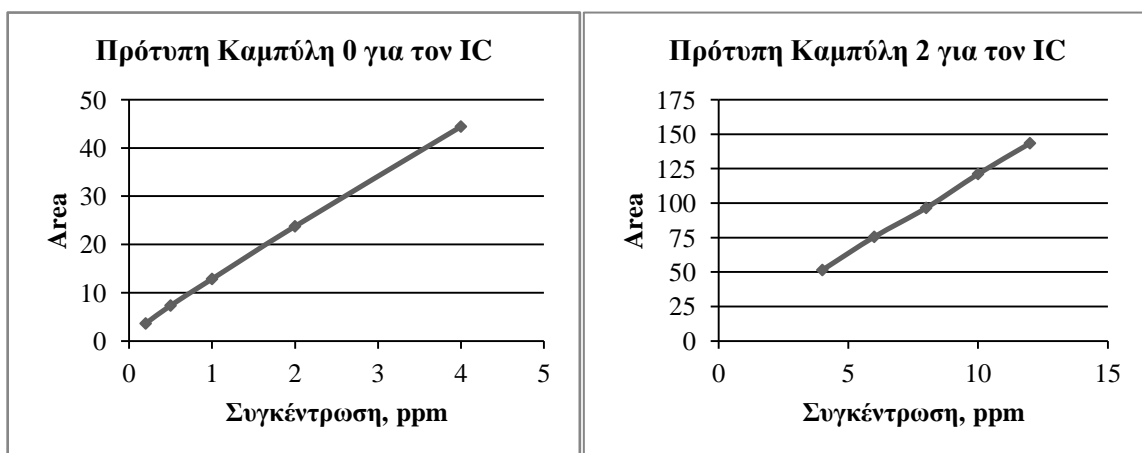
Σε αυτή την περίπτωση το δείγμα οξινίζεται με υδροχλωρικό οξύ σε pH μικρότερο από 3 και όλα τα ανθρακικά μετατρέπονται σε διοξείδιο του άνθρακα. Το φέρον αέριο παρασέρνει το αρχικά διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και αυτό που παράγεται από την οξείδωση των ανθρακικών και κατόπιν ανιχνεύεται από τον ανιχνευτή NDIR. Ο ποσοτικός προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με βάση δυο καμπύλες αναφοράς (Σχήμα 3.2).

- Προσδιορισμός του Μη Πτητικού Οργανικού Άνθρακα: Το δείγμα οξινίζεται με φωσφορικό οξύ σε pH= 2 ή 3, και ακολούθως διαβιβάζεται σε αυτό φέρον αέριο για κάποιο χρονικό διάστημα (15 λεπτά), το οποίο απομακρύνει τον ανόργανο άνθρακα, αλλά και τον πτητικό οργανικό άνθρακα. Στη συνέχεια ακολουθεί η ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω για τον ολικό άνθρακα. Ο ποσοτικός προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε βάση της καμπύλης αναφοράς (Σχήμα 3.3). Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία σε πολύ αραιωμένα δείγματα, που ήταν αποτέλεσμα των έντονων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Το όργανο καθώς και τα σκεύη που χρησιμοποιήθηκαν κάθε φορά κατά τις αναλύσεις των δειγμάτων είχαν ξεπλυθεί με υπερκάθαρο νερό, απαλλαγμένο από ανόργανες και οργανικές προσμίξεις. Ακόμα, πριν από κάθε ανάλυση πραγματοποιήθηκε φυγόκεντρωση των υπό εξέταση λυμάτων, με σκοπό την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών. Η φυγόκεντρος (Εικόνα 3.8β) λειτουργούσε στις 3500 στροφές ανά λεπτό, για 10 λεπτά, όπου ακολούθως χρησιμοποιήθηκε το υπερκείμενο υγρό των δειγμάτων. Επίσης, τα δείγματα αραιώθηκαν κατάλληλα με υπερκάθαρο νερό, έτσι ώστε η μέτρηση να είναι εντός της περιοχής των καμπυλών βαθμονόμησης. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 3 έως 5 διαφορετικές μετρήσεις (injections) για μεγαλύτερη ακρίβεια.



Σχήμα 3.1: Καμπύλες βαθμονόμησης για τον ολικό άνθρακα.



Σχήμα 3.2: Καμπύλες βαθμονόμησης για τον ανόργανο άνθρακα.



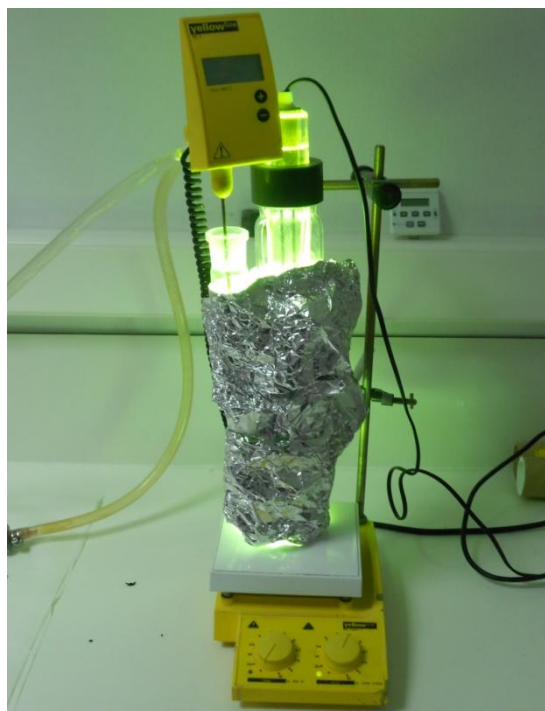
Σχήμα 3.3: Καμπύλη βαθμονόμησης για το μη πτητικό οργανικό άνθρακα.

3.3 Πειραματική Διαδικασία της Ετερογενούς Φωτοκατάλυσης

3.3.1 Υλικά & Στάδια Πειραματικής Διαδικασίας

Στην παρούσα εργασία, για τη διεξαγωγή των πειραμάτων φωτοκατάλυσης χρησιμοποιήθηκαν δείγματα της Εισροής Β (φρεάτιο πριν τη βιολογική επεξεργασία) από την εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων του οικισμού Σταυρακίων – Βουτών. Η επιλογή του συγκεκριμένου σημείου έγινε με σκοπό τη μελέτη της μεθόδου της φωτοκατάλυσης, ως μέθοδο προ-επεξεργασίας των λυμάτων, για τη διάσπαση δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων, πριν το στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας.

Η πειραματική διαδικασία κάθε φορά ξεκινούσε με την ογκομέτρηση 500 mL δείγματος λυμάτων, καθώς και τη ζύγιση της απαραίτητης ποσότητας καταλύτη (Degussa P25 TiO₂) σε ειδικό ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών. Οι ποσότητες του διοξειδίου του τιτανίου που χρησιμοποιήθηκαν είναι 100 mg, 250 mg και 500 mg στα 500 mL, δηλαδή σε συγκεντρώσεις 200 mg/L, 500 mg/L και 1000 mg/L, αντίστοιχα.



Εικόνα 3.9: Φωτοκαταλυτικός αντιδραστήρας (Heraeus Noblelight GmbH-Germany) σε λειτουργία.

Το προς εξέταση δείγμα λυμάτων (500 mL), μετά την προσθήκη της εκάστοτε ποσότητας καταλύτη, τοποθετήθηκε αρχικά σε ποτήρι ζέσεως, όπου βρισκόταν υπό συνεχή ανάδευση για περίπου 40 λεπτά με τη βοήθεια μαγνητικού αναδευτήρα. Η διαδικασία αποτελεί το στάδιο της προσρόφησης. Είναι δηλαδή, το χρονικό διάστημα που χρειάζεται να επέλθει ισορροπία προσρόφησης – εκρόφησης του ρύπου στην επιφάνεια του στερεού καταλύτη.

Μετά την πάροδο των 40 λεπτών, το αιώρημα ρύπος – καταλύτης τοποθετήθηκε στον φωτοκαταλυτικό αντιδραστήρα (Εικόνα 3.9), μέχρι το ύψος του σημείου επανακυκλοφορίας του αιωρήματος (περίπου 430 mL), όπου και αναδευτήκε με ταχύτητα 600 rpm, για όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η ανάδευση βοηθάει στη διατήρηση του καταλύτη υπό αιώρηση, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη επαφή ρύπου - επιφάνειας καταλύτη καθώς και η ομοιογενή ακτινοβολήση – ενεργοποίησή του.

Στη συνέχεια, η λυχνία φωτισμού τέθηκε σε λειτουργία και έτσι ξεκίνησε η πειραματική διαδικασία της ετερογενούς φωτοκατάλυσης. Για τις απαιτήσεις της παρούσας εργασίας, η κάθε πειραματική διαδικασία είχε διάρκεια 8 ωρών. Τα δείγματα που ελήφθησαν στο χρονικό αυτό διάστημα ήταν στα χρονικά σημεία $t=0$ (μετά το στάδιο προσρόφησης), $t=1h$, $t=2h$, $t=4h$, $t=6h$ και $t=8h$, καθώς επίσης και το δείγμα του λύματος πριν την προσθήκη του καταλύτη.

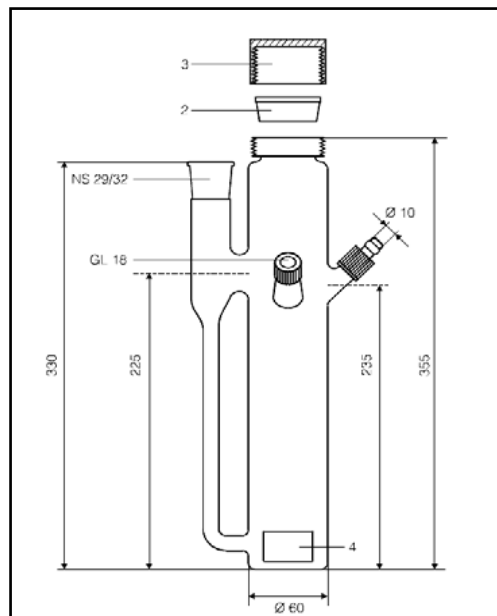
Μετά το πέρας των οχτώ ωρών τα υπό εξέταση δείγματα φυγοκεντρήθηκαν για 10 λεπτά σε ταχύτητα 3500 rpm, με σκοπό την απομάκρυνση του καταλύτη από αυτά και αναλύθηκαν για τον ολικό οργανικό άνθρακα με τη βοήθεια του αναλυτή Ολικού Οργανικού Άνθρακα TOC- V_{CSH} της εταιρίας Shimadzu.

3.3.2 Φωτοκαταλυτικός Αντιδραστήρας

Ο αντιδραστήρας φωτοκατάλυσης που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων είναι του οίκου Heraeus Noblelight GmbH (Hanau- Germany) και αποτελείται από ένα εξωτερικό (Σχήμα 3.4) και ένα εσωτερικό τμήμα (Σχήμα 3.5α).

Το εξωτερικό τμήμα του αντιδραστήρα είναι κατασκευασμένο από γυαλί, έχει σχήμα σωληνοειδές και σε αυτό εισάγεται το προς επεξεργασία δείγμα υγρού. Στη

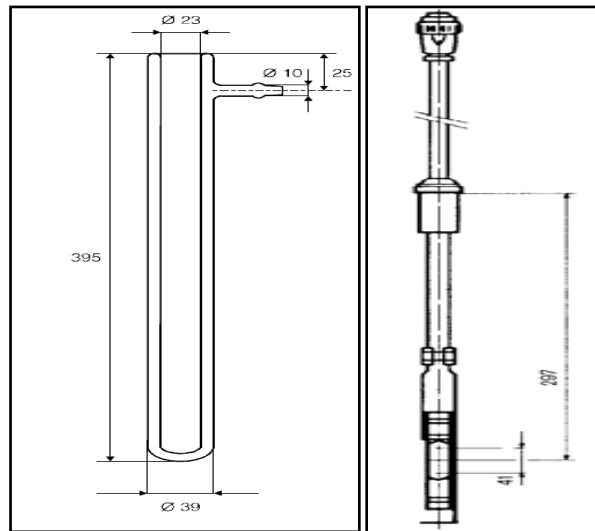
βάση του φέρει ένα μικρό άξονα για την εφαρμογή ενός ειδικού κυλινδρικού μαγνήτη, με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η ανάδευση και η επανακυκλοφορία του αιωρήματος απόβλητου/ καταλύτη μέσα στον αντιδραστήρα. Το πάνω μέρος του τμήματος αυτού περιλαμβάνει υποδοχές για θερμοόμετρο, για σωλήνα παροχής αέρα (ή άλλου αερίου) και για δειγματοληψία. Το εξωτερικό τμήμα του αντιδραστήρα επικαλύπτεται σε όλη τη διάρκεια του πειράματος με αλουμινόχαρτο, έτσι ώστε μοναδική πηγή ακτινοβολίας να είναι εκείνη της ηλεκτρικής λυχνίας φωτισμού. Επιπλέον, βοηθάει στην πρόκληση αντανάκλασης της εκπεμπόμενης από τη λυχνία ακτινοβολίας, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα της διάταξης, καθώς επίσης χρησιμοποιείται για την προστασία των ματιών του χρήστη από την ακτινοβολία.



Σχήμα 3.4: Σχηματική απεικόνιση φωτοκαταλυτικού αντιδραστήρα (2: Κώνος τεφλόν, 3: Κοχλίας σύνδεσης – σύσφιξης και 4: Μαγνήτης).

Το εσωτερικό τμήμα του αντιδραστήρα αποτελείται από ένα σωληνοειδές κέλυφος με διπλά τοιχώματα, το οποίο είναι κατασκευασμένο από χαλαζιακό γυαλί (Quartz). Ανάμεσα στα τοιχώματα αυτά επιτρέπεται συνεχής ροή νερού, μέσω ειδικής συνδεσμολογίας τροφοδοσίας νερού βρύσης από εύκαμπτους παροχετευτικούς σωλήνες, που έχει ως σκοπό τη ρύθμιση – διατήρηση της ιδανικής θερμοκρασίας αφενός της λυχνίας και αφετέρου του διαλύματος (θερμοκρασία δωματίου) που βρίσκεται στο εξωτερικό τμήμα του αντιδραστήρα. Στο κέντρο του τμήματος αυτού υπάρχει μια εσωτερική κοιλότητα, μέσα στην οποία τοποθετείται η λυχνία φωτισμού

(Σχήμα 3.5β). Η λυχνία που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα είναι λαμπτήρας μέσης πίεσης υδραργύρου 150W TQ, που εκπέμπει σε διάφορα μήκη κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV), με μεγαλύτερη όμως ένταση στα 365 nm. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, η λυχνία χρειάζεται συγκεκριμένο χρόνο για να σταθεροποιηθεί και να φτάσει στη μέγιστη ισχύ της, ο οποίος ορίζεται σε περίοδο τριών λεπτών. Μετά το πέρας του χρονικού διαστήματος αυτού πραγματοποιείται η έναρξη της πειραματικής διαδικασίας της φωτοκατάλυσης.



Σχήμα 3.5: α) Περίβλημα λυχνίας με διπλά τοιχώματα και β) Λαμπτήρας φωτισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν από την πειραματική διαδικασία που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν δυο εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μικρών οικισμών του νομού Ηρακλείου, για τις οποίες τα αποτελέσματα των διαφόρων παραμέτρων αναλύονται ξεχωριστά παρακάτω. Επίσης, γίνεται αναφορά των αποτελεσμάτων που συγκεντρώθηκαν για την ετερογενή φωτοκατάλυση, ως μέθοδο προ-επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

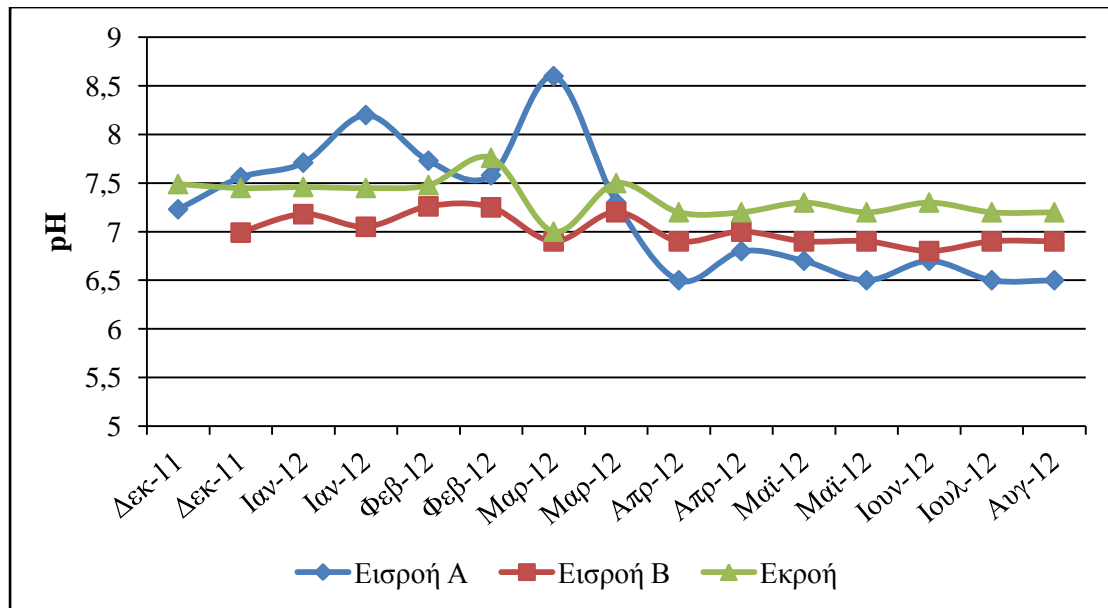
4.2 Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Βουτών – Σταυρακίων

4.2.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

4.2.1.1 pH

Η ενεργός οξύτητα είναι πολύ σημαντική παράμετρος γιατί επηρεάζει πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις. Γενικά, το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων πραγματοποιείται σε ουδέτερο pH. Επομένως, στα πολύ όξινα ή αλκαλικά λύματα δημιουργούνται συνθήκες που δυσκολεύουν ή αναστέλλουν τις αντιδράσεις κατά την επεξεργασία τους.

Η τιμή του pH στα φυσικά νερά κυμαίνεται από 6,5 έως 8,5. Επομένως, ένα αντίστοιχο εύρος τιμών του pH θα ήταν προτιμότερο να ισχύει στις επεξεργασμένες εκροές των υγρών αποβλήτων που διατίθενται σε φυσικούς αποδέκτες ή επαναχρησιμοποιούνται.



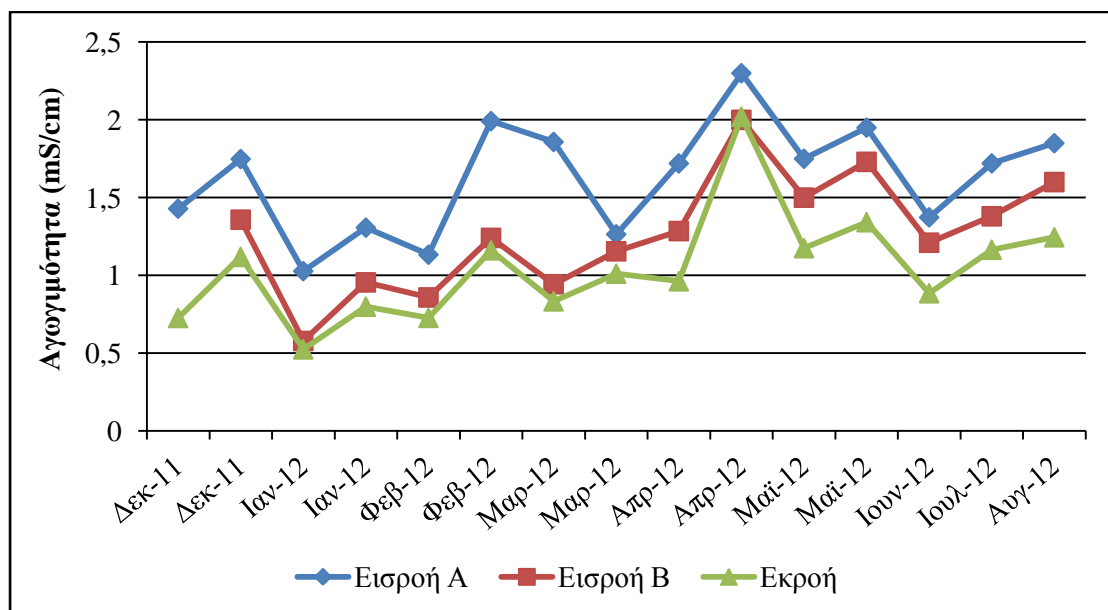
Γράφημα 4.1: Σύνολο τιμών του pH της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια στα τρία σημεία δειγματοληψίας.

Σύμφωνα με το Γράφημα 4.1, σε όλο το χρονικό διάστημα των πειραμάτων τόσο στην εισροή B όσο και στην εκροή παρατηρείται μια σταθερότητα των τιμών του pH, το εύρος των οποίων κυμαίνεται από 7,0 έως 7,5. Αντιθέτως, στην εισροή A διαπιστώνεται μια διακύμανση των τιμών του pH, κυρίως ανάμεσα στους χειμερινούς μήνες και τους ανοιξιάτικους – καλοκαιρινούς μήνες. Η εποχιακή διακύμανση πιθανώς οφείλεται στην ποιοτική υποβάθμιση των υγρών αποβλήτων, με την παρουσία αυξημένης συγκέντρωσης οργανικής ύλης κατά τους θερινούς μήνες. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της τιμής του pH για τους τουριστικούς αυτούς μήνες αιχμής (όπως θα φανεί και στα παρακάτω αποτελέσματα). Το πιο αλκαλικό δείγμα εμφανίζεται να είναι αυτό του μήνα Μαρτίου. Αυξημένη τιμή του pH γενικά αποδίδεται σε οικιακές χρήσεις (σαπούνια) και στην ποιότητα των επιφανειακών και των υπόγειων νερών που περιέχουν ανθρακικά, διττανθρακικά και υδροξυλιόντα. Γενικά, πάντως όλες οι τιμές του pH και για τα τρία σημεία δειγματοληψίας δεν ξεπερνούν τα όρια που έχουν θεσπιστεί από τη νομοθεσία.

4.2.1.2 Αγωγιμότητα

Γενικά, οι τιμές της αγωγιμότητας είναι ενδεικτικές για την ποιότητα των φυσικών υδάτων, οπότε απότομη αύξησή τους αποτελεί ένδειξη ρύπανσης. Η αγωγιμότητα συσχετίζεται με την παρουσία διαλυμένων ιοντικών ενώσεων – αλάτων, για αυτό και αποτελεί αντιπροσωπευτικό μέτρο της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών σε ένα δείγμα λυμάτων. Για τους λόγους αυτούς η αγωγιμότητα χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της καταλληλότητας των επεξεργασμένων εκροών, που προορίζονται για άρδευση.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία (ΦΕΚ 354B/ 08.03.2011), ο βαθμός περιορισμού κατά την εφαρμογή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση είναι, μηδαμινός εάν η τιμή της αγωγιμότητας δεν ξεπερνάει τα 0,7 mS/cm, μικρός ή μέτριος εάν η τιμή είναι μεταξύ 0,7 και 3,0 mS/cm και μεγάλος εάν η τιμή είναι μεγαλύτερη από 3,0 mS/cm.



Γράφημα 4.2: Συνολική διακύμανση της αγωγιμότητας στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Παρατηρείται από το Γράφημα 4.2, ότι οι τιμές της αγωγιμότητας κρίνονται μέτριες, με τη μεγαλύτερη τιμή να σημειώνεται το μήνα Απρίλιο. Επίσης, διαπιστώνεται η βαθμιαία μείωση της αγωγιμότητας στα διάφορα στάδια επεξεργασίας της εγκατάστασης των υγρών αποβλήτων, που οφείλεται στην

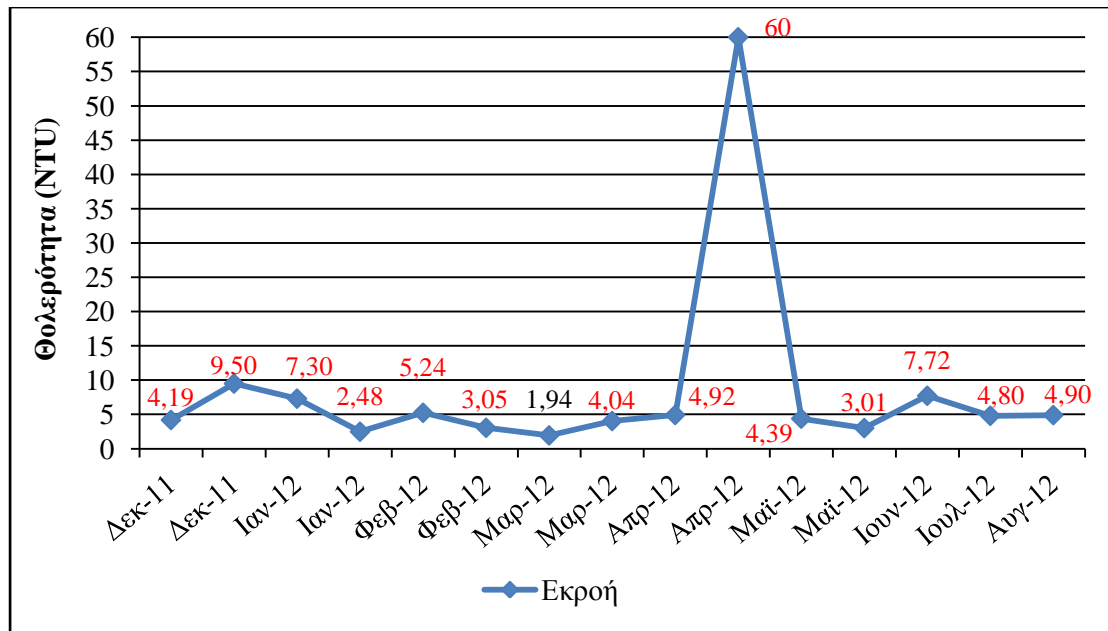
καταβύθιση των αλάτων κατά την επεξεργασία (σηπτική δεξαμενή – χαλικόφιλτρα). Παρατηρείται ότι ήδη κατά το στάδιο διαχωρισμού (λίπη – λύμα εισροής Β-καθιζάνοντα στερεά) στη σηπτική δεξαμενή, μέρος των διαλυμένων στερεών έχουν απομακρυνθεί. Γενικά, οι τιμές της αγωγιμότητας των εκροών κυμαίνονται σε επίπεδα που επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίησή τους για άρδευση για περιορισμένη όμως χρήση.

4.2.1.3 Θολερότητα

Η θολερότητα χρησιμοποιείται, επίσης, για τον έλεγχο της ποιότητας των εκροών των υγρών αποβλήτων, καθώς και της ποιότητας των φυσικών νερών. Οφείλεται κυρίως στα κολλοειδή σωματίδια που αιωρούνται στα λύματα και στα νερά. Η θολερότητα είναι πολύ σημαντική παράμετρος κατά τη διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Υψηλές τιμές της θολερότητας έχουν ως αποτέλεσμα τη σκέδαση του φωτός στους υδάτινους φυσικούς αποδέκτες με τις ανάλογες συνέπειες.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, η τιμή της θολερότητας θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 2 NTU, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα επεξεργασμένα λύματα για απεριόριστη άρδευση, βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης, αστική χρήση, περιαστικό πράσινο και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις της θολερότητας στα δείγματα της εκροής, κατά το χρονικό διάστημα Δεκέμβριο 2011 – Αύγουστο 2012, τα επεξεργασμένα λύματα δεν είναι κατάλληλα για άρδευση, ξεπερνώντας τα νομοθετικά όρια που επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίηση, πλην ενός αποτελέσματος το οποίο είναι εντός ορίων (Γράφημα 4.3). Οι τιμές συνολικά δεν έχουν μεγάλη διακύμανση, εκτός φυσικά από την τιμή της θολερότητας το μήνα Απρίλιο που άγγιξε τα 60 NTU, λόγω ενός λειτουργικού προβλήματος που παρουσιάστηκε στην εγκατάσταση επεξεργασίας εκείνη τη χρονική περίοδο. Οι σχετικά υψηλές τιμές της θολερότητας είναι ένδειξη ότι κατά την δευτεροβάθμια επεξεργασία δεν αφαιρείται μεγάλο ποσοστό των αιωρούμενων στερεών, παραπέμποντας ίσως στην ανάγκη για μια περαιτέρω επεξεργασία – φίλτρανση πριν το στάδιο επαναχρησιμοποίησης.

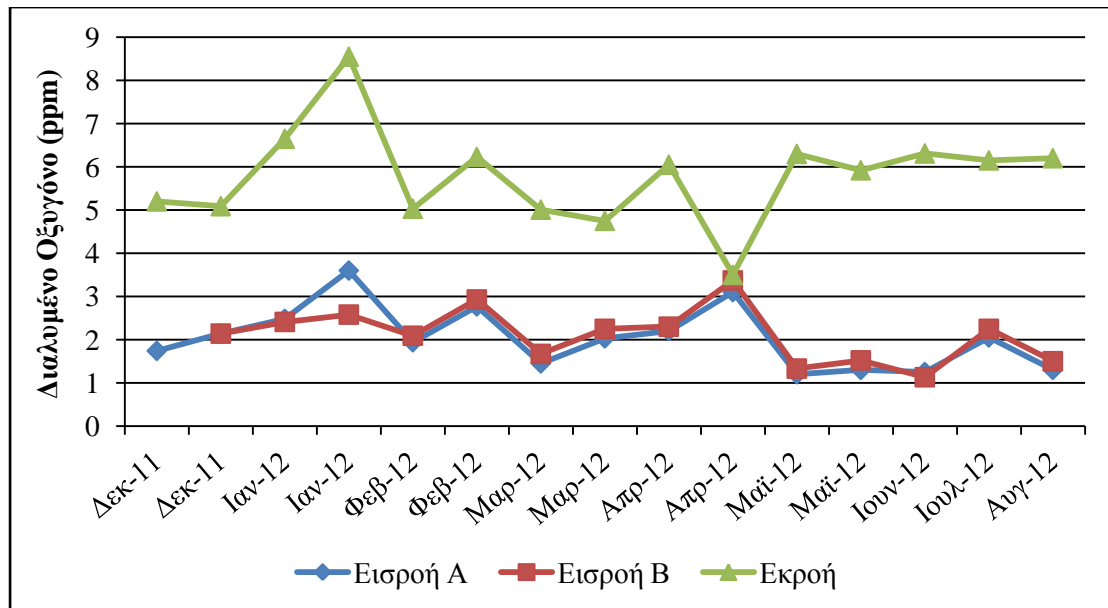


Γράφημα 4.3: Τιμές της θολερότητας στα επεξεργασμένα λύματα στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

4.2.1.4 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα υδατικά οικοσυστήματα είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των περισσότερων μορφών ζωής σε αυτά. Επίσης, το οξυγόνο που βρίσκεται διαλυμένο στα υγρά απόβλητα είναι αναγκαίο για τις διάφορες βιοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στα διάφορα στάδια επεξεργασίας των λυμάτων στις εγκαταστάσεις. Γενικά, η μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου σε ένα υδατικό οικοσύστημα είναι δείκτης της ρυπαντικής επιβάρυνσης που έχει επέλθει σε αυτό. Αυτό οφείλεται κυρίως στην παρουσία οργανικών ενώσεων και ενώσεων του αζώτου (νιτροποίηση).

Η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου σε ένα υδάτινο αποδέκτη, όπως έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, θα πρέπει να εξασφαλίζεται σε επίπεδα πάνω από 4 – 5 ppm.



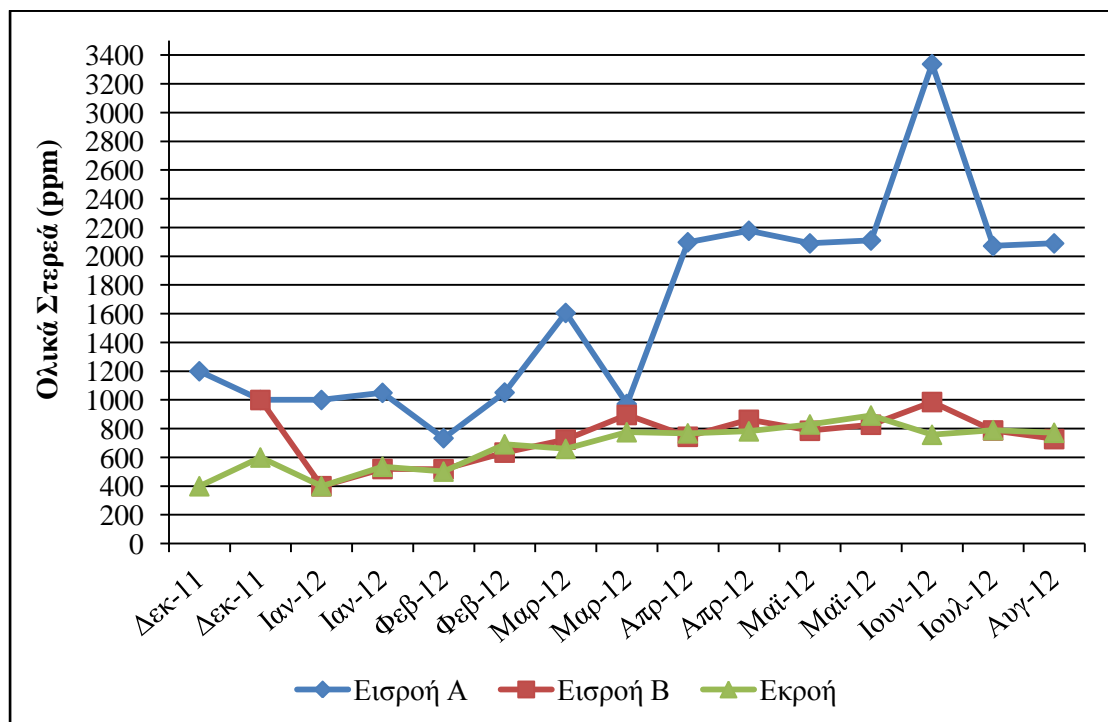
Γράφημα 4.4: Αποτελέσματα αναλύσεων Διαλυμένου Οξυγόνου στα δείγματα λυμάτων των τριών σημείων δειγματοληψίας, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Στο Γράφημα 4.4, παρατηρείται ξεκάθαρα η αναμενόμενη αύξηση των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου στην εκροή, ως αποτέλεσμα των βιολογικών αερόβιων διεργασιών κατά την επεξεργασία. Μόνο η τιμή του μήνα Απριλίου είναι πολύ χαμηλή, αλλά αυτό οφείλεται σε τεχνικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε στην εγκατάσταση επεξεργασίας, για περίπου 10 ημέρες, εκείνο το χρονικό διάστημα. Το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών του διαλυμένου οξυγόνου στην έξοδο από την εγκατάσταση επεξεργασίας κυμαίνονται από 5 έως 6 ppm, οι οποίες είναι πάνω από τα ελάχιστα θεσπισμένα νομοθετικά όρια. Αντιθέτως, οι τιμές των εισροών κυμαίνονται μεταξύ 1 με 3 ppm, με τις χαμηλότερες τιμές να παρατηρούνται από τον μήνα Μάιο και μετά, άρα και ποιοτικής υποβάθμισης των εισερχόμενων αποβλήτων, κάτι που γενικά παρατηρείται σε μονάδες επεξεργασίας κατά την έναρξη της θερινής περιόδου.

4.2.2 Στερεά Συστατικά

4.2.2.1 Ολικά Στερεά (TS)

Τα ολικά στερεά συστατικά αποτελούνται από αιωρούμενα (μη καθιζάνοντα), καθιζάνοντα και διαλυμένα στερεά, τα οποία μπορεί να είναι οργανικής ή ανόργανης προέλευσης. Τα στερεά, γενικότερα, παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στις εκροές, που προορίζονται για διάθεση σε υδάτινους αποδέκτες, γιατί υποβαθμίζουν σημαντικά την ποιότητά τους.



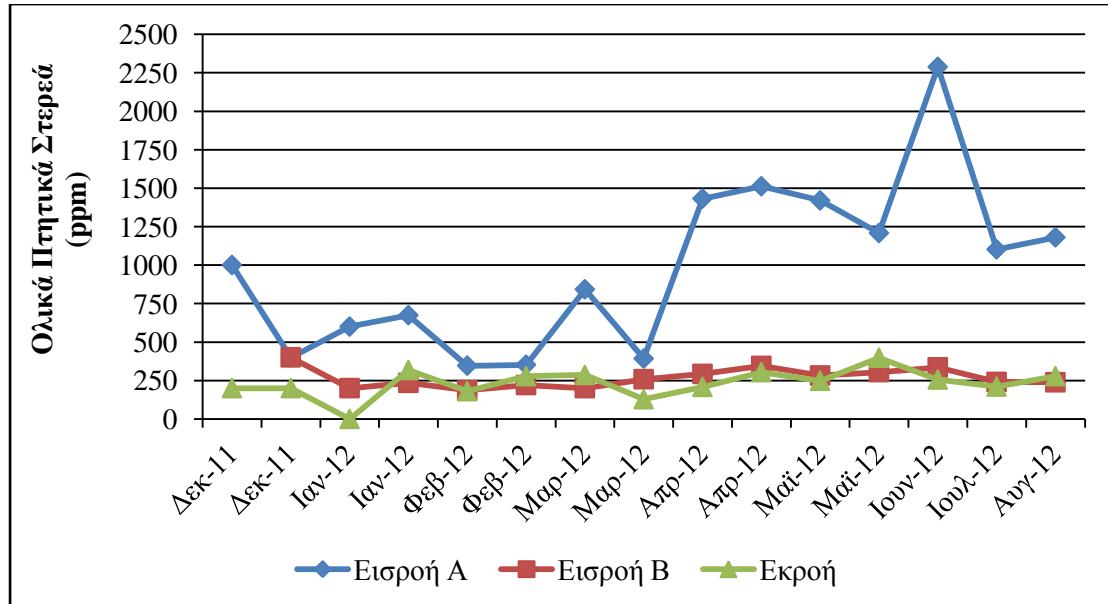
Γράφημα 4.5: Συγκεντρώσεις των Ολικών Στερεών στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Από το παραπάνω γράφημα, διαπιστώνεται η απότομη αύξηση των ολικών στερεών την άνοιξη και το καλοκαίρι, με τιμές να κυμαίνονται στα 2200 ppm για τους μήνες Απρίλιο έως και Αύγουστο με εξαίρεση το μήνα Ιούνιο όπου φάνηκε να ξεπερνάει την τιμή των 3200 ppm. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αυξημένη προσέλευση πληθυσμού στους οικισμούς σε διαστήματα τουριστικής περιόδου (Πάσχα - Καλοκαίρι), επομένως και την αυξημένη παροχή και υποβάθμιση της ποιότητας των υγρών αποβλήτων στην εγκατάσταση επεξεργασίας. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι οι τιμές των ολικών στερεών στο επόμενο σημείο δειγματοληψίας

(Εισροή B) είναι κατά πολύ μειωμένες, υποδηλώνοντας το σημαντικό ρόλο της σηπτικής δεξαμενής στο διαχωρισμό-καθίζηση ενός μεγάλου ποσοστού στερεών της Εισροής A (κυρίως καθιζάνοντων στερεών). Έτσι, τα υγρά απόβλητα απαλλαγμένα πλέον από τα χονδρόκοκκα στερεά που θα μπορούσαν να προκαλέσουν λειτουργικά προβλήματα στην κύρια μονάδα, εισέρχονται στο βασικό στάδιο επεξεργασίας, τη βιολογική αποικοδόμηση της οργανικής ύλης με τη χρήση των χαλκικόφιλτρων. Σημειώνεται ότι ελάχιστη μείωση παρατηρείται στην εκροή, συγκριτικά με την Εισροή B, με τις τιμές να κυμαίνονται γύρω στα 600-800 ppm. Το γεγονός όμως αυτό συνάδει με το ρόλο των βιολογικών διεργασιών, όπου ο κύριος στόχος είναι η μείωση του ρυπαντικού οργανικού φορτίου, και όχι των στερεών.

4.2.2.2 Ολικά Πτητικά Στερεά (TVS)

Τα ολικά πτητικά είναι τα στερεά που εξαερώνονται και οξειδώνονται κατά την καύση των ολικών στερεών ($500 \pm 50^{\circ}\text{C}$), και δίνουν μια καλή εκτίμηση του ολικού οργανικού πτητικού φορτίου.



Γράφημα 4.6: Συγκεντρώσεις των Ολικών Πτητικών Στερεών στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

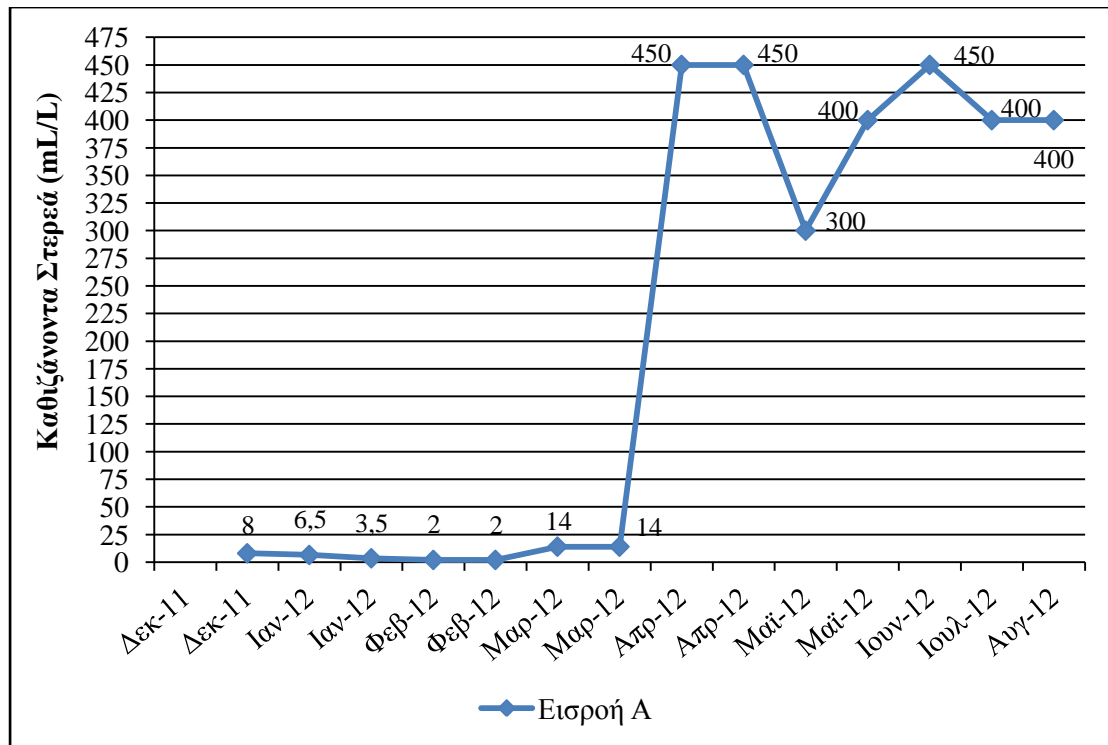
Η τάση των αναλύσεων των ολικών πτητικών στο παραπάνω γράφημα, ακολουθεί την αντίστοιχη τάση των ολικών στερεών της Εισροής A και B, γεγονός

που υποδεικνύει το σημαντικό ποσοστό των πτητικών οργανικών ουσιών στο σύνολο των ολικών στερεών, στα υγρά απόβλητα εισροής. Συγκεκριμένα, στην Εισροή Α το ποσοστό των πτητικών σε σχέση με τα ολικά στερεά ποικίλει μεταξύ 40 φτάνοντας ως και 70%. Στις αναλύσεις της Εκροής το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 30 – 40%. Βέβαια, θα περιμέναμε τα πτητικά στερεά της Εισροής Β να μην παρουσιάζουν σημαντική μείωση σε σχέση με αυτά της Εισροής Α. Αυτό δεν παρατηρείται στα αποτελέσματά μας με πιθανή αιτία (αν δεν αποδοθεί σε δειγματοληπτικό σφάλμα λόγω στιγμιαίων δειγμάτων), κατά την καθίζηση και το διαχωρισμό των στερεών στη σηπτική δεξαμενή να έχουν υποστεί καταβύθιση προσκολλημένα στην επιφάνεια των καθιζάνοντων/ επιπλεόντων στερεών. Οι χαμηλές τιμές των πτητικών στερεών στην Εκροή τεκμηριώνει την ικανοποιητικού βαθμού βιολογική επεξεργασία των χαλκικόφιλτρων όπου καταφέρνουν να αποικοδομήσουν σημαντικά το οργανικό ρυπαντικό φορτίο της αρχικής εισροής (Εισροή Α).

4.2.2.3 Καθιζάνοντα Στερεά

Τα καθιζάνοντα στερεά είναι οι αδιάλυτες στερεές ουσίες που καθιζάνουν σε συνθήκες ηρεμίας. Μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στους υδάτινους αποδέκτες, γιατί συσσωρεύονται στον πυθμένα τους και δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες για τους πληθυσμούς μέσα σε αυτά.

Από το Γράφημα 4.7, παρατηρείται ότι οι τιμές των καθιζανόντων στερεών της Εισροής Α, διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα μέχρι και τον μήνα Μάρτιο. Από τη χρονική αυτή στιγμή και μετά παρουσιάζεται κατακόρυφη αύξηση των τιμών τους, ακολουθώντας και εδώ την ίδια τάση κατά τους θερινούς μήνες λόγω πιθανότατα της αύξησης της παροχής στην εγκατάσταση. Όπως άλλωστε έχει αναφερθεί και παραπάνω για τα ολικά στερεά της Εισροής Α, όπου εδώ φαίνεται και το υψηλό ποσοστό των καθιζανόντων στερεών στα ολικά στερεά της Εισροής Α, όπου όμως απομακρύνονται κατά το πέρασμά τους από τη σηπτική δεξαμενή.

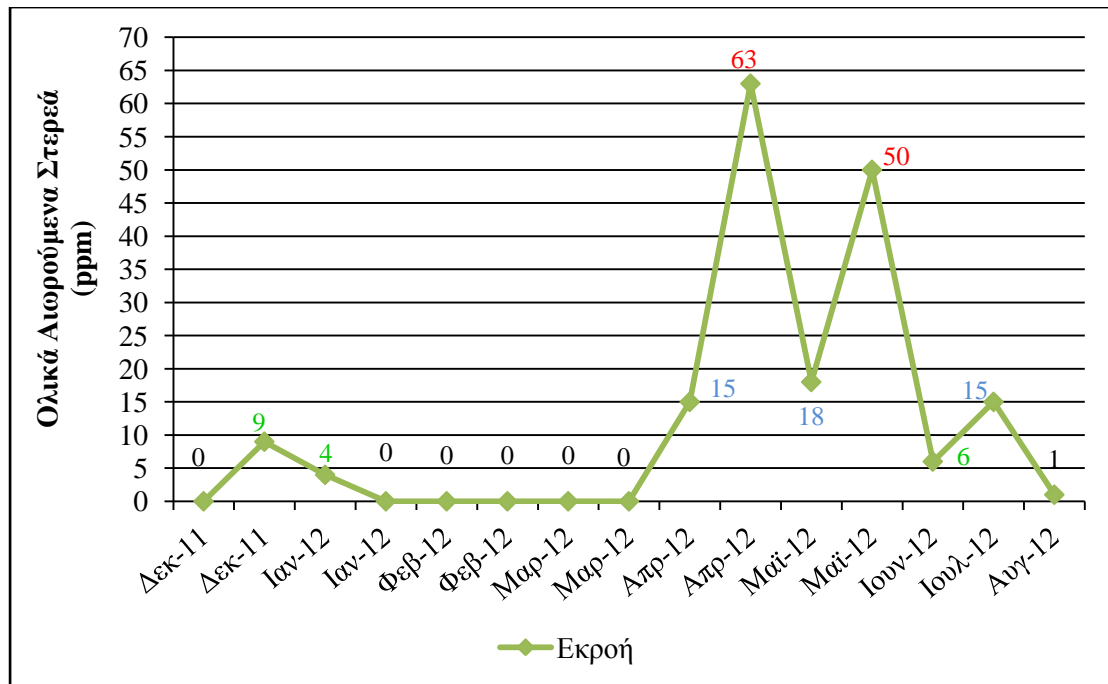


Γράφημα 4.7: Διακύμανση τιμών συγκέντρωσης καθιζάνοντων στερεών της Εισροής Α, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

4.2.2.4 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)

Τα αιωρούμενα στερεά είναι ανόργανης ή οργανικής φύσης και έχουν είτε φυσική είτε ανθρωπογενή προέλευση. Η παρουσία τους στα υδάτινα οικοσυστήματα δημιουργεί θολότητα, με αποτέλεσμα τη σκέδαση του ηλιακού φωτός ώστε να περιορίζονται οι διαδικασίες της φωτοσύνθεσης, ενώ στο έδαφος είναι πιθανό να μπλοκάρει τους πόρους του χώματος, δημιουργώντας πρόβλημα στο βιολογικό αυτό φίλτρο. Επίσης, μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την ανάπτυξη και διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών, αφού δυσκολεύουν τη μεταφορά διαφόρων συστατικών, όπως του οξυγόνου, μεταξύ ατμόσφαιρας και υδάτων.

Τα όρια που έχει θεσπίσει η νομοθεσία για τα αιωρούμενα στερεά ποικίλουν ανάλογα με τη χρήση των επεξεργασμένων εκροών. Συγκεκριμένα, η τιμή των αιωρούμενων στερεών (στο 80% των δειγμάτων) πρέπει να είναι μικρότερη των 35ppm για περιορισμένη άρδευση και μικρότερη των 10 ppm για απεριόριστη. Αυτή η τιμή μειώνεται αρκετά (≤ 2 ppm στο 80% των δειγμάτων), όταν πρόκειται για αστική χρήση, εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων και περιαστικό πράσινο.



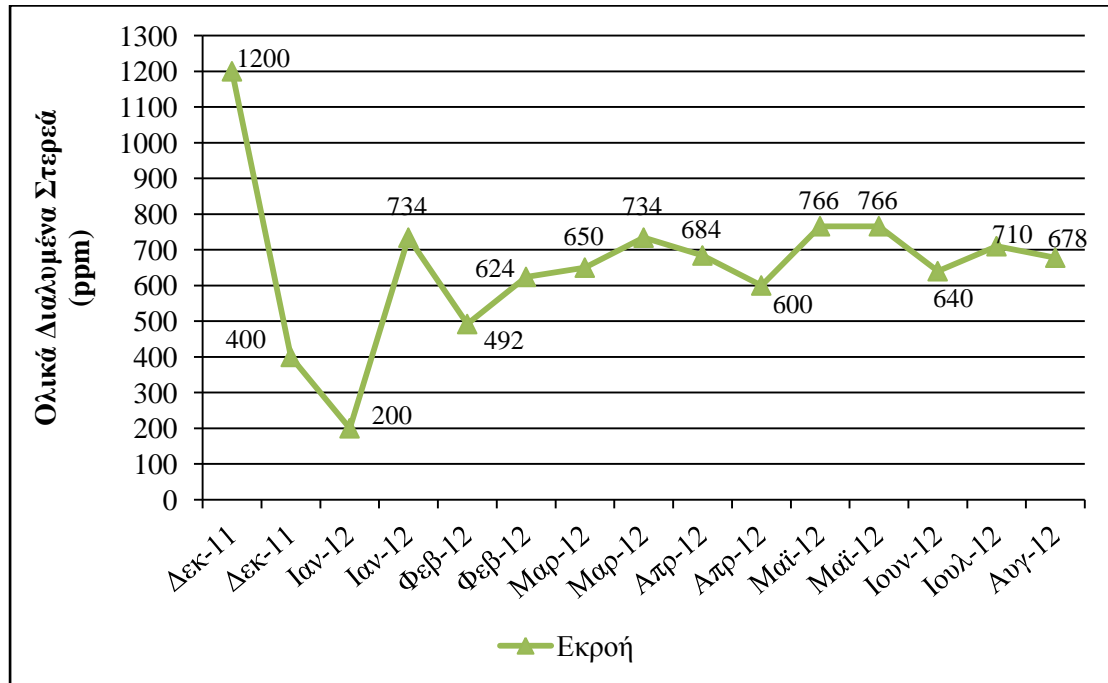
Γράφημα 4.8: Τιμές συγκέντρωσης Ολικών Αιωρούμενων Στερεών της Εκροής της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Σύμφωνα με το Γράφημα 4.8, τα αιωρούμενα στερεά διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα με όχι και τόσο έντονες διακυμάνσεις. Η υψηλή τιμή της συγκέντρωσης των αιωρούμενων το μήνα Απρίλιο οφείλεται σε διαπιστωμένο λειτουργικό πρόβλημα της εγκατάστασης, με παράλληλη υψηλή τιμή να απαντάται και για τη θολερότητα, ενώ αυτή το μήνα Ιούνιο πιθανότατα οφείλεται σε αναλυτικό σφάλμα, καθώς για το συγκεκριμένο δεν παρουσιάζονται αντίστοιχα υψηλές τιμές στη θολερότητα. Το 67% των δειγμάτων είναι κατάλληλο για απεριόριστη άρδευση καθώς παρουσιάζει τιμές μικρότερες από 10 ppm (μαύροι & πράσινοι αριθμοί), ενώ ένα επιπλέον ποσοστό 20% των δειγμάτων είναι κατάλληλο μόνο για περιορισμένη άρδευση καθώς έχει τιμές μικρότερες από 35 ppm (μπλε αριθμοί).

4.2.2.5 Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)

Τα διαλυμένα στερεά οφείλονται, κυρίως, στην παρουσία ευδιάλυτων ανόργανων αλάτων, όπως χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, νιτρώδη κ.α. Δηλαδή, περιλαμβάνουν όλα τα αγώγιμα ανόργανα και οργανικά στοιχεία που υπάρχουν,

εκτός από τα μόρια του νερού και τα αιωρούμενα στερεά, γι' αυτό και έχουν άμεση σχέση με την αγωγιμότητα. Η προέλευσή τους στα νερά είναι είτε φυσική, είτε οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες.



Γράφημα 4.9: Τιμές συγκέντρωσης των Ολικών Διαλυμένων Στερεών της Εκροής της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

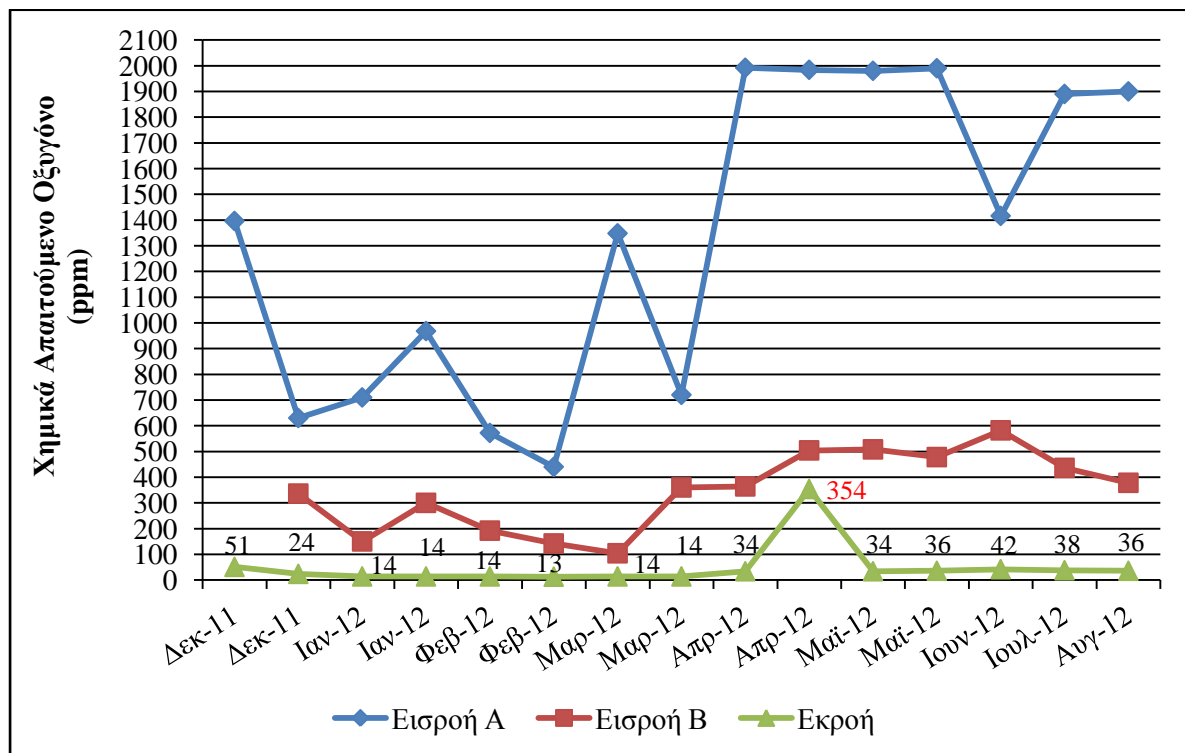
Παρατηρώντας τα Γραφήματα 4.5, 4.8 και 4.9 διαπιστώνεται η συσχέτιση των τιμών τους στην εκροή, αφού το άθροισμα των αιωρούμενων και των διαλυμένων στερεών καθορίζει τα ολικά στερεά, όπως άλλωστε αναμενόταν. Υπάρχει μια απόκλιση στις αναλύσεις του πρώτου μήνα, που μπορεί να οφείλεται σε αναλυτικό σφάλμα κατά τη διάρκεια της ζύγισης των δειγμάτων (ζυγός ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αγωγιμότητα είναι δείκτης της συγκέντρωσης των ολικών διαλυμένων στερεών, γι' αυτό και οι καμπύλες των γραφημάτων αγωγιμότητας και ολικών διαλυμένων στερεών είναι παρόμοιες.

4.2.3 Χημικά Χαρακτηριστικά

4.2.3.1 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η παράμετρος που προσδιορίζει το συνολικό οργανικό φορτίο (βιοαποικοδομήσιμο ή μη) που υπάρχει σε ένα δείγμα υγρών αποβλήτων. Ουσιαστικά, προσδιορίζει το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ενώσεων, με ένα ισχυρό οξειδωτικό παρουσία καταλύτη, προς σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα και νερού.

Η νομοθεσία ορίζει ως ανώτατη τιμή του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου, στις επεξεργασμένες εκροές των λυμάτων, αυτή των 125 ppm (στο 80% των δειγμάτων).



Γράφημα 4.10: Συγκεντρώσεις του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Στο Γράφημα 4.10, παρατηρείται ότι οι τιμές συγκέντρωσης του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου διατηρούνται σε αρκετά χαμηλά επίπεδα στην Εκροή, πολύ κάτω από τα επιτρεπτά νομοθετικά όρια. Επίσης, πρέπει να τονιστεί η σταθερότητα των τιμών της εκροής καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, με μοναδική εξαίρεση

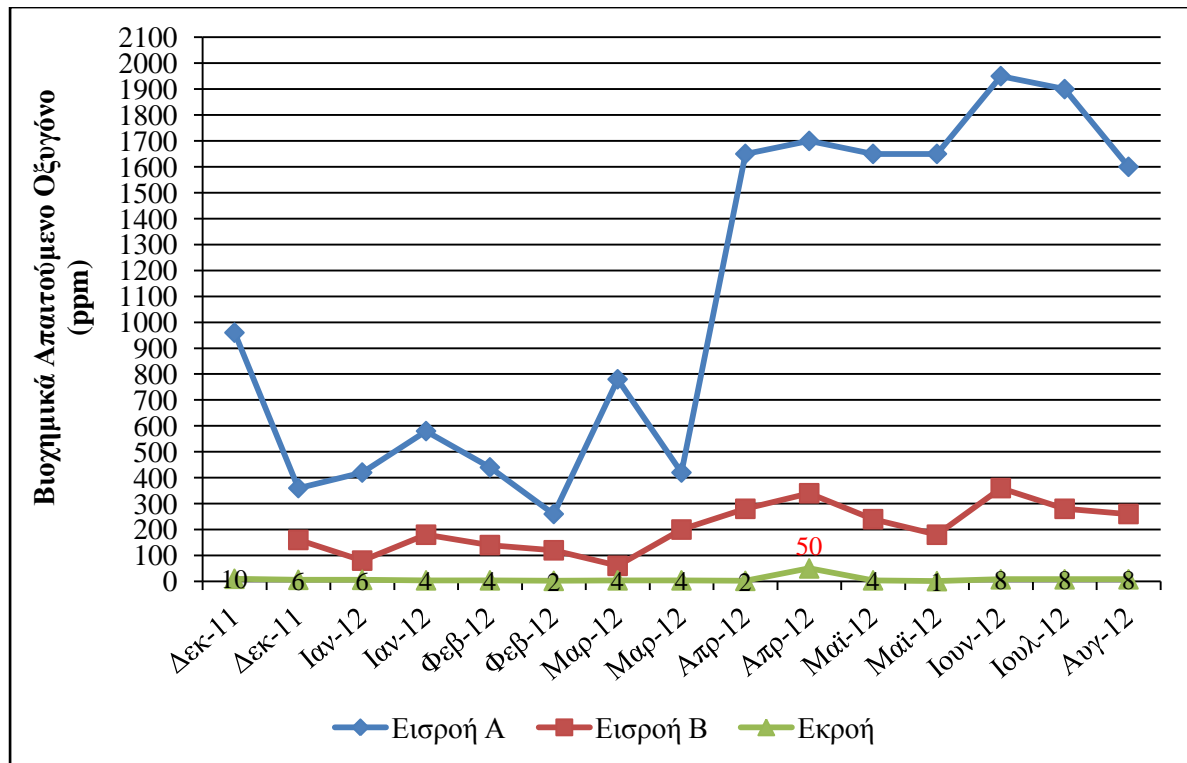
την τιμή του Απριλίου, λόγω του προαναφερθέντος τεχνικού προβλήματος λειτουργίας της εγκατάστασης. Στην Εισροή Α, οι τιμές του COD είναι ιδιαίτερα υψηλές για την αστική προέλευση των λυμάτων, με ανώτατες τιμές κατά τους τουριστικής αιχμής μήνες άνοιξης-καλοκαιριού. Στην Εισροή Β οι τιμές του COD είναι κατά πολύ μειωμένες, υποδηλώνοντας ότι οργανική ύλη προσκολλημένη στα επιπλέοντα στερεά έχει καθιζάνει (πιθανώς δημιουργώντας συσσωματώματα) μαζί με αυτά στη σηπτική δεξαμενή. Το αποτέλεσμα αυτό, ειδικά για τους καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζεται να είναι ακόμα καλύτερο και από αυτό που είχε δοθεί από τη μελέτη της εγκατάστασης, όπου κατά το σχεδιασμό είχε υπολογιστεί μια μέση ημερήσια μείωση του COD της τάξης των 300-400 ppm κατά το στάδιο της σηπτικής δεξαμενής.

4.2.3.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο προσδιορίζεται ως το οξυγόνο που απαιτείται για την οξείδωση του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού φορτίου από τους μικροοργανισμούς. Επειδή η βιοχημική αποδόμηση είναι βραδεία διαδικασία και ολοκληρώνεται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, συνήθως μετράται το οξυγόνο που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια των πρώτων πέντε ημερών.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, οι τιμές του BOD₅ (στο 80% των δειγμάτων) δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 25 ppm, όταν πρόκειται για περιορισμένη άρδευση, ενώ για απεριόριστη άρδευση, αστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων η τιμή αυτή πρέπει να είναι μικρότερη από 10 ppm.

Από το παρακάτω γράφημα, διαπιστώνεται ότι οι εκροές των επεξεργασμένων λυμάτων κυμαίνονται μέσα στα επιτρεπτά όρια και μάλιστα σε τιμές μικρότερες από 10 ppm. Εξαίρεση της γενικότερης εικόνας αποτελεί η αυξημένη τιμή του Απριλίου, λόγω της αναφερθείσας κακής λειτουργίας της εγκατάστασης. Οι καμπύλες των τιμών συγκέντρωσης του BOD₅ στις εισροές ακολουθούν τις αντίστοιχες καμπύλες του COD, γεγονός που θεωρείται αναμενόμενο.

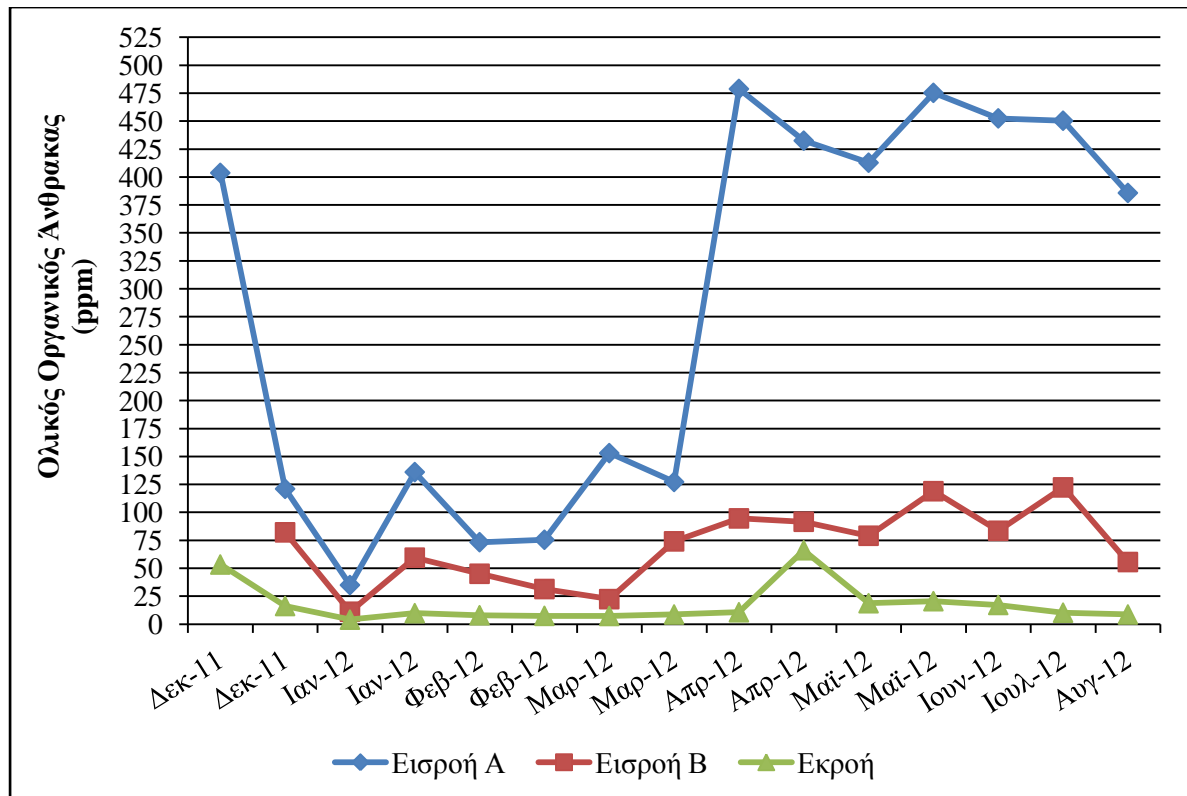


Γράφημα 4.11: Τιμές συγκέντρωσης του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

4.2.3.3 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας μετράει το σύνολο των οργανικών ενώσεων σε ένα δείγμα λυμάτων, ανεξάρτητα από το είδος των ενώσεων αυτών. Προσδιορίζεται από την οξείδωση των οργανικών αυτών ενώσεων προς παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και νερού.

Η καμπύλη των τιμών του Ολικού Οργανικού Άνθρακα των Εισροών Α και Β και της Εκροής (Γράφημα 4.12) ακολουθούν την αντίστοιχη καμπύλη του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Γράφημα 4.10). Το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών της συγκέντρωσης του ολικού οργανικού άνθρακα στην εκροή διατηρείται χαμηλό και οι τιμές του δεν ξεπερνούν τα 20 ppm. Στις Εισροές Α και Β παρατηρείται μια απότομη αύξηση των τιμών του TOC τον Απρίλιο και στη συνέχεια διατηρούνται υψηλές καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού. Αυτό οφείλεται στην αύξηση του οργανικού φορτίου στην εγκατάσταση επεξεργασίας, λόγω της αύξησης του πληθυσμού τους μήνες αυτούς.



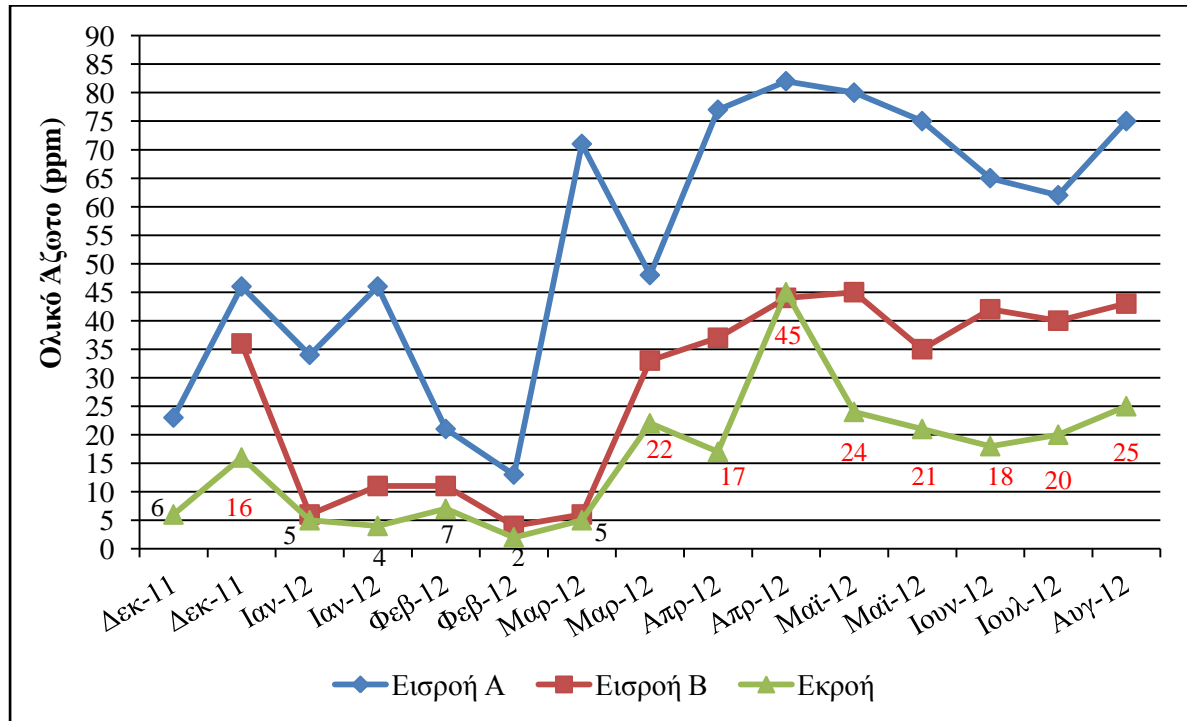
Γράφημα 4.12: Τιμές συγκέντρωσης του Ολικού Οργανικού Άνθρακα στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

4.2.3.4 Ολικό Άζωτο (T(N))

Το άζωτο είναι απαραίτητο συστατικό για την ανάπτυξη διαφόρων μορφών ζωής τόσο στα χερσαία όσο και υδάτινα οικοσυστήματα, καθώς επίσης και στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών κατά τη βιολογική επεξεργασία. Βέβαια όμως μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στους διάφορους αποδέκτες κατά τη διάθεση και επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών. Συγκεκριμένα, οι αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου, σε συνδυασμό με την παρουσία φωσφόρου, σε υδάτινους αποδέκτες είναι η αιτία της δημιουργίας του φαινομένου του ευτροφισμού. Επίσης, μεγάλες ποσότητες αζώτου στις επεξεργασμένες εκροές μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στις καλλιέργειες που διατίθενται για άρδευση ή άλλη χρήση.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, οι συγκεντρώσεις του αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερες από 45 ppm. Εξαιρούνται όμως οι περιπτώσεις που

γίνεται μακρά διάρκεια αποθήκευση των λυμάτων σε ταμιευτήρες, άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών ή εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα, όπου οι μέσες συγκεντρώσεις του αζώτου δεν επιτρέπεται να ξεπερνούν τα 15 ppm.



Γράφημα 4.13: Τιμές συγκέντρωσης του Ολικού Αζώτου στις Εισροές Α, Β και την Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Οι τιμές συγκέντρωσης του ολικού αζώτου στην έξοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας διατηρούνται γενικά κάτω από τα επιτρεπτά όρια. Συγκεκριμένα, ένα ποσοστό 40% των τιμών είναι μάλιστα μικρότερο από 15 ppm, παρόλο που η διάθεση των εκροών για την ώρα δεν πραγματοποιείται σε περιοχή που έχει χαρακτηριστεί ευαίσθητη (ρυάκι). Βέβαια, οι εκροές των λυμάτων προορίζονται βάση σχεδιασμού για άρδευση καλλιεργειών, όπως αμπέλια και ελιές, όπου στην περίπτωση αυτή οι τιμές του ολικού αζώτου για τους χειμωνιάτικους μήνες κρίνονται ικανοποιητικές. Κατά τους θερινούς μήνες δεν συμβαίνει το ίδιο, όπου και παρουσιάζεται αύξηση στις τιμές εκροών με μια σημαντική άνοδο τους μήνες Απρίλιο και Μάιο.

Η ίδια τάση παρατηρείται και για τα αποτελέσματα των αναλύσεων του ολικού αζώτου στην εισροή, όπου στην Εισροή Α, σε αντίθεση με τις χαμηλά σχετικά τιμές για τους μήνες του χειμώνα οι τιμές της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου κατά

τους ανοιξιάτικους μήνες χαρακτηρίζονται υψηλές και διατηρούνται σε υψηλά επίπεδα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η σημαντική μείωση από την Εισροή Α στην Εισροή Β είναι προβλεπόμενη, βάση της δυναμικότητας της σηπτικής δεξαμενής (προβλεπόμενη μείωση 20-45 ppm).

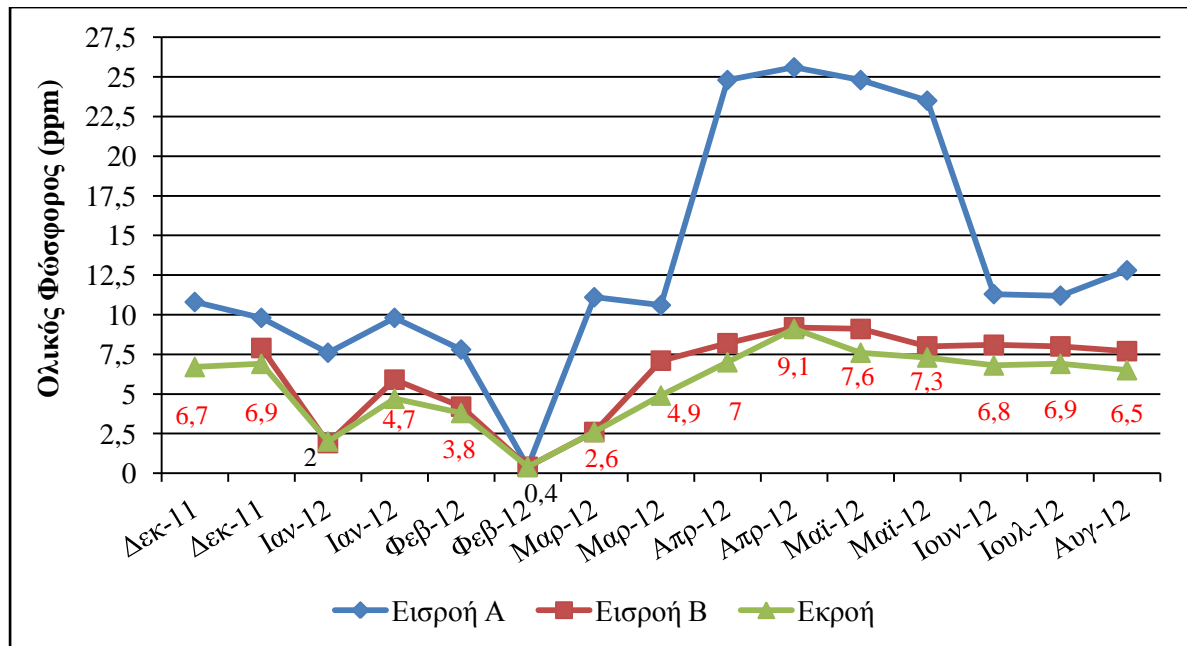
Το άζωτο στα αστικά οικιακά υγρά απόβλητα προκύπτει από τις ανθρώπινες εκκρίσεις (ουρία), και τα υπολείμματα τροφίμων. Το ολικό άζωτο δηλαδή που μετράμε σε ένα δείγμα υγρών αποβλήτων είναι το άθροισμα των νιτρικών, νιτρωδών, οργανικών αζωτούχων ενώσεων (ουρία, αμινοξέα, πρωτεΐνες, νουκλεοτίδια κ.α.), αμμωνίας και ελεύθερου αζώτου. Η αυξημένη λοιπόν παρουσία αζώτου, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της τουριστικής περιόδου, οφείλεται στη συνολική συνεισφορά σε ολικό άζωτο ανά κάτοικο, η οποία είναι αυξημένη, με αποτέλεσμα να προκύπτει και αντίστοιχη αύξηση της μέσης μηνιαίας συγκέντρωσης στα αστικά απόβλητα. Αποτελεί δηλαδή ένδειξη αποβλήτων επιβαρυσμένων από τις παραπάνω διαφορετικές μορφές αζώτου.

Το άζωτο είναι ένας ευαίσθητος δείκτης, όπου για να μπορέσει να διατεθεί σε ένα υδάτινο οικοσύστημα χωρίς προβλήματα θα πρέπει πιθανώς το δείγμα εκροής να τεθεί και σε επιπλέον τριτοβάθμια επεξεργασία, όταν αυτό απαιτείται (στην περίπτωση που μελετάμε για τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου είναι και οι πιο κρίσιμοι σε ανάγκη για αρδευτικό νερό).

4.2.3.5 Ολικός Φώσφορος (T(P))

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υψηλές ποσότητες φωσφόρου, σε συνδυασμό με το άζωτο, ευνοούν το φαινόμενο του ευτροφισμού κατά τη διάθεση των εκροών σε υδάτινους αποδέκτες. Βέβαια, ο φώσφορος είναι απαραίτητο συστατικό για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών κατά τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων.

Τα επιτρεπτά νομοθετικά όρια του ολικού φωσφόρου είναι τα 2 ppm, για διάθεση των επεξεργασμένων εκροών σε ευαίσθητες περιοχές, όπου δύναται να εμφανιστεί το φαινόμενο του ευτροφισμού.



Γράφημα 4.14: Τιμές συγκέντρωσης του Ολικού Φωσφόρου στα δείγματα λυμάτων της εγκατάστασης επεξεργασίας στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

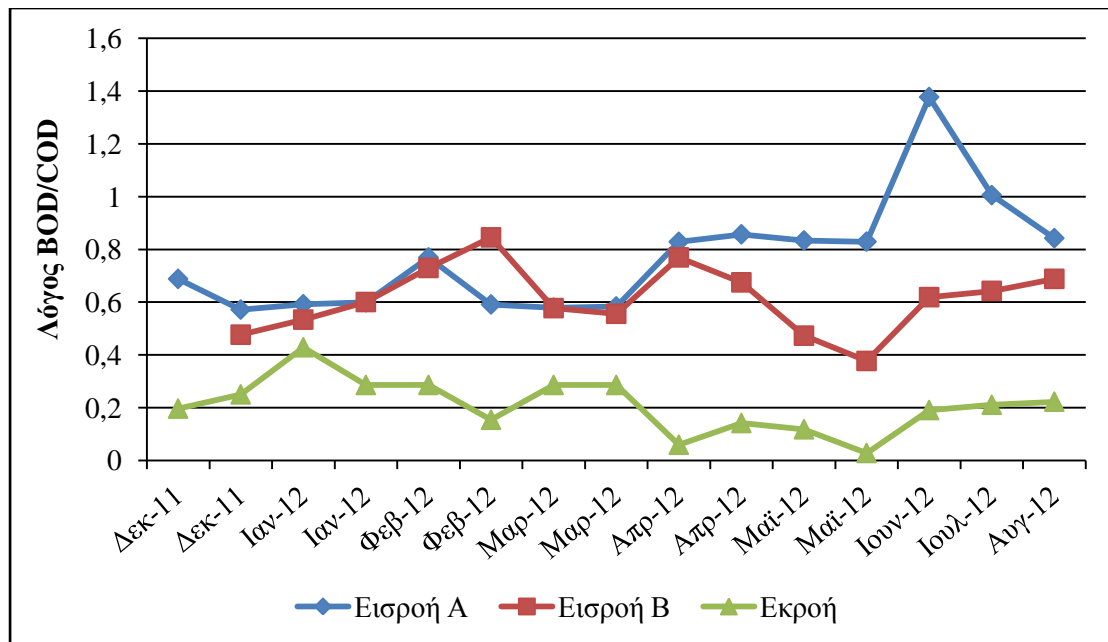
Σύμφωνα με το Γράφημα 4.14, οι τιμές του φωσφόρου στην έξοδο από την εγκατάσταση είναι αρκετά υψηλές και δεν κυμαίνονται κάτω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια (2ppm). Παρατηρώντας επίσης και τις ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις του φωσφόρου στην Εισροή Α, μπορεί να εξηγηθεί το αντίστοιχο ύψος των τιμών του στην Εκροή, αφού ουσιαστικά ένα πολύ μικρό ποσοστό του φωσφόρου απομακρύνεται κατά τη βιολογική επεξεργασία. Συνήθως, τα ανεπεξέργαστα αστικά υγρά απόβλητα περιέχουν συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου της τάξης των 4–15 ppm, γεγονός που δεν ισχύει για τα δείγματα στα Σταυράκια-Βούτες κατά τους μήνες Απρίλιο και Μάιο. Μείωση των τιμών μεταξύ Εισροής Α και Β είναι ένδειξη απομάκρυνσης του δεσμευμένου σε οργανικές ενώσεις φωσφόρου στο στάδιο της σιπτική δεξαμενής (προβλεπόμενη μείωση βάση σχεδίου 10-25 ppm).

Ο φώσφορος απαντά σε πολλές μορφές, συνήθως με τη μορφή ορθοφωσφορικών, πολυφωσφορικών ιόντων ή οργανικού φωσφόρου δεσμευμένου σε οργανικές ενώσεις. Πολλά από τα χρησιμοποιούμενα απορρυπαντικά οικιακής χρήσης περιέχουν πολυφωσφορικά ιόντα για την αποσκλήρυνση του νερού. Συνεπώς λύματα καταλήγουν στους αποδέκτες επιβεβαρυμμένα με σημαντικές ποσότητες φωσφόρου. Επιπλέον, τα φωσφορούχα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται σε

καλλιέργειες, δε δεσμεύονται ποσοτικά από τα φυτά ή το έδαφος και για το λόγο αυτό οι εκπλύσεις εδαφών περιέχουν σημαντικά φορτία φωσφόρου που και αυτά απαντώνται στο λύμα Εισροής, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ο δε οργανικός φώσφορος δημιουργείται κυρίως από βιολογικές διαδικασίες (περιττώματα και υπολείμματα τροφών).

4.2.3.6 Λόγος BOD/COD

Ο λόγος BOD/COD δίνει περισσότερες πληροφορίες για την ποιότητα των υγρών αποβλήτων, οι οποίες δεν παρέχονται από τη μεμονωμένη ανάλυση των επιμέρους χημικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, ο λόγος αυτός μπορεί να πάρει μέγιστη τιμή ίση με 1, στην περίπτωση που όλο το οργανικό φορτίο που περιέχεται στα απόβλητα είναι βιοαποικοδομήσιμο. Επομένως, τιμές του λόγου αυτού πλησίον της μονάδας ($\geq 0,6$) δείχνουν ότι τα λύματα μπορούν να υποστούν με επιτυχία βιολογική επεξεργασία, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ($< 0,4$) δεν ενδείκνυται βιολογική επεξεργασία.

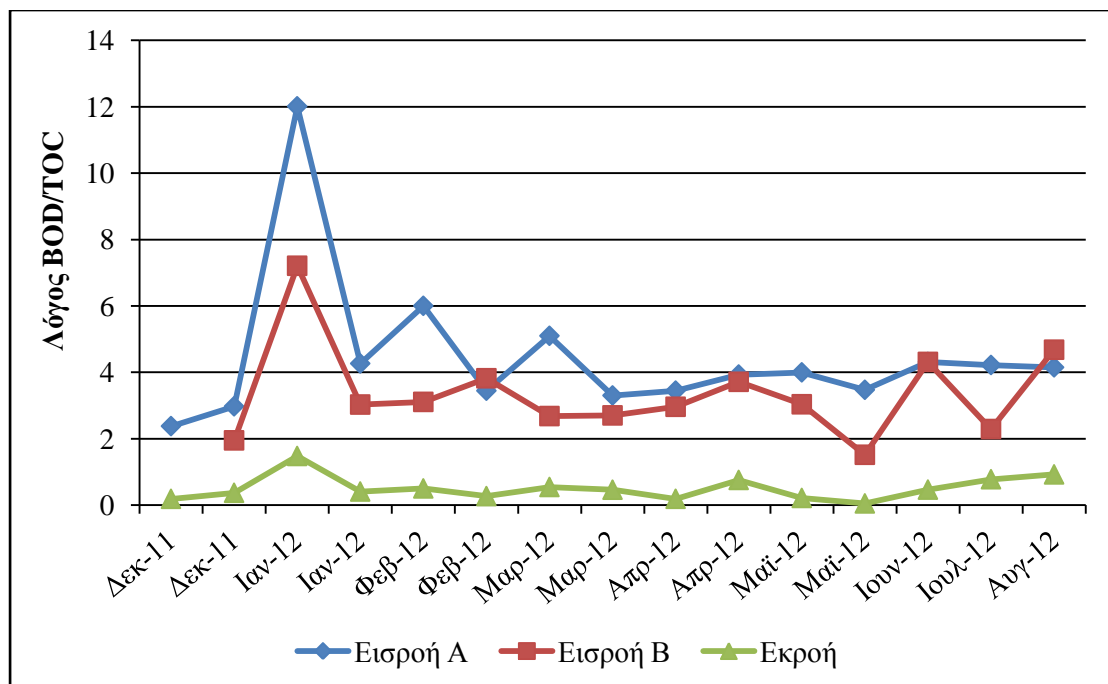


Γράφημα 4.15: Λόγος BOD/COD για τα δείγματα λυμάτων της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Από το παραπάνω γράφημα διαπιστώνεται ότι οι τιμές του λόγου BOD/COD στην Εισροή Α κυμαίνεται μεταξύ 0,6 και 0,8, γεγονός που αποδεικνύει ότι τα υπό εξέταση λύματα είναι βιοαποικοδομήσιμα. Η αυξημένη τιμή (BOD/COD>1) που παρουσιάζεται τον μήνα Ιούνιο πρέπει να οφείλεται σε σφάλμα μέτρησης. Επίσης, οι τιμές του λόγου BOD/COD στην Εκροή είναι ικανοποιητικές σύμφωνα με τα στοιχεία της βιβλιογραφίας. Παρατηρείται ότι οι τιμές του λόγου στην εκροή ακολουθούν μια τάση μείωσης, υποδηλώνοντας ότι το βιοαποικοδομήσιμο τμήμα έχει απομακρυνθεί κατά τη χρήση χαλκικόφιλτρων.

4.2.3.7 Λόγος BOD/TOC

Ο λόγος BOD/TOC έχει την ίδια σπουδαιότητα με το λόγο BOD/COD. Δηλαδή, δίνει επιπλέον πληροφορίες για την ποιότητα των λυμάτων. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία η τιμή του λόγου στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1,2 και 2,0, ενώ στην τελική εκροή συνήθως έχει τιμές μεταξύ 0,2 και 0,5.



Γράφημα 4.16: Λόγος BOD/TOC για τα δείγματα λυμάτων της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Παρατηρώντας το Γράφημα 4.16, διαπιστώνεται ότι οι τιμές του λόγου BOD/TOC στις Εισροές Α και Β είναι πολύ πιο υψηλές από τις τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Γεγονός που αποδεικνύει ότι οι τιμές του Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνου είναι αρκετά πιο μεγάλες (3 με 4 φορές μεγαλύτερες) από αυτές του οργανικού άνθρακα.

4.2.4 Αξιολόγηση Εγκατάστασης

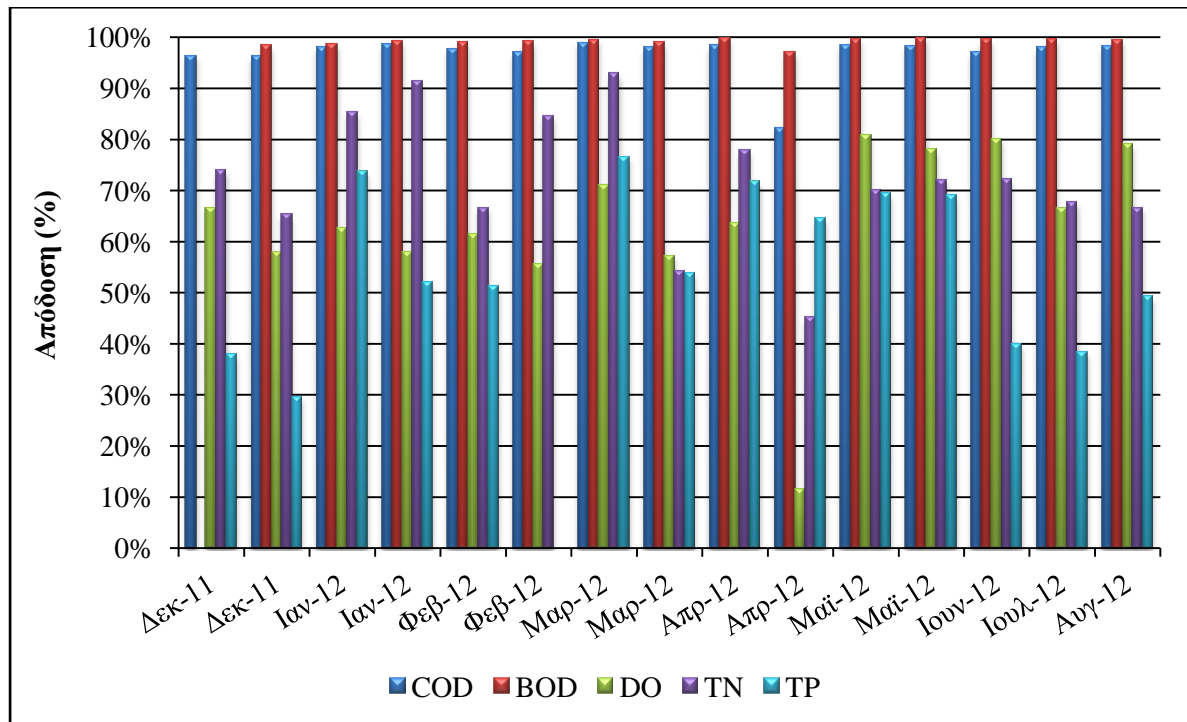
4.2.4.1 Απόδοση Εγκατάστασης

Δεδομένου των αποτελεσμάτων των διαφόρων παραμέτρων που παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, καθώς και παρατηρώντας το Γράφημα 4.17, δίνεται μια ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργίας της εγκατάστασης επεξεργασίας των λυμάτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

Σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα, η απομάκρυνση του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου φτάνει σε ποσοστά της τάξης του 96–98% κατά τη διάρκεια και των εννέα μηνών, ενώ η απομάκρυνση του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου αγγίζει σχεδόν το 100%. Όσον αφορά το διαλυμένο οξυγόνο, παρατηρείται μια αρκετά ικανοποιητική αύξηση της συγκέντρωσής του στην εκροή της εγκατάστασης, που αντιστοιχεί σε ποσοστό που κυμαίνεται από 56 έως 81%. Επιπλέον, στην εγκατάσταση Σταυρακίων – Βουτών πραγματοποιείται μια αρκετά σημαντική μείωση του ολικού αζώτου κατά 55-93%, ενώ το ποσοστό απομάκρυνσης του φωσφόρου διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα (30-70%).

Συμπερασματικά, από τα παραπάνω διαπιστώνεται η ομαλή λειτουργία της συγκεκριμένης εγκατάστασης, αφού δίνει ικανοποιητικές εκροές επεξεργασμένων λυμάτων. Πρέπει να τονιστεί ότι, ακόμα και τις περιόδους (Άνοιξη – Καλοκαίρι) που έχουμε μεγαλύτερες παροχές και κατά συνέπεια αρκετά υψηλότερο οργανικό φορτίο, η εγκατάσταση εξακολουθεί να παρουσιάζει μια αρκετά καλή εκροή, σύμφωνη με τις προδιαγραφές και τα όρια της νομοθεσίας για αρδευτική χρήση, με μικρές εξαιρέσεις για το φώσφορο και το άζωτο και τα αιωρούμενα στερεά, όπου εκεί οι τιμές των εκροών για τους καλοκαιρινούς μήνες είναι ελαφρώς αυξημένες. Πιθανώς για τους

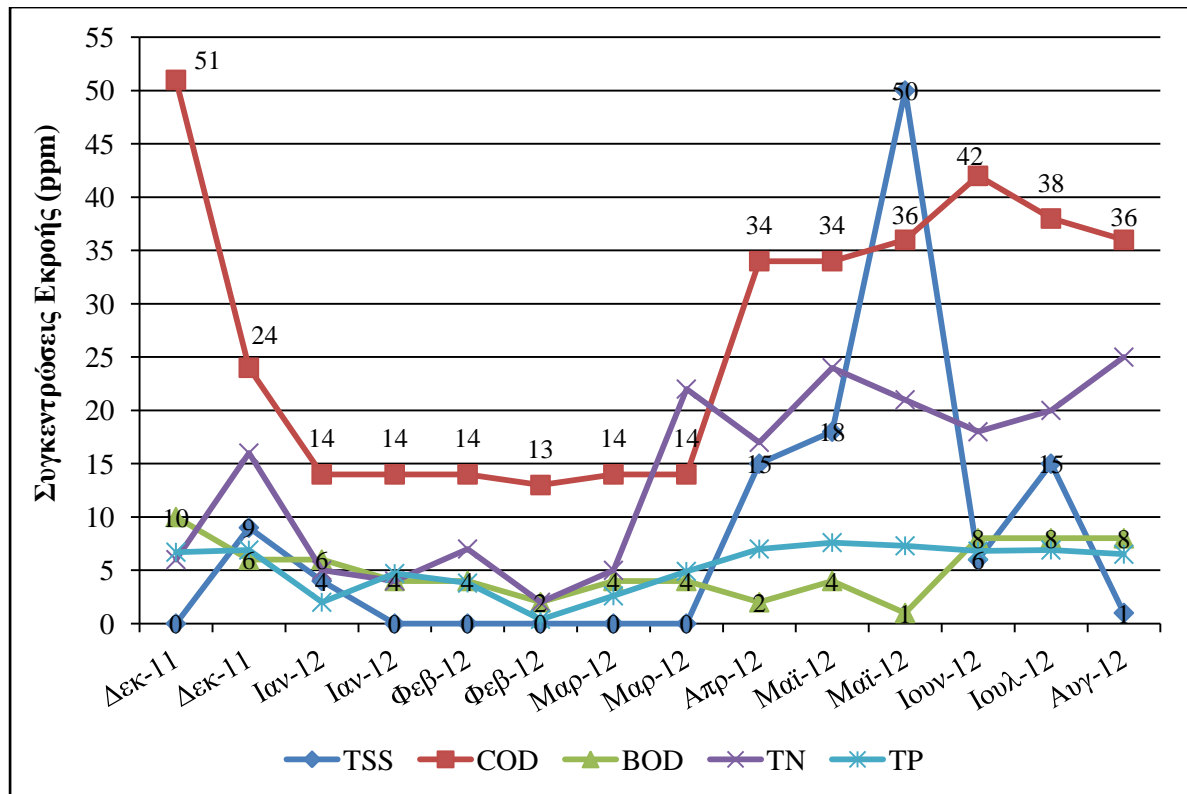
μήνες αυτούς να μπορούσε να λειτουργήσει στην εκροή αμμοδιύλιση και μια χημική καταβύθιση N, P.



Γράφημα 4.17: Απόδοση (%) της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

4.2.4.2 Επαναχρησιμοποίηση Εκροής

Στο παρακάτω γράφημα αποτυπώνονται συνοπτικά όλες οι τιμές των παραμέτρων που ουσιαστικά καθορίζουν την ποιότητα της εκροής και κατά συνέπεια τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής της. Σύμφωνα με τα όρια που έχουν ήδη αναφερθεί στα επιμέρους γραφήματα των ποιοτικών αυτών παραμέτρων, η εκροή που διατίθεται από τη συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι γενικά κατάλληλη για απεριόριστη άρδευση. Οι καλλιέργειες που βρίσκονται στην περιοχή γύρω από την εγκατάσταση είναι κυρίως αμπέλια και ελιές, οι οποίες ενδείκνυται για άρδευση από τις εκροές των επεξεργασμένων λυμάτων της εγκατάστασης Σταυρακίων- Βουτών.



Γράφημα 4.18: Τιμές συγκέντρωσης της Εκροής για πέντε παραμέτρους ποιότητας στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια.

4.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας – Διάθεσης Δ.Δ. Δαφνών

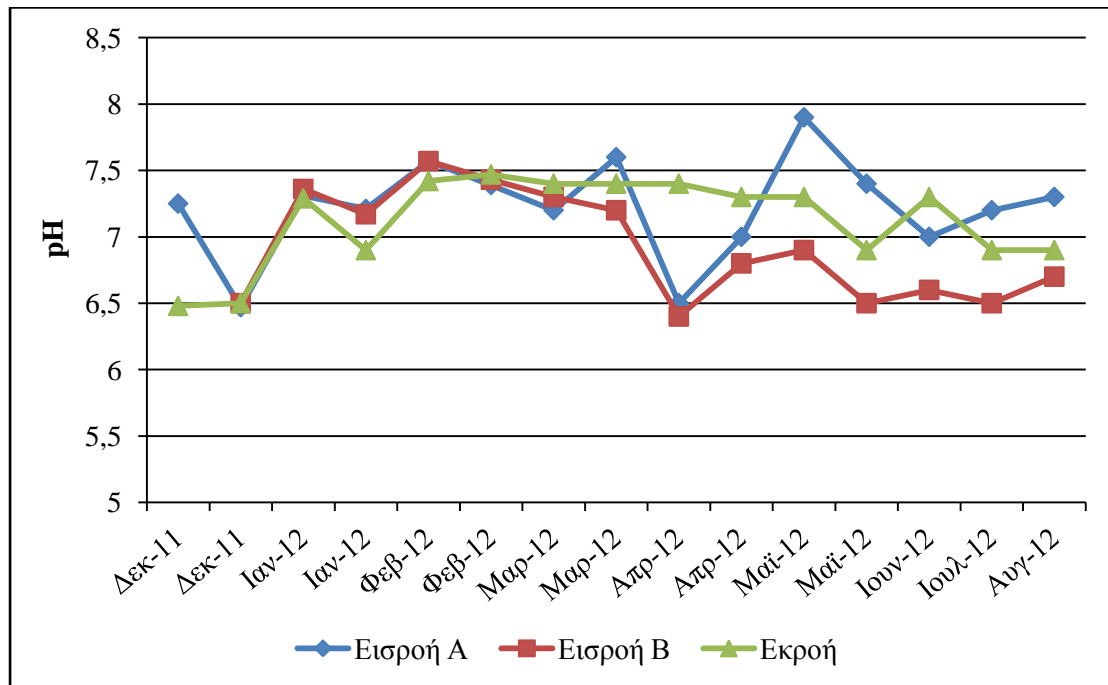
4.3.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά

4.3.1.1 pH

Το pH, όπως έχει ήδη αναφερθεί, επηρεάζει όλες τις βιοχημικές αντιδράσεις, οι οποίες ευνοούνται σε τιμές pH κοντά στο 7 (ουδέτερο). Επίσης, η τιμή του στα φυσικά νερά κυμαίνεται από 6,5 έως 8,5, οπότε αντίστοιχες τιμές pH θα είναι κατάλληλες για τις επεξεργασμένες εκροές που διατίθενται σε φυσικούς αποδέκτες.

Από το Γράφημα 4.19, παρατηρείται ότι οι τιμές του pH και στα τρία σημεία δειγματοληψίας, μέχρι το μήνα Μάρτιο, έχουν σχεδόν παρόμοια διακύμανση (pH= 7,0- 7,5), ενώ από τον Απρίλιο και μετά αρχίζουν να διαφοροποιούνται. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στη μη αποδοτική επεξεργασία των λυμάτων στα ενδιάμεσα

στάδια επεξεργασία τους. Βέβαια, οι τιμές του pH των επεξεργασμένων λυμάτων βρίσκονται εντός των επιτρεπόμενων ορίων, οπότε δεν αποτελούν πρόβλημα κατά τη διάθεσή τους.

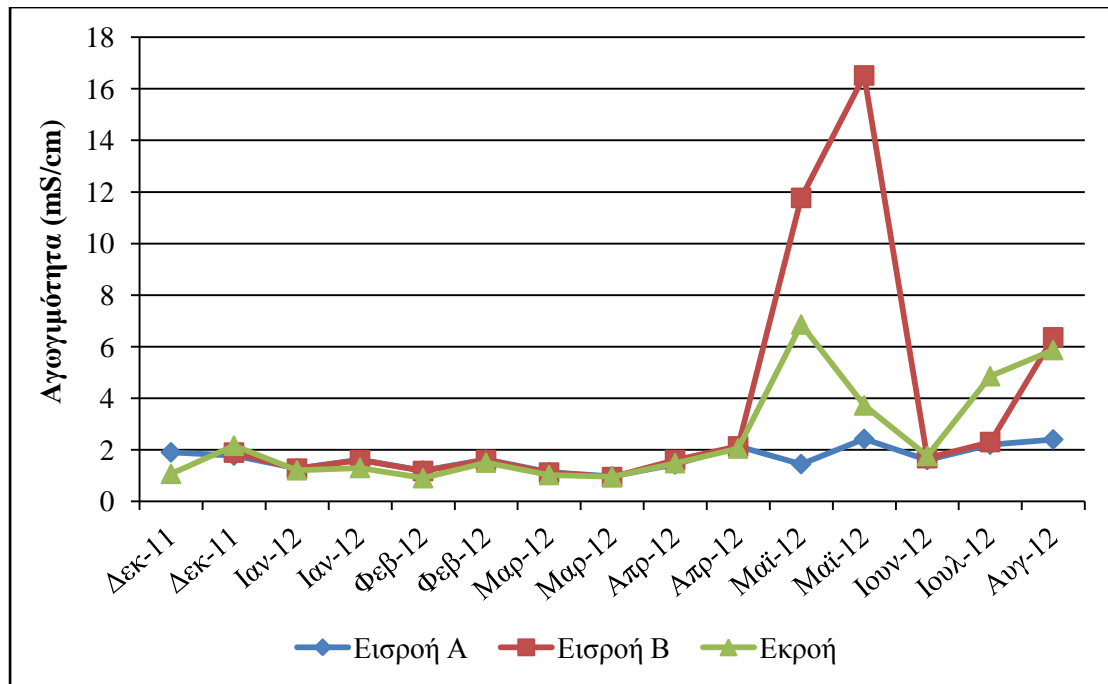


Γράφημα 4.19: Τιμές συγκέντρωσης του pH στις Εισροές A, B και στην Εκροή στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.1.2 Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα συνδέεται άμεσα με τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών στις επεξεργασμένες εκροές, γι' αυτό και είναι σημαντική κατά τη διάθεσή τους σε φυσικούς αποδέκτες. Ταυτόχρονα, ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας είναι αναγκαίος στις επεξεργασμένες εκροές που χρησιμοποιούνται για άρδευση, καθώς έχει άμεση σχέση με την αλατότητα.

Σύμφωνα με το Γράφημα 4.20, οι καμπύλες των τιμών της αγωγιμότητας στις Εισροές A, B και την Εκροή είναι παρόμοιες και διατηρούνται σε επίπεδα κάτω περίπου από 2 mS/cm. Ο βαθμός περιορισμών κατά την εφαρμογή της επεξεργασμένης εκροής για άρδευση είναι μέτριος, γιατί οι τιμές της αγωγιμότητας βρίσκονται κάτω από το όριο 3 mS/cm, με ελάχιστες εξαιρέσεις όπου η τιμή ξεπερνάει το όριο αυτό, οπότε οι περιορισμοί είναι ακόμα μεγαλύτεροι.

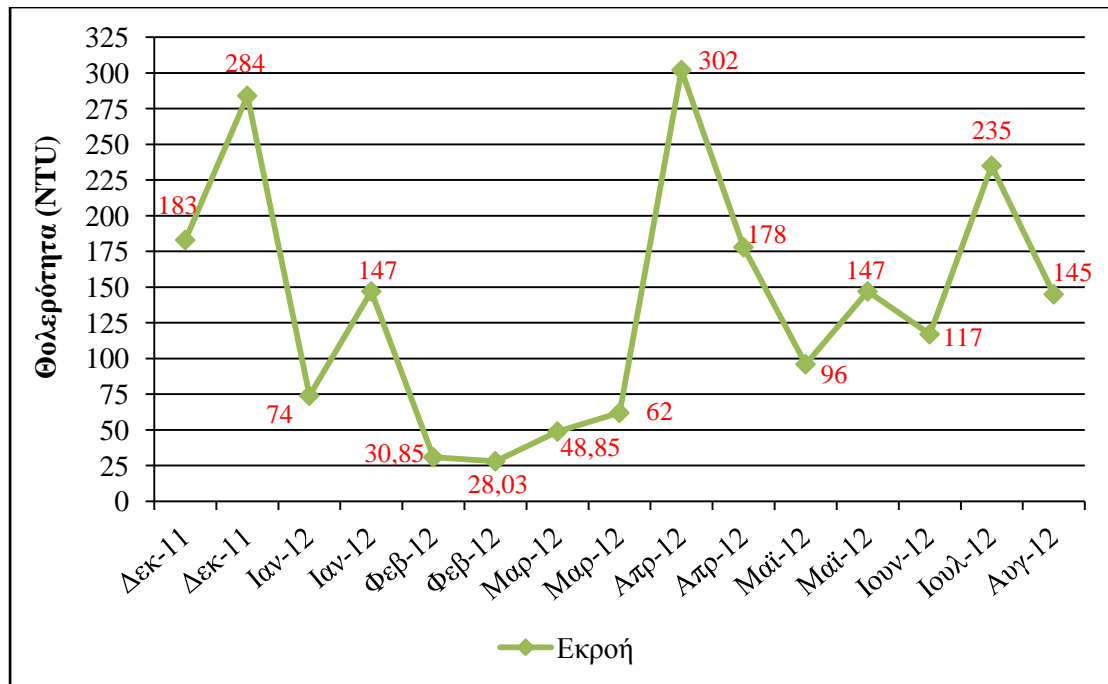


Γράφημα 4.20: Διακύμανση των τιμών της αγωγιμότητας στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.1.3 Θολερότητα

Η θολερότητα είναι πολύ σημαντική παράμετρος για την ποιότητα των επεξεργασμένων εκροών, αφού μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κατά τη διάθεσή τους σε φυσικούς αποδέκτες. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο της τιμής της θολερότητας είναι 2 NTU.

Από το Γράφημα 4.21, διαπιστώνεται ότι η εκροή της συγκεκριμένης εγκατάστασης δεν ικανοποιεί τις νομοθετικές προϋποθέσεις που απαιτούνται για την επαναχρησιμοποίησή της. Οι τιμές της θολερότητας είναι πάρα πολύ υψηλές, γεγονός που αποδεικνύει ότι δεν λειτουργεί ικανοποιητικά η δευτεροβάθμια επεξεργασία αφού δεν απομακρύνει το μεγαλύτερο ποσοστό των αιωρούμενων στερεών. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι οι μικρότερες τιμές θολερότητας παρατηρούνται τους χειμερινούς μήνες, λόγω πιθανότατα της αραίωσης των λυμάτων με τα όμβρια ύδατα.

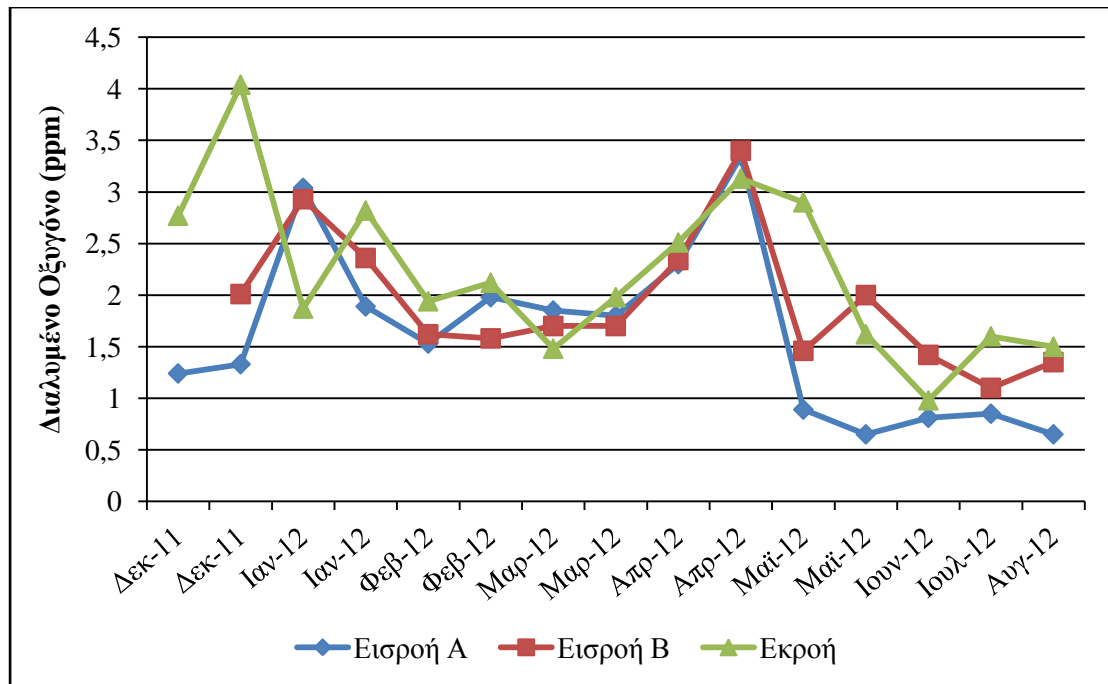


Γράφημα 4.21: Τιμές της θολερότητας στην Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.1.4 Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

Το διαλυμένο οξυγόνο είναι απαραίτητο στοιχείο για τη σωστή λειτουργία των διαφόρων σταδίων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, καθώς επίσης η μειωμένη τιμή της συγκέντρωσής του αποτελεί ένδειξη ρύπανσης σε ένα φυσικό οικοσύστημα. Η κατώτερη τιμή του διαλυμένου οξυγόνου σε ένα υδάτινο αποδέκτη για τη διασφάλιση ζωής σε αυτόν, είναι 4–5 ppm.

Από το Γράφημα 4.22, διαπιστώνεται η ανεπαρκής λειτουργία της εγκατάστασης, κατά την επεξεργασία των λυμάτων, αφού δεν υπάρχει διαφοροποίηση των τιμών συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου στις Εισροές Α, Β και την εκροή, όπως θα αναμενόταν. Ειδικότερα, οι τιμές του DO στην εκροή κυμαίνονται από 0,98 έως 4,04 ppm. Το εύρος αυτό των τιμών αναμφισβήτητα δεν είναι κατάλληλο για διάθεση των επεξεργασμένων εκροών σε φυσικούς αποδέκτες. Παρατηρείται επίσης ότι, οι χαμηλότερες τιμές του διαλυμένου οξυγόνου και στα τρία σημεία δειγματοληψίας παρουσιάζονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω πιθανότατα της αύξησης του οργανικού φορτίου την περίοδο αυτή.



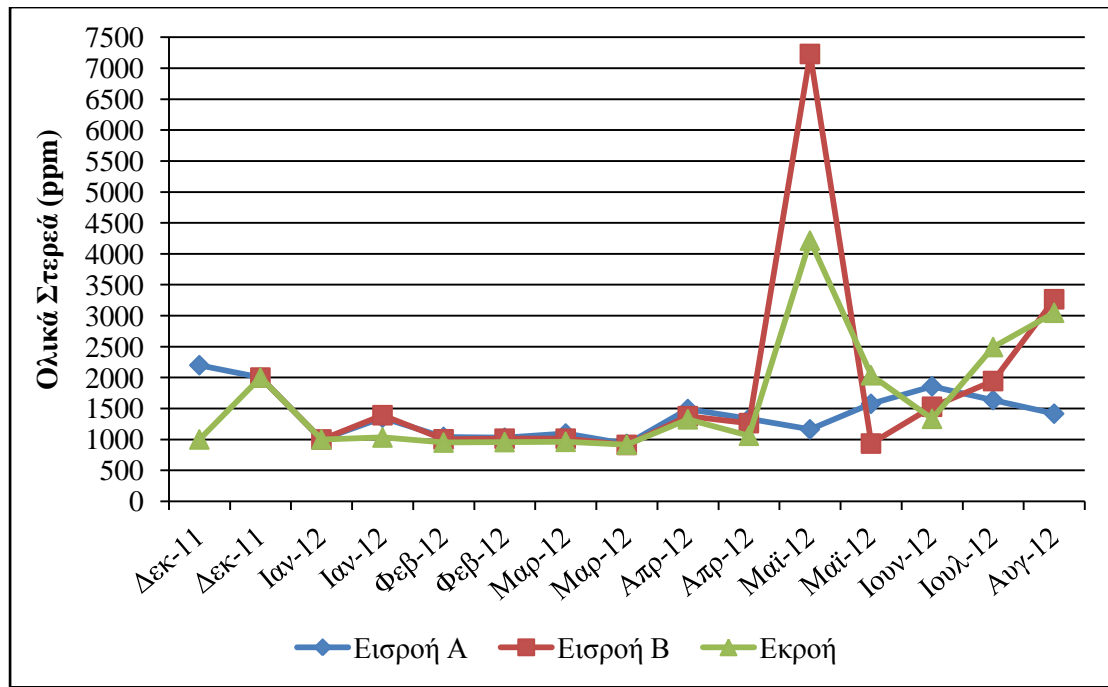
Γράφημα 4.22: Τιμές συγκέντρωσης του Διαλυμένου Οξυγόνου της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές, κατά τη διάρκεια των εννέα μηνών.

4.3.2 Στερεά Συστατικά

4.3.2.1 Ολικά Στερεά (TS)

Τα ολικά στερεά που υπάρχουν στις εκροές των επεξεργασμένων λυμάτων, είναι εν μέρει υπεύθυνα για την υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτινων οικοσυστημάτων κατά τη διάθεσή τους σε αυτά.

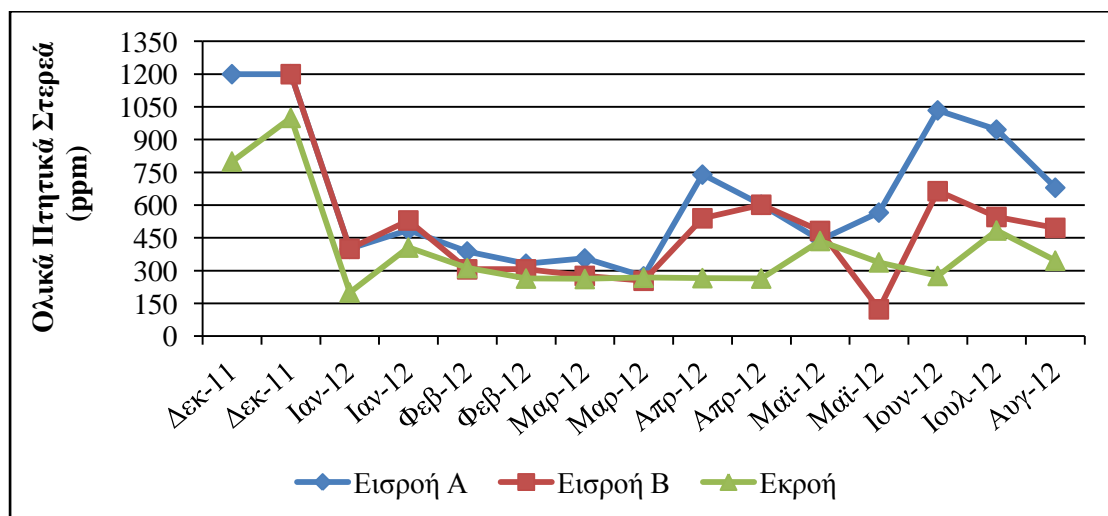
Σύμφωνα με το γράφημα 4.23, διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση των ολικών στερεών παραμένει η ίδια μέχρι την έξοδο των επεξεργασμένων λυμάτων από την εγκατάσταση. Δηλαδή, στη σηπτική δεξαμενή της εγκατάστασης επεξεργασίας δεν πραγματοποιείται καμιά απομάκρυνση των καθιζάνοντων στερεών, τα οποία παρασύρονται στα επόμενα στάδια. Η κατάσταση αυτή πιθανότατα οφείλεται στην κακή λειτουργία - συντήρηση της σηπτικής δεξαμενής (άδειασμα – απομάκρυνση των στερεών από τη βάση της). Κάτι που έχει ως αποτέλεσμα και τη μη ομαλή λειτουργία της μετέπειτα βιολογικής διεργασίας, κατά την είσοδο της Εισροής B στα χαλκίκοφιλτρα, όπου δεχόμενα μεγάλο φορτίο στερεών πιθανώς να εμποδίζεται το στάδιο της επεξεργασίας (κλείνουν οι πόροι του φίλτρου) και ανακυκλοφορίας.



Γράφημα 4.23: Τιμές συγκέντρωσης των Ολικών Στερεών για την εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.2.2 Ολικά Πτητικά Στερεά (TVS)

Τα ολικά πτητικά στερεά στην εισροή Α, σε συσχέτιση με τα ολικά στερεά, αποτελούν ένα ποσοστό που κυμαίνεται από 30 – 55%, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για την εισροή Β είναι από 10 – 50%. Στις μετρήσεις της εκροής το εύρος του ποσοστού αυτού κυμαίνεται από 15 – 40%.

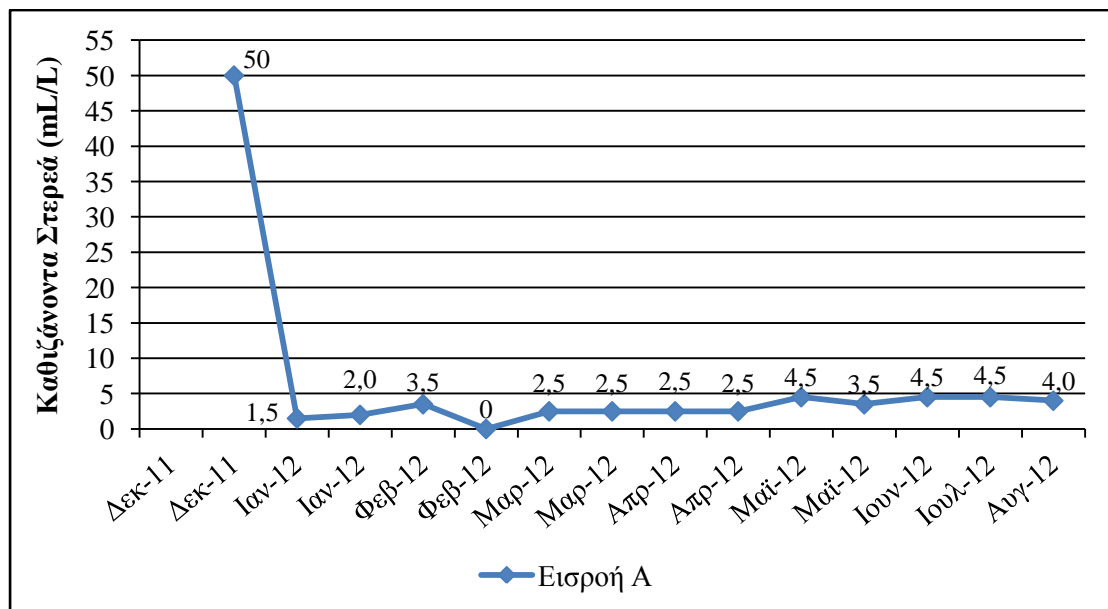


Γράφημα 4.24: Τιμές συγκέντρωσης των Ολικών Πτητικών Στερεών στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.2.3 Καθιζάνοντα Στερεά

Τα καθιζάνοντα στερεά μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στους υδάτινους αποδέκτες, γιατί είναι αδιάλυτες στερεές ουσίες που καθιζάνουν στον πυθμένα τους σε συνθήκες ηρεμίας.

Στο Γράφημα 4.25 αποτυπώνονται οι τιμές των καθιζανόντων στερεών της Εισροής Α, οι οποίες διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα με εξαίρεση αυτή του μήνα Δεκεμβρίου. Η τιμή αυτή μπορεί να οφείλεται στην ανάμειξη των αστικών λυμάτων με άλλου είδους απόβλητα, όπως για παράδειγμα υπολείμματα σταφυλιών που δημιουργούνται κατά την απόσταξη της τσικουδιάς.

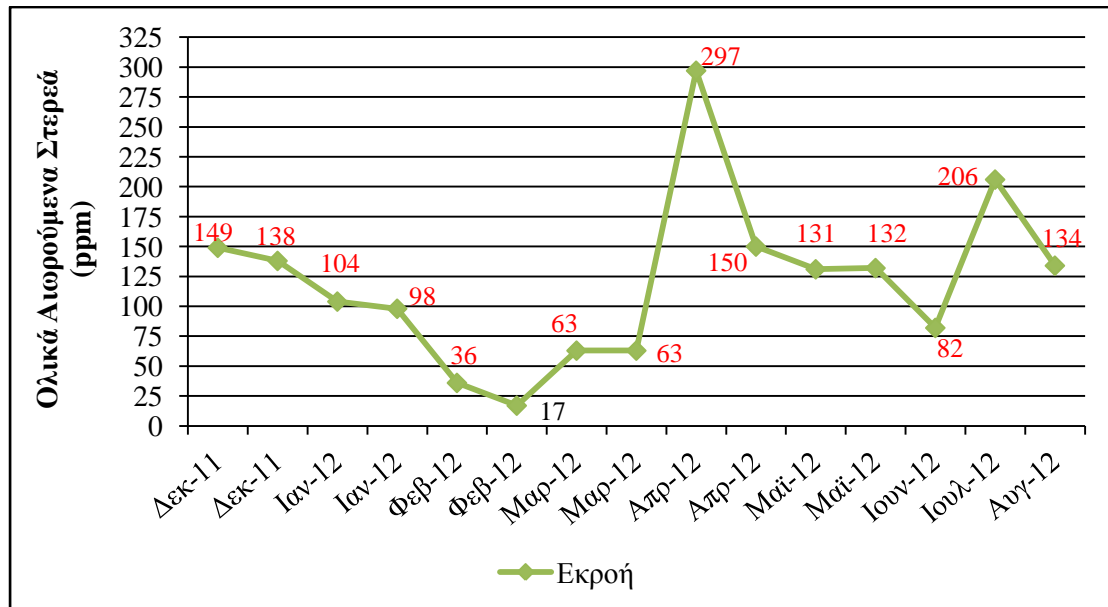


Γράφημα 4.25: Συγκεντρώσεις καθιζανόντων στερεών της Εισροής Α στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.2.4 Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (TSS)

Τα ολικά αιωρούμενα στερεά προκαλούν θολότητα στους υδάτινους αποδέκτες, γι' αυτό και χρειάζεται να απομακρύνονται. Σύμφωνα με τη νομοθεσία η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών (στο 80% των δειγμάτων) πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με 35 ppm, εάν οι επεξεργασμένες εκροές χρησιμοποιηθούν για περιορισμένη άρδευση, ενώ σε άλλες περιπτώσεις ακόμα μικρότερη.

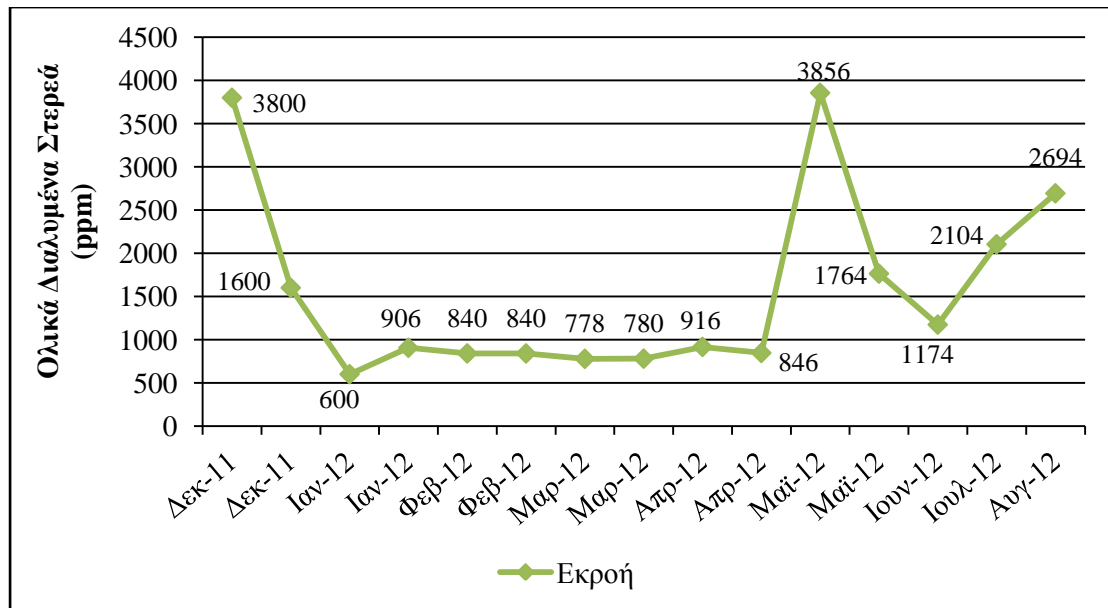
Στο Γράφημα 4.26 φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων στερεών είναι πολύ πιο υψηλές από το ανώτερο νομοθετικό όριο. Επομένως, η εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας στις Δαφνές δεν ενδείκνυται για άρδευση. Η χαμηλή συγκέντρωση που παρουσιάζεται το μήνα Φεβρουάριο, όπως άλλωστε παρατηρήθηκε και στο γράφημα της θολερότητας, πιθανότατα οφείλεται στην αραίωση των λυμάτων με όμβρια ύδατα, λόγω έντονων βροχοπτώσεων.



Γράφημα 4.26: Συγκεντρώσεις των Ολικών Αιωρούμενων Στερεών στην Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.2.5 Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ολικά διαλυμένα στερεά συνδέονται άμεσα με την αγωγιμότητα. Παρατηρώντας τα Γραφήματα 4.20 και 4.27 διαπιστώνεται η συσχέτιση αυτή, αφού διαπιστώνεται ότι οι καμπύλες τους ακολουθούν παρόμοια τάση. Οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων στερεών στην εκροή είναι πολύ υψηλές, γι' αυτό και η εκροή της συγκεκριμένης εγκατάστασης δεν είναι κατάλληλη για διάθεση σε υδάτινο αποδέκτη, πολύ περισσότερο δε για επαναχρησιμοποίηση.



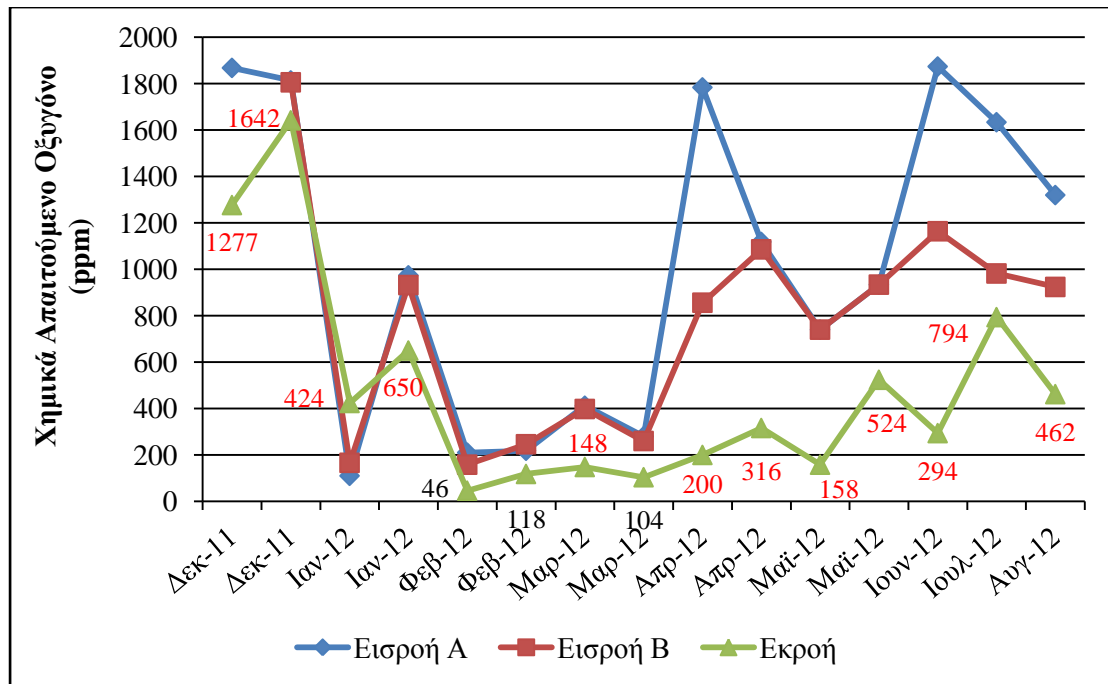
Γράφημα 4.27: Συγκεντρώσεις των Ολικών Διαλυμένων Στερεών στην Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.3 Χημικά Χαρακτηριστικά

4.3.3.1 Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο είναι το οξυγόνο που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση όλων των οργανικών ενώσεων προς σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα και νερού. Σύμφωνα με τη νομοθεσία, η τιμή του στις επεξεργασμένες εκροές χρειάζεται να είναι μικρότερη ή ίση με 125 ppm (στο 80% των δειγμάτων).

Στο Γράφημα 4.28, αρχικά, παρατηρούνται οι πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης του COD στα δείγματα της εκροής, γεγονός που τις καθιστά ακατάλληλες για διάθεση και επαναχρησιμοποίηση. Οι συγκεντρώσεις του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου τον πρώτο μήνα (Δεκέμβρης 2011) στις Εισροές Α, Β και την Εκροή είναι σχεδόν όμοιες, γεγονός που σημαίνει ότι είτε το οργανικό φορτίο δεν ήταν βιοαποικοδομήσιμο είτε δεν λειτουργούσαν σωστά τα βιολογικά φίλτρα. Βέβαια, παρόμοια κατάσταση παρατηρείται μέχρι και τις δειγματοληψίες του μήνα Μαρτίου, ενώ στη συνέχεια παρατηρείται μια μικρή αλλά όχι ικανοποιητική βελτίωση. Επίσης, από τον Απρίλιο και μετά, διαπιστώνεται αύξηση των τιμών του COD, πιθανότατα λόγω αύξησης του πληθυσμού κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι.

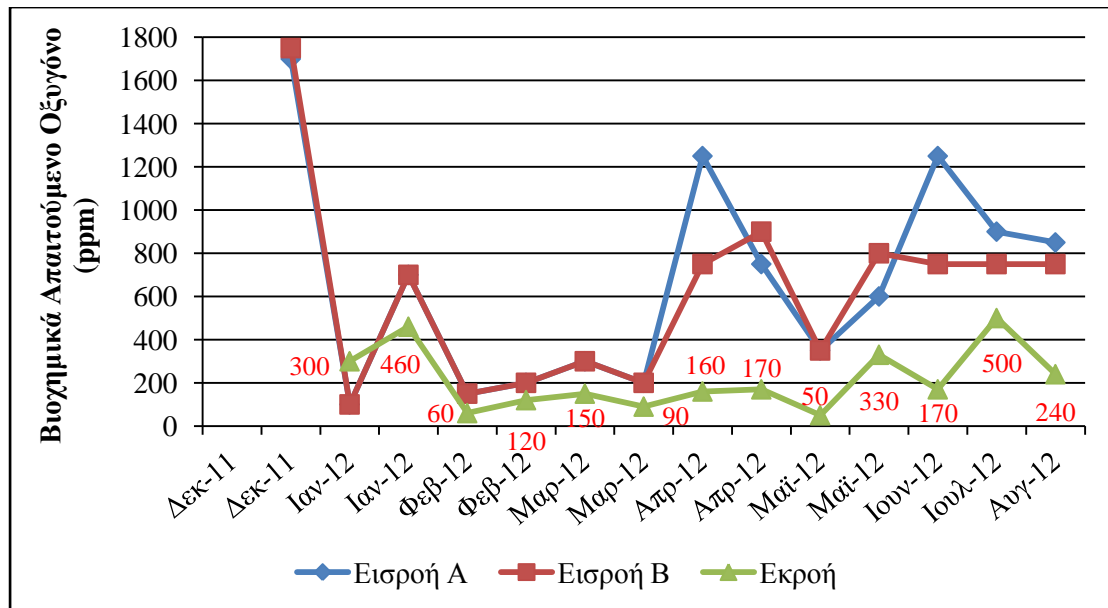


Γράφημα 4.28: Συγκεντρώσεις του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.3.2 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Το ανώτατο όριο του BOD₅ που έχει θεσπιστεί νομικά είναι 25 ppm (στο 80% των δειγμάτων) και αφορά τη χρησιμοποίηση της εκροής για περιορισμένη άρδευση.

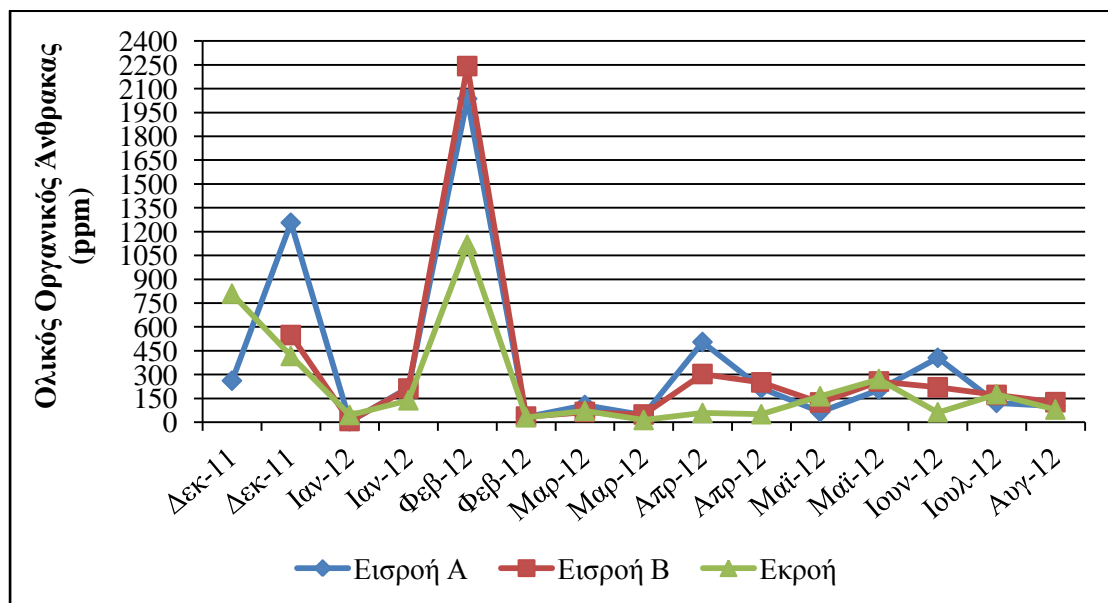
Από το Γράφημα 4.29 διαπιστώνεται ότι τους πρώτους μήνες (μέχρι και το Μάρτιο) η απομάκρυνση του BOD₅ δεν είναι καθόλου ικανοποιητική. Δηλαδή, φαίνεται για άλλη μια φορά ότι τα βιολογικά φίλτρα δεν λειτουργούσαν σωστά εκείνη την περίοδο. Στους επόμενους μήνες το ποσοστό της απομάκρυνσης του βιοαποικοδομήσιμου οργανικού φορτίου αυξάνεται, παρόλο που οι συγκεντρώσεις του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου στην εκροή δεν είναι σε καμιά περίπτωση κατάλληλες για διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση.



Γράφημα 4.29: Συγκεντρώσεις του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.3.3 Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Σύμφωνα με το Γράφημα 4.30, οι τιμές συγκέντρωσης του ολικού οργανικού άνθρακα μέχρι και τον Φεβρουάριο έχουν έντονες διακυμάνσεις, ενώ στη συνέχεια η καμπύλη των τιμών αποκτά μια πιο ομαλή τάση.

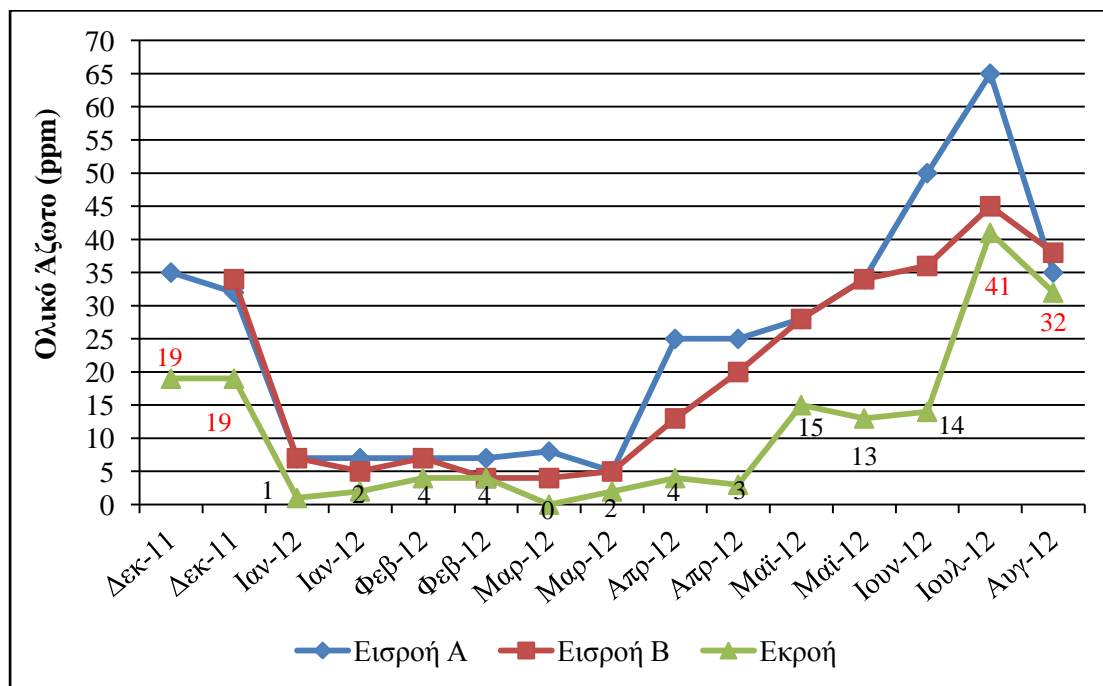


Γράφημα 4.30: Συγκέντρωση του Ολικού Οργανικού Άνθρακα στις Εισροές A, B και στην Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.3.4 Ολικό Άζωτο (T(N))

Σύμφωνα με τα όρια που έχει θεσπίσει η νομοθεσία οι συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 45 ppm, με εξαίρεση όμως τις περιπτώσεις που γίνεται μακρά διάρκεια αποθήκευση των λυμάτων σε ταμιευτήρες, άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορύπανση ζωνών ή εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα, που οι μέσες συγκεντρώσεις του αζώτου δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 15 ppm.

Από το Γράφημα 4.31 διαπιστώνεται ότι ποσοστό 73% των δειγμάτων στην έξοδο διατηρούν χαμηλές συγκεντρώσεις αζώτου, δηλαδή κάτω από 15 ppm, ενώ συγχρόνως το 100% των δειγμάτων δε ξεπερνά το ανώτατο όριο συγκέντρωσης των 45 ppm. Παρατηρώντας επίσης το γράφημα φαίνεται αισθητά η βαθμιαία μείωση της συγκέντρωσης του αζώτου στα 2 επιμέρους στάδια επεξεργασίας, ειδικά από τον Μάρτιο και μετά. Επίσης, για άλλη μια φορά διαπιστώνεται η μη ικανοποιητική λειτουργία της σηπτικής δεξαμενής, αφού δεν παρατηρείται μείωση του ολικού αζώτου από την Εισροή Α στην Εισροή Β, όπως θα αναμενόταν.

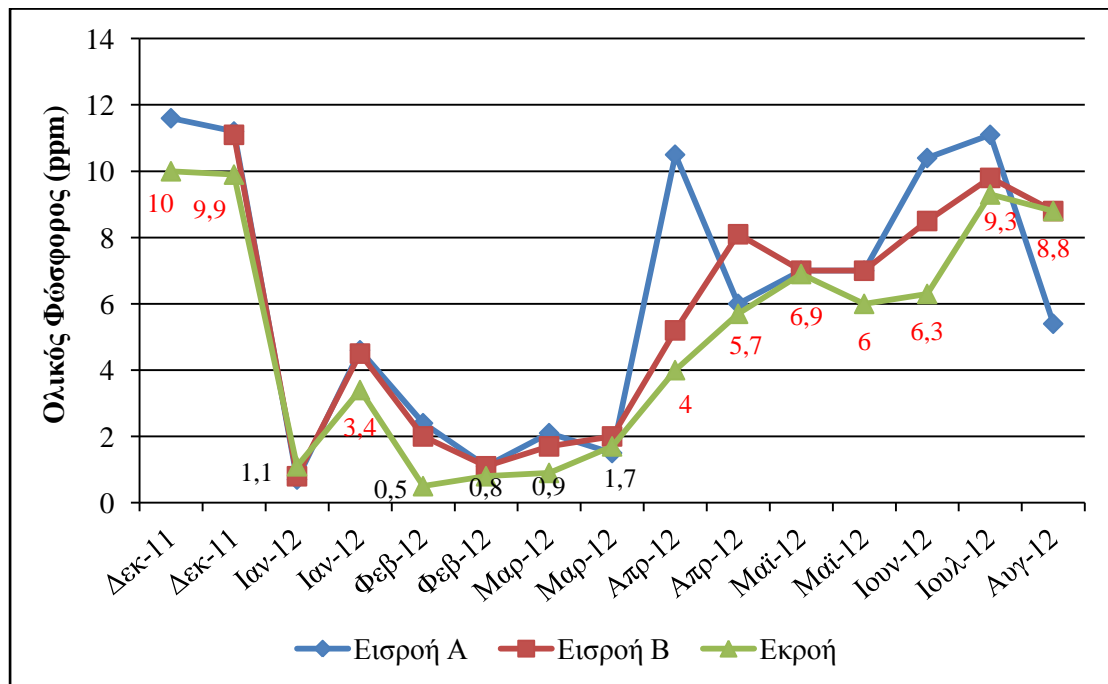


Γράφημα 4.31: Συγκέντρωση του Ολικού Αζώτου στις Εισροές Α, Β και την Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.3.5 Ολικός Φώσφορος (T(P))

Η ανώτατη τιμή του ολικού φωσφόρου για τη διάθεση και επαναχρησιμοποίηση των εκροών είναι τα 2 ppm.

Σύμφωνα με το Γράφημα 4.32, διαπιστώνεται ότι οι καμπύλες των τιμών του ολικού φωσφόρου στις Εισροές Α, Β και την Εκροή είναι σχεδόν ταυτόσημες. Δηλαδή, δεν πραγματοποιείται καμιά ιδιαίτερη απομάκρυνση του ολικού φωσφόρου κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα η τιμή του ολικού φωσφόρου της εξόδου των λυμάτων από την εγκατάσταση είναι μεγαλύτερη από την είσοδο σε αυτήν, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται σε σφάλμα κατά τη δειγματοληψία. Επίσης, παρατηρείται αύξηση των τιμών του ολικού φωσφόρου τους μήνες της άνοιξης και του καλοκαιριού.



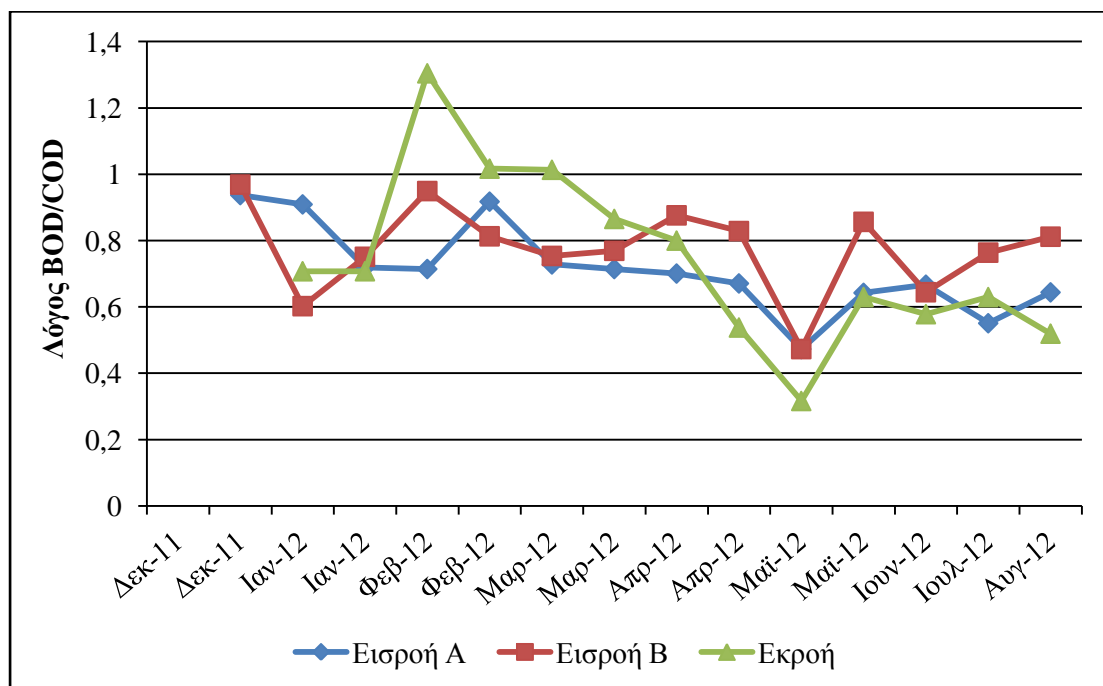
Γράφημα 4.32: Συγκέντρωση του Ολικού Φωσφόρου στις Εισροές Α, Β και την Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.3.6 Λόγοι BOD/COD & BOD/TOC

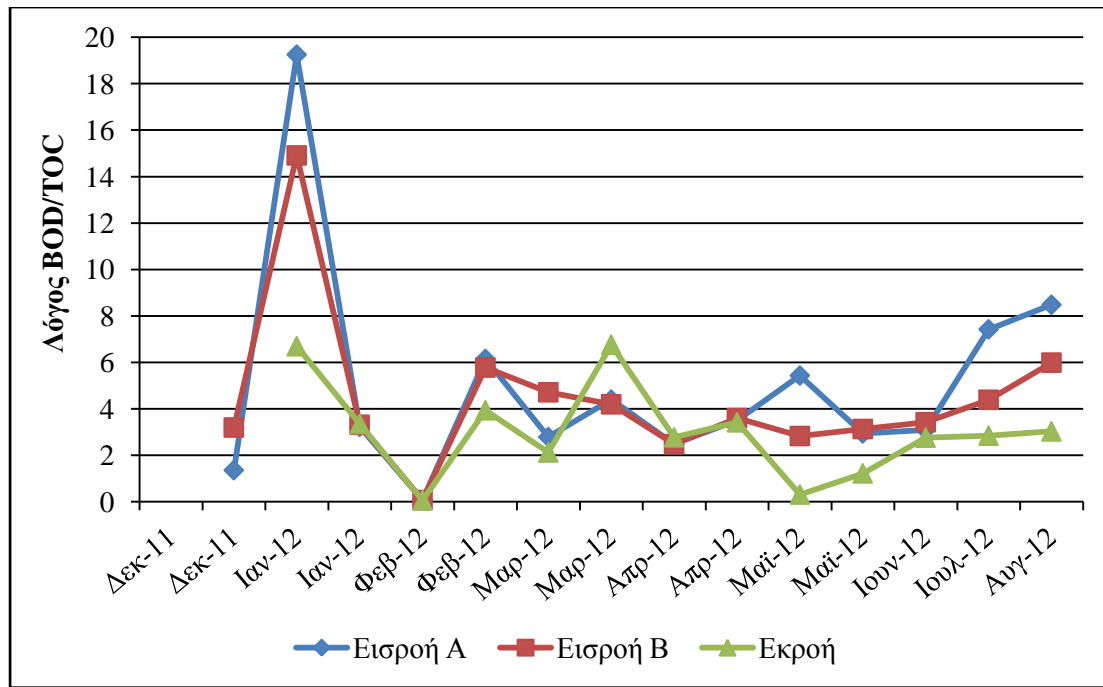
Οι λόγοι BOD/COD και BOD/TOC δίνουν περισσότερα στοιχεία για την ποιότητα των λυμάτων, τα οποία δεν παρέχονται από την εξέταση των επιμέρους ποιοτικών χημικών παραμέτρων.

Συγκεκριμένα, όσο η τιμή του λόγου BOD/COD είναι πιο κοντά στη μονάδα τόσο τα λύματα μπορούν να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Από το Γράφημα 4.33, διαπιστώνεται ότι οι τιμές του λόγου στην εισροή A κυμαίνονται από 0,5 έως 0,9, οι οποίες είναι σύμφωνες με τη βιβλιογραφία, ενώ οι τιμές του λόγου στην εκροή είναι πάνω από το ανώτατο όριο των 0,3.

Οι τιμές του λόγου BOD/TOC (Γράφημα 4.34) είναι πολύ πιο υψηλές από αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία (για τα ανεπεξεργαστα λύματα 1,2-2,0 και για την τελική εκροή 0,2-0,5). Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών του λόγου στην εκροή είναι πάνω από το σημείο 0,6.



Γράφημα 4.33: Λόγος BOD/COD στις Εισροές A, B και την Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.



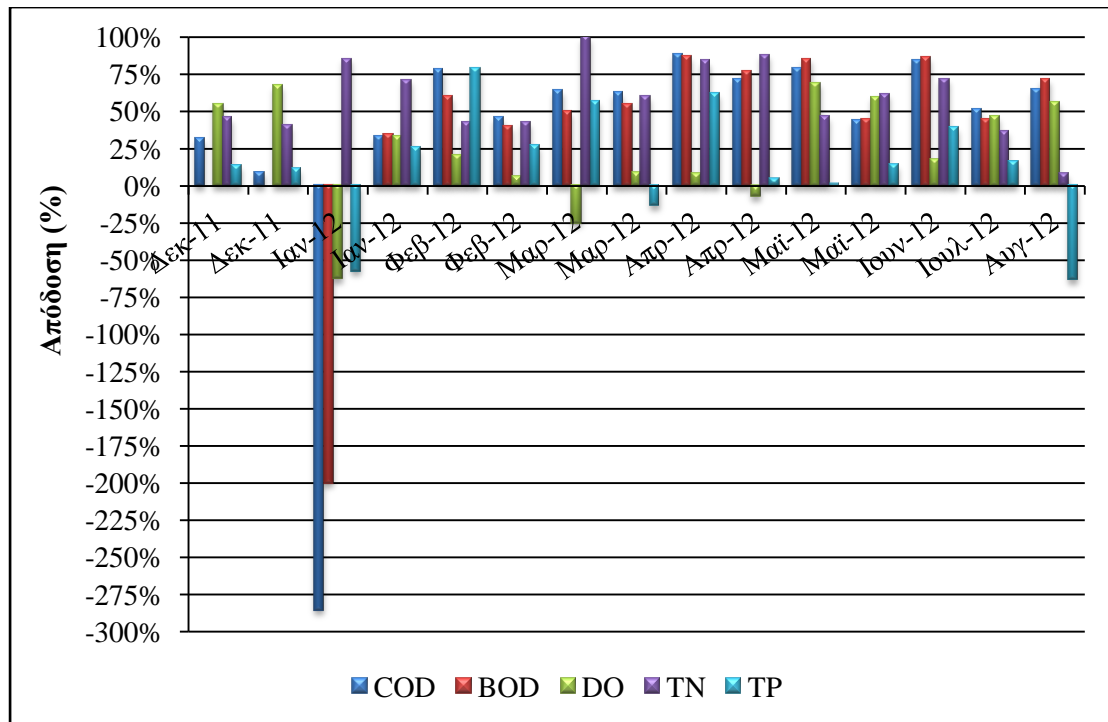
Γράφημα 4.34: Λόγος BOD/TOC στις Εισροές A, B και την Εκροή της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.4 Αξιολόγηση Εγκατάστασης

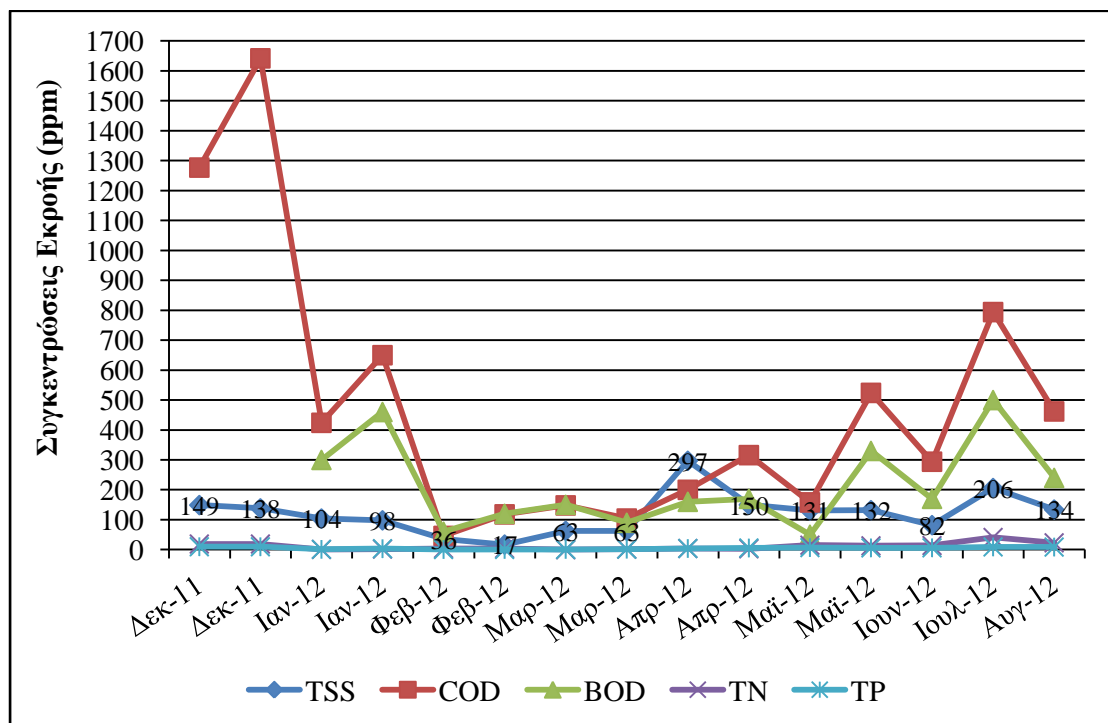
4.3.4.1 Απόδοση Εγκατάστασης

Ολοκληρώνοντας την εξέταση της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές, στο Γράφημα 4.35 παρουσιάζονται συνοπτικά τα ποσοστά απομάκρυνσης των σημαντικότερων ποιοτικών παραμέτρων.

Συγκεκριμένα, το ποσοστό απομάκρυνσης του Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου κυμαίνεται από 30–88%, ενώ το μήνα Ιανουάριο παίρνει ακόμα και αρνητική τιμή. Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο ακολουθεί μια αντίστοιχη διακύμανση του ποσοστού απομάκρυνσής του, με μέγιστη τιμή το 87% και ελάχιστη το -200%. Όσον αφορά τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου διατηρείται σε χαμηλά ποσοστά αύξησης, γεγονός που αποδεικνύεται και από τις υψηλές τιμές της εκροής, που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Επίσης, δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη απομάκρυνση του ολικού φωσφόρου, μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις το ποσοστό απομάκρυνσης είναι αρνητικό, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά απομάκρυνσης του ολικού αζώτου είναι πολύ υψηλά, αλλά αυτό ίσως να οφείλεται και στα δείγματα εισροής, τα οποία για το μεγαλύτερο διάστημα μελέτης έχουν και αυτά χαμηλή συγκέντρωση.



Γράφημα 4.35: Απόδοση (%) της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.



Γράφημα 4.36: Τιμές συγκέντρωσης της Εκροής για πέντε παραμέτρους ποιότητας στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στον οικισμό Δαφνές.

4.3.4.2 Επαναχρησιμοποίηση Εκροής

Σύμφωνα, με την ανάλυση των επιμέρους ποιοτικών παραμέτρων, που πραγματοποιήθηκε στις παραπάνω ενότητες, και λαμβάνοντας υπόψη το παρακάτω συγκεντρωτικό γράφημα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εκροή των επεξεργασμένων λυμάτων στην εγκατάσταση επεξεργασίας των Δαφνών δεν είναι κατάλληλη για διάθεση ή/ και επαναχρησιμοποίηση. Όλες οι συγκεντρώσεις των ποιοτικών παραμέτρων που εξετάστηκαν ξεπερνούν κατά πολύ τα ανώτατα επιτρεπτά νομοθετικά όρια. Εξαιρούνται μόνο οι τιμές της συγκέντρωσης του ολικού αζώτου, που όπως έχει ήδη αναφερθεί κυμαίνονται μέσα στα επιτρεπτά όρια.

4.4 Σύγκριση των δυο Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και στους δυο οικισμούς σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τον ίδιο ισοδύναμο πληθυσμό (χειμώνας: 1600 κάτοικοι, καλοκαίρι: 1800 κάτοικοι), οπότε και αναφέρονται σε παρόμοιες παροχές λυμάτων.

Σύμφωνα με την ανάλυση των διαφόρων παραμέτρων των λυμάτων της κάθε μιας εγκατάστασης ξεχωριστά, που παρουσιάστηκαν στις παραπάνω ενότητες, καθώς και από την επιτόπια παρακολούθηση των εγκαταστάσεων αυτών καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στους οικισμούς Βούτες και Σταυράκια λειτουργεί πολύ καλύτερα από αυτή στον οικισμό Δαφνές. Η πρώτη εγκατάσταση λειτουργεί ομαλά με τα αναμενόμενα προβλήματα σε περιόδους αύξησης φορτίου προς επεξεργασία, και με εκροή ικανοποιητική σε γενικές γραμμές επομένως κατάλληλη για άρδευση υπό μικρούς περιορισμούς. Τα συμπεράσματα αυτά δεν ισχύουν σε καμιά περίπτωση για την δεύτερη εγκατάσταση στις Δαφνές, όπου εκεί τα αποτελέσματα δείχνουν ότι παρόλο που το εισερχόμενο φορτίο είναι βιοαποικοδομήσιμο η μονάδα δεν λειτουργεί για να φέρει τις ανάλογες αποδόσεις. Αυτό μπορεί να οφείλεται μόνο σε προβλήματα στη σηπτική δεξαμενή, η συνολικά στη λειτουργία της εγκατάστασης.

Όπως έχει αναφερθεί, οι παροχές των δύο εγκαταστάσεων κινούνται στα ίδια περίπου επίπεδα, επομένως η αποτυχία επεξεργασίας των λυμάτων της εγκατάστασης στις Δαφνές δεν είναι δυνατό να στηριχθεί σε υψηλότερες παροχές. Βέβαια, υπάρχει

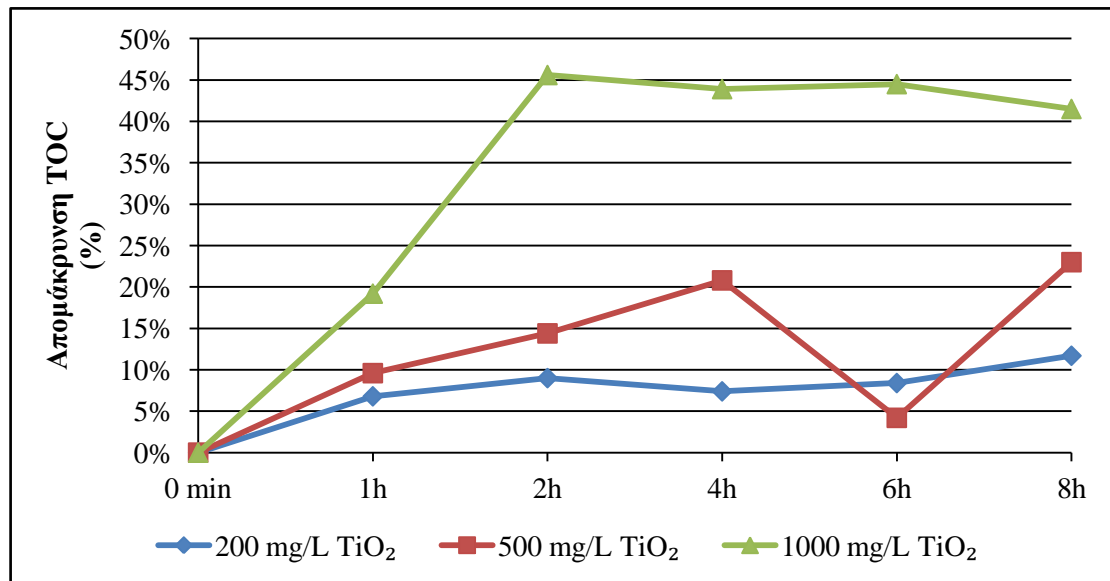
η υποψία ότι τα αστικά απόβλητα αναμιγνύονταν με άλλης φύσεως απόβλητα, οπότε και το οργανικό φορτίο ήταν πιο επιβαρυνμένο και δύσκολα βιοαποικοδομήσιμο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα επίσης και την δημιουργία διαφόρων τεχνικών προβλημάτων (φράξιμο της σηπτικής δεξαμενής, φράξιμο των μπεκ διασποράς των λυμάτων στα χαλκικόφιλτρα κ.τ.λ.), που δεν μπορούσαν να επιλυθούν άμεσα.

4.5 Ετερογενής Φωτοκατάλυση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ετερογενής φωτοκατάλυση χρησιμοποιείται για τη διάσπαση των δύσκολα βιοαποικοδομήσιμων ενώσεων, ως πρώτο στάδιο κυρίως σε βιομηχανικά απόβλητα. Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια χρησιμοποίησης της συγκεκριμένης μεθόδου, ως μέθοδο προ-επεξεργασίας, σε αστικά απόβλητα επιβαρυνμένα με άλλης φύσεως προσμίξεις (π.χ. φυτοφάρμακα, υπολείμματα από την επεξεργασία τσικουδιάς), οι οποίες δυσχεραίνουν τη βιολογική επεξεργασία τους. Η λογική έγκειται στη διάσπαση των μεγαλομοριακών οργανικών ενώσεων, φωτοκαταλυτικά, σε μικρότερες, πιο εύκολα βιοδιασπάσιμες για μετέπειτα βιολογική επεξεργασία.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής έγινε μια προσπάθεια εφαρμογής της φωτοκαταλυτικής επεξεργασίας σε δείγματα από την Εισροή Β της πρώτης εγκατάστασης (Σταυράκια- Βούτες) που έδειξε πως λειτουργεί ομαλά. Στο Γράφημα 4.37 παρουσιάζεται το ποσοστό απομάκρυνσης του ολικού οργανικού άνθρακα κατά τη διάρκεια του πειράματος της ετερογενούς φωτοκατάλυσης σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις καταλύτη, που δοκιμάστηκαν. Συγκεκριμένα, σε συγκέντρωση καταλύτη 200 mg/L και 500 mg/L παρατηρείται μια ελάχιστη –σχεδόν αμελητέα μείωση του ολικού οργανικού άνθρακα μετά το πέρας των οκτώ ωρών του πειράματος, που μπορεί να συμπίπτει με το όριο του σφάλματος. Αντιθέτως, σε συγκέντρωση καταλύτη 1000 mg/L, το TOC μειώθηκε κατά 42%, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και με τη μέτρηση του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου μετά το πέρας των οκτώ ωρών. Ως μια πρώτη προσπάθεια χρησιμοποίησης της φωτοκαταλυτικής διαδικασίας στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων τα αποτελέσματα αυτά κρίνονται ικανοποιητικά. Απαιτείται βέβαια περαιτέρω μελέτη παραμέτρων για την αύξηση της απόδοσης της διεργασίας αυτής. Η επιτυχής συγχώνευση της φωτοκαταλυτικής τεχνολογίας σε στάδιο προ-επεξεργασίας ενδέχεται να είναι σημαντική για την

μετέπειτα άνευ προβλημάτων βιολογική αποδόμηση των επιβαρυνμένων οργανικών λυμάτων.



Γράφημα 4.37: Ποσοστό απομάκρυνσης του Ολικού Οργανικού Άνθρακα σε δείγματα λυμάτων της εισροής Β από την εγκατάσταση στους οικισμούς Σταυράκια και Βούτες, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος της ετερογενούς φωτοκατάλυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων που ελήφθησαν από τις υπό μελέτη εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στους οικισμούς Σταυράκια - Βούτες και Δαφνές και τα όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια συνοψίζονται στα παρακάτω συμπεράσματα.

Αρχικά, για την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στους οικισμούς Σταυράκια – Βούτες καταλήξαμε στα εξής:

- Η συγκεκριμένη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων παρουσιάζει ομαλή λειτουργία. Κρίνεται αρκετά ικανοποιητική σε ότι αφορά την απομάκρυνση των διαφόρων ρυπαντών, δίνοντας κατά γενική εικόνα εκροές επεξεργασμένων λυμάτων, εντός των ορίων που έχουν τεθεί από τη νομοθεσία, ώστε να είναι κατάλληλες για διάθεση και επαναχρησιμοποίηση για περιορισμένη και υπό όρους απεριόριστη άρδευση, κάτι πολύ σημαντικό για μικρούς αγροτικούς οικισμούς.
- Παρατηρείται σωστή λειτουργία της σηπτικής δεξαμενής απομακρύνοντας ικανοποιητικά τα στερεά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα ώστε να μην παρεμποδίζεται το στάδιο βιολογικής επεξεργασίας.
- Ανεξαρτήτως της αυξημένης και επιβαρυνμένης παροχής των λυμάτων κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, πραγματοποιείται ικανοποιητικότερη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου (BOD₅, COD) με ποσοστό που αγγίζει το 100%.
- Επίσης, διαπιστώνεται ικανοποιητική απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου, με μικρές διακυμάνσεις τους θερινούς μήνες.
- Η ετερογενής φωτοκατάλυση εφαρμόστηκε στην εγκατάσταση αυτή, λόγω της ομαλότητας στην γενικότερη λειτουργία της, και έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε συγκέντρωση καταλύτη 1000 mg/L, με ποσοστό απομάκρυνσης του Ολικού Οργανικού Άνθρακα (TOC) στα

δείγματα εισροής της τάξης του 42%, το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί με επιτυχία σαν στάδιο προεπεξεργασίας των αστικών αποβλήτων, ώστε να είναι πιο αποδοτική η μετέπειτα βιολογική διεργασία αποικοδόμησης του εναπομείναντος βιοαποικοδομήσιμου πλέον οργανικού φορτίου στις μονάδες δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.

Αξιολογώντας εν συνεχεία την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στον οικισμό Δαφνές οδηγούμαστε στα εξής συμπεράσματα:

- Η συνολική εικόνα αυτής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων δεν είναι και τόσο θετική. Οι τιμές των παραμέτρων που μετρήθηκαν στα δείγματα των επεξεργασμένων εκροών είναι αρκετά μεγαλύτερες από τα αντίστοιχα νομοθετικά όρια, γεγονός που δεν τις καθιστά κατάλληλες για διάθεση, πόσο μάλλον επαναχρησιμοποίηση.
- Παρατηρείται αμελητέα ή μηδενική απομάκρυνση των στερεών στα διάφορα στάδια επεξεργασίας λυμάτων, που οφείλεται κυρίως στην κακή λειτουργία της σηπτικής δεξαμενής αλλά και στη συνέχεια της βιολογικής επεξεργασίας.
- Επίσης, δεν διαπιστώνεται ικανοποιητική απομάκρυνση του οργανικού φορτίου με τα ποσοστά απόδοσης να διατηρούνται σε χαμηλό επίπεδο.
- Οι ποσότητες του αζώτου και του φωσφόρου φαίνεται να είναι αυξημένες στην Εισροή τους ανοιξιάτικους και καλοκαιρινούς μήνες χωρίς να παρατηρείται ιδιαίτερη απομάκρυνσή τους στα διάφορα στάδια επεξεργασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αγγελάκης, Α. Ν. και Γ. Τσομπάνογλου (1995). «Υγρά Απόβλητα- Φυσικά Συστήματα Επεξεργασίας και Ανάκτηση, Επαναχρησιμοποίηση και Διάθεση Εκροών», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο Κρήτης.

Ανδρεαδάκης, Α. (1989). «Βιολογικά Φίλτρα- Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων», ΔΜΠΣ 'Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Asano, T. and A.D. Levine (1996). «*Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future*», Water Science & Technology, vol.33 no 10-11.

Augugliaro, V., V. Loddo and M. Schiavello (1997). «*Heterogeneous Photocatalytic Reactors: An assessment of Fundamental Engineering Aspects*», Heterogeneous Photocatalysis, vol.3, Wiley & Sons.

Bdour, N. A., R. M. Hambi and Z. Tarawneh (2009). «*Perspectives on Sustainable Wastewater Treatment Technologies and Reuse options in the Urban areas of the Mediterranean region*», Desalination 237, Hashemite University, Jordan.

Brindle, K. and T. Stephenson (1996). «*The Application of Membrane Biological Reactors for the Treatment of wastewaters*», Biotechnology and Bioengineering, vol.54, no 7.

Γεωργάκη, Ε. (2007). «*Έλεγχος Ποιότητας Περιβαλλοντικών Παραμέτρων σε Νερά και Υγρά Απόβλητα*», Σχολή ΣΤΕΦ, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο.

Chong, M. N., B. Jin, C. W. K. Chow and C. Saint (2010). «*Recent Developments in Photocatalytic Water Treatment Technology: A review*», Water Research, vol.44, p.2997-3027.

Cicek, N., J. P. Franco, M. T. Suidan and V. Urbain (1998). «*Using a Membrane Bioreactor to Reclaim Wastewater*», Journal of American Water Works Association, vol.76, p.356.

Crites, R. and G. Tchobanoglous (1998). «Small and Decentralized Wastewater Management Systems», McGraw-Hill.

Διαλυνάς, Γ. και Γ. Ρουκουνάκης (2001). «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων: Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας – Διάθεσης Λυμάτων περιοχής Βουτών – Σταυρακίων», Ηράκλειο.

Διαλυνάς, Γ. και Γ. Ρουκουνάκης (2001). «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων: Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας – Διάθεσης Λυμάτων περιοχής Δαφνών», Ηράκλειο.

Eaton, A. D., L. S. Clesceri and A. E. Greenberg (1995). «Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater», American Public Health Association, 19th edition, Washington, DC.

ΕΛΟΤ 174, «Ποιότητα Νερού - Χημικώς Απαιτούμενου Οξυγόνου- Μέθοδος Διχρωμικού», Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Αθήνα.

ΕΛΟΤ 357, «Ποιότητα Νερού - Προσδιορισμός του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου», Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Αθήνα.

ΕΛΟΤ 608, «Ποιότητα Νερού - Καθιζάνοντα Στερεά», Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Αθήνα

ΕΛΟΤ 610, «Ποιότητα Νερού- Προσδιορισμός Ολικού Αδιήθητου Υπολείμματος», Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Αθήνα

ΕΛΟΤ 659, «Ποιότητα Νερού- Προσδιορισμός της Θολότητας- Νεφελομετρική Μέθοδος», Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Αθήνα.

Fogler, H. S. (1999). «Elements of Chemical Reaction Engineering: Chapter 10: Catalysis and Catalytic Reactors», Prentice- Hall.

Hammer, M. J. (1986). «Water and Wastewater Technology», Prentice Hall, 2nd Edition, New York.

Herrmann, J. M. (1999). «Heterogenous Photocatalysis: Fundamentals and Applications to the Removal of Various Types of Aqueous Pollutants», Catalysis Today, vol.53, p.115-129.

Howard, M. (1999). «*Rutile Paramorphs after Brookite and Rutile Twins from Magnet Cove, Arkansas*», Rocks & Minerals.

J. van Lier, P. Seeman and G. Lettinga (1998). «*Decentralized Urban Sanitation Concepts: Perspectives for Reduced Water Consumption and Wastewater Reclamation for Reuse*», EP&RC Foundation, Sub-Department of Environmental Technology, Agricultural University, Wageningen.

Konstantinou, I. K. and T. A. Albanis (2004). «*TiO₂- Assisted Photocatalytic Degradation of Azo Dyes in Aqueous Solution: Kinetic and Mechanistic Investigations: A review*», Applied Catalysis B: Environmental, vol.49, p.1-14.

ΚΥΑ 5673/400, ΦΕΚ 192B/ 14.03.1997. «*Μέτρα και Όροι για την Επεξεργασία Λυμάτων*».

ΚΥΑ 145116, ΦΕΚ 354B/ 08.03.2011. «*Καθορισμός Μέτρων, Όρων και Διαδικασιών για την Επαναχρησιμοποίηση Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων και άλλες διατάξεις*».

Λοϊζίδου, Μ. (2006). «*Σημειώσεις Υγρών Αποβλήτων*», Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μανιός, Θ. (2003). «*Φωτοκαταλυτική Απολύμανση Δευτεροβάθμια Επεξεργασμένων Αστικών Υγρών Αποβλήτων*», Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο.

Metcalf & Eddy (1991). «*Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*», McGraw-Hill.

Mills, A. and S. L. Hunte (1997). «*An overview of semiconductor photocatalysis*», Journal of Photochemistry & Photobiology A, vol.108, p.1-35.

Μιχαηλίδης, Μ. (2009). «*Μελέτη της Φωτοκαταλυτικής Δράσης Νανοσκοπικών Κόνεων Οξειδίου του Ψευδαργύρου (ZnO) και Διοξειδίου του Τιτανίου (TiO₂)*», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Χημείας, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο.

Νταρακάς, Ε. (2010). «*Διεργασίες Επεξεργασίας Νερού και Υγρών Αποβλήτων*», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Nhapi, I. (2004). «*A Framework for the Decentralised management of Wastewater in Zimbabwe*», Physics and Chemistry of the Earth, vol.33, p.1265-1273.

Palmisano, L. and A. Sclafani (1997). «*Thermodynamics and Kinetics for Heterogeneous Photocatalytic Processes*», Heterogeneous Photocatalysis, vol.3, Wiley & Sons.

Παρανυχιανάκης, Ν., Ο. Κοτσελίδου, Ε. Βαρδάκου και Α. Αγγελάκης (2009). «*Οδηγίες Ανακύκλωσης Επεξεργασμένων Εκροών Αστικών Υγρών Αποβλήτων στην Ελλάδα*», Κεντρική Ένωση Δήμων και Κοινοτήτων- Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης, Λάρισα.

Pekakis, P. A., N. P. Xekoukoulotakis and D. Mantzavinos (2006). «*Treatment of Textile Dyehouse Wastewater by TiO₂ Photocatalysis*», Water Research, vol.40, p.1276-1286.

Πούλιος, Ι. (2004). «*Ετερογενής Φωτοκαταλυτική και Φωτοηλεκτροκαταλυτική Αποικοδόμηση Ρύπων*», Εργαστήριο Φυσικής- Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Προχάσκα, Α. Χ. (2005). «*Μελέτη της Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων με χρήση Φυσικών Συστημάτων*», Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.

Ragsdale and Associates: Training Specialists, LLC (1994). «*Wastewater Treatment Operator's Manual- Secondary Treatment- Fixed Media Processes*», Chapter 7, Albuquerque, New Mexico.

Reed, S. C., R. W. Crites and E. J. Middlebrooks (1995). «*Natural systems for Waste Management and Treatment*», McGraw-Hill, New York.

Στάμου, Α. Ι. (2004). «*Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών Αποβλήτων*», 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Tchobanoglous, G. (1995). «*Decentralized Systems for Wastewater Management*», Presented at the Water Environment Association of Ontario Annual Conference, Toronto, Canada.

Tchobanoglous, G. and E. D. Schroeder (1985). «*Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification*», Addison-Wesley, Reading.

Tchobanoglous, G., F. L. Burton and H. D. Stensel (2006). «*Μηχανική Υγρών Αποβλήτων- Επεξεργασία και Επαναχρησιμοποίηση*», 4^η Έκδοση, Metcalf & Eddy Inc, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Trussell, R.S., S. Adham, P. Garliarado, R. Merlo and R. R. Trussell (2000). «*WERF: Application of MBR Technology for Wastewater Treatment*», Proceedings of the 73d Annual Water Environment Federation Conference, Anaheim, CA.

Tsagarakis, K.P., G. E. Dialynas and A. N. Angelakis (2004). «*Water Resources Management in Crete (Greece) including Water Recycling and Reuse and proposed quality criteria*», Agricultural Water Management, vol.66, p.35-47.

U.S. EPA (1988). U.S. Environmental Protection Agency. «*Design Manual for Constructed and Floating Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*», EPA/625/I-88/022, US EPA Office of Water, Cincinnati.

U.S. EPA (2000). U.S. Environmental Protection Agency. «*Wastewater Technology: Free Water Surface Wetlands*», EPA/832/F-00/024, US EPA Office of Water, Washington DC.

U.S. EPA (2000). U.S. Environmental Protection Agency. «*Wastewater Technology: Trickling Filters*», EPA/832/F-00/014, US EPA Office of Water, Washington DC.

U.S. EPA (2002). U.S. Environmental Protection Agency. «*Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*», EPA/625/R-00/008, US EPA Office of Water, Washington DC.

U.S. EPA (2004). U.S. Environmental Protection Agency. «*Guidelines for Water Reuse*», EPA/625/R-04/108, US EPA Office of Water, Washington DC.

Van Dijk, L. and G. C. G. Roncken (1997). «*Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment: The State of the Art and New Developments*», Water Science and Technology, vol.35, p.53.

Υ.Π.Ε.Κ.Α. (2012). «*Κείμενο Κατευθυντήριων Γραμμών για τη Διαχείριση Λυμάτων Μικρών Οικισμών*», Ειδική Γραμματεία Υδάτων- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Ι: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων της Εισροής Α, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων-Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψία</i>	<i>Παράμετροι</i>		
		<i>pH</i>	<i>Αγωγιμότητα (mS/cm)</i>	<i>D.O (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	7,23	1,429	1,74
	2 ^η	7,56	1,748	2,14
Ιανουάριος 2012	1 ^η	7,71	1,027	2,48
	2 ^η	8,20	1,307	3,60
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	7,73	1,133	1,94
	2 ^η	7,58	1,992	2,77
Μάρτιος 2012	1 ^η	8,60	1,858	1,45
	2 ^η	7,30	1,264	2,03
Απρίλιος 2012	1 ^η	6,50	1,720	2,20
	2 ^η	6,80	2,300	3,10
Μάιος 2012	1 ^η	6,70	1,750	1,20
	2 ^η	6,50	1,950	1,30
Ιούνιος 2012	1 ^η	6,70	1,373	1,25
Ιούλιος 2012	1 ^η	6,50	1,720	2,05
Αύγουστος 2012	1 ^η	6,50	1,850	1,30

Πίνακας II: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων- Στερεών Ουσιών της Εισροής Α, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων- Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψία</i>	<i>Παράμετροι</i>		
		<i>Ολικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Πτητικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Καθιζάνοντα Στερεά (mL/L)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	1200	1000	8
	2 ^η	1000	400	-
Ιανουάριος 2012	1 ^η	1000	600	6,5
	2 ^η	1050	674	3,5
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	734	346	2
	2 ^η	1052	352	2
Μάρτιος 2012	1 ^η	1606	842	14
	2 ^η	972	392	14
Απρίλιος 2012	1 ^η	2098	1432	450
	2 ^η	2178	1512	450
Μάιος 2012	1 ^η	2090	1420	300
	2 ^η	2110	1208	400
Ιούνιος 2012	1 ^η	3338	2288	450
Ιούλιος 2012	1 ^η	2072	1102	400
Αύγουστος 2012	1 ^η	2090	1180	400

Πίνακας III: Αποτελέσματα μετρήσεων Χημικών Παραμέτρων της Εισροής Α, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων-Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψία</i>	<i>Παράμετροι</i>				
		<i>COD (ppm)</i>	<i>BOD (ppm)</i>	<i>TOC (ppm)</i>	<i>TN (ppm)</i>	<i>TP (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	1396	960	403,7058	23	10,8
	2 ^η	630	360	121,056	46	9,8
Ιανουάριος 2012	1 ^η	710	420	34,97	34	7,6
	2 ^η	968	580	136,032	46	9,8
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	572	440	73,32	21	7,8
	2 ^η	440	260	75,50	13	0,4
Μάρτιος 2012	1 ^η	1348	780	153	71	11,1
	2 ^η	720	420	127,225	48	10,6
Απρίλιος 2012	1 ^η	1992	1650	478,80	77	24,8
	2 ^η	1984	1700	432,50	82	25,6
Μάιος 2012	1 ^η	1980	1650	412,80	80	24,8
	2 ^η	1990	1650	475,30	75	23,5
Ιούνιος 2012	1 ^η	1416	1950	452,45	65	11,3
Ιούλιος 2012	1 ^η	1890	1900	450,35	62	11,2
Αύγουστος 2012	1 ^η	1900	1600	385,75	75	12,8

Πίνακας IV: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων της Εισροής Β, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων-Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψίες</i>	<i>Παράμετροι</i>		
		<i>pH</i>	<i>Αγωγιμότητα (mS/cm)</i>	<i>D.O (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	-	-	-
	2 ^η	6,99	1,358	2,14
Ιανουάριος 2012	1 ^η	7,18	0,578	2,41
	2 ^η	7,05	0,955	2,58
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	7,26	0,858	2,09
	2 ^η	7,25	1,241	2,93
Μάρτιος 2012	1 ^η	6,90	0,943	1,67
	2 ^η	7,20	1,155	2,25
Απρίλιος 2012	1 ^η	6,90	1,285	2,30
	2 ^η	7,00	2,000	3,37
Μάιος 2012	1 ^η	6,90	1,500	1,33
	2 ^η	6,90	1,730	1,52
Ιούνιος 2012	1 ^η	6,80	1,210	1,13
Ιούλιος 2012	1 ^η	6,90	1,380	2,25
Αύγουστος 2012	1 ^η	6,90	1,600	1,50

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας V: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων- Στερεών Ουσιών της Εισροής Β, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων- Βουτών.

Μήνας	Δειγματοληψία	Παράμετροι		
		Ολικά Στερεά (ppm)	Ολικά Πτητικά Στερεά (ppm)	Καθιζάνοντα Στερεά (mL/L)
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	-	-	-
	2 ^η	1000	400	0
Ιανουάριος 2012	1 ^η	400	200	-
	2 ^η	520	234	-
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	518	186	0
	2 ^η	634	220	-
Μάρτιος 2012	1 ^η	724	200	-
	2 ^η	896	258	-
Απρίλιος 2012	1 ^η	744	292	-
	2 ^η	862	344	-
Μάιος 2012	1 ^η	786	282	-
	2 ^η	828	304	-
Ιούνιος 2012	1 ^η	986	335	-
Ιούλιος 2012	1 ^η	788	240	-
Αύγουστος 2012	1 ^η	728	238	-

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας VI: Αποτελέσματα μετρήσεων Χημικών Παραμέτρων της Εισροής Β, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων-Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψία</i>	<i>Παράμετροι</i>				
		<i>COD (ppm)</i>	<i>BOD (ppm)</i>	<i>TOC (ppm)</i>	<i>TN (ppm)</i>	<i>TP (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	-	-	-	-	-
	2 ^η	336	160	82,134	36	7,9
Ιανουάριος 2012	1 ^η	150	80	11,1	6	1,9
	2 ^η	300	180	59,4675	11	5,9
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	192	140	45,063	11	4,2
	2 ^η	142	120	31,425	4	0,4
Μάρτιος 2012	1 ^η	104	60	22,3875	6	2,6
	2 ^η	360	200	74,075	33	7,1
Απρίλιος 2012	1 ^η	364	280	94,625	37	8,2
	2 ^η	504	340	91,6	44	9,2
Μάιος 2012	1 ^η	508	240	79,075	45	9,1
	2 ^η	478	180	118,925	35	8,0
Ιούνιος 2012	1 ^η	582	360	83,525	42	8,1
Ιούλιος 2012	1 ^η	436	280	122,35	40	8,0
Αύγουστος 2012	1 ^η	378	260	55,575	43	7,7

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας VII: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων της Εκροής, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων-Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψίες</i>	<i>Παράμετροι</i>			
		<i>pH</i>	<i>Αγωγιμότητα (mS/cm)</i>	<i>D.O (ppm)</i>	<i>Θολερότητα (NTU)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	7,49	0,726	5,20	4,19
	2 ^η	7,45	1,119	5,09	9,50
Ιανουάριος 2012	1 ^η	7,46	0,524	6,65	7,3
	2 ^η	7,45	0,799	8,55	2,48
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	7,48	0,727	5,03	5,24
	2 ^η	7,76	1,161	6,23	3,05
Μάρτιος 2012	1 ^η	7,00	0,833	5,01	1,94
	2 ^η	7,50	1,011	4,75	4,04
Απρίλιος 2012	1 ^η	7,20	0,962	6,05	4,92
	2 ^η	7,20	2,02	3,50	60
Μάιος 2012	1 ^η	7,30	1,175	6,30	4,39
	2 ^η	7,20	1,342	5,92	3,01
Ιούνιος 2012	1 ^η	7,30	0,885	6,31	7,72
Ιούλιος 2012	1 ^η	7,20	1,165	6,15	4,80
Αύγουστος 2012	1 ^η	7,20	1,245	6,20	4,90

Πίνακας VIII: Αποτελέσματα μετρήσεων φυσικών παραμέτρων- στερεών ουσιών της Εκροής, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων- Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψία</i>	<i>Παράμετροι</i>			
		<i>Ολικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Πτητικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Διαλυμένα Στερεά (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	400	200	0	1200
	2 ^η	600	200	9	400
Ιανουάριος 2012	1 ^η	400	0	4	200
	2 ^η	536	318	0	734
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	502	180	0	492
	2 ^η	692	278	0	624
Μάρτιος 2012	1 ^η	660	286	0	650
	2 ^η	776	128	0	734
Απρίλιος 2012	1 ^η	768	208	15	684
	2 ^η	782	304	63	600
Μάιος 2012	1 ^η	830	248	18	766
	2 ^η	892	398	50	766
Ιούνιος 2012	1 ^η	758	256	6	640
Ιούλιος 2012	1 ^η	790	210	15	710
Αύγουστος 2012	1 ^η	772	278	1	678

Πίνακας ΙΧ: Αποτελέσματα μετρήσεων Χημικών Παραμέτρων της Εκροής, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στα Δ.Δ. Σταυρακίων-Βουτών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψία</i>	<i>Παράμετροι</i>				
		<i>COD (ppm)</i>	<i>BOD (ppm)</i>	<i>TOC (ppm)</i>	<i>TN (ppm)</i>	<i>TP (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	51	10	53,37	6	6,7
	2 ^η	24	6	16,24	16	6,9
Ιανουάριος 2012	1 ^η	14	6	4,06	5	2
	2 ^η	14	4	9,8247	4	4,7
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	14	4	7,993	7	3,8
	2 ^η	13	2	7,434	2	0,4
Μάρτιος 2012	1 ^η	14	4	7,35	5	2,6
	2 ^η	14	4	8,658	22	4,9
Απρίλιος 2012	1 ^η	34	2	10,65	17	7,0
	2 ^η	354	50	66,15	45	9,1
Μάιος 2012	1 ^η	34	4	18,744	24	7,6
	2 ^η	36	1	20,574	21	7,3
Ιούνιος 2012	1 ^η	42	8	17,208	18	6,8
Ιούλιος 2012	1 ^η	38	8	10,284	20	6,9
Αύγουστος 2012	1 ^η	36	8	8,664	25	6,5

Πίνακας X: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων της Εισροής Α, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψίες</i>	<i>Παράμετροι</i>		
		<i>pH</i>	<i>Αγωγιμότητα (mS/cm)</i>	<i>D.O (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	7,25	1,900	1,24
	2 ^η	6,47	1,773	1,33
Ιανουάριος 2012	1 ^η	7,31	1,277	3,04
	2 ^η	7,21	1,611	1,89
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	7,57	1,191	1,53
	2 ^η	7,39	1,620	1,98
Μάρτιος 2012	1 ^η	7,20	1,129	1,85
	2 ^η	7,60	0,964	1,80
Απρίλιος 2012	1 ^η	6,50	1,436	2,30
	2 ^η	7,00	2,140	3,35
Μάιος 2012	1 ^η	7,90	1,445	0,89
	2 ^η	7,40	2,420	0,65
Ιούνιος 2012	1 ^η	7,00	1,607	0,81
Ιούλιος 2012	1 ^η	7,20	2,150	0,85
Αύγουστος 2012	1 ^η	7,30	2,400	0,65

Πίνακας XI: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων- Στερεών Ουσιών της Εισροής Α, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψία</i>	<i>Παράμετροι</i>		
		<i>Ολικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Πτητικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Καθιζάνοντα Στερεά (mL/L)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	2200	1200	50
	2 ^η	2000	1200	-
Ιανουάριος 2012	1 ^η	1000	400	1,5
	2 ^η	1352	486	2
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	1042	388	3,5
	2 ^η	1028	332	0
Μάρτιος 2012	1 ^η	1096	356	2,5
	2 ^η	928	274	2,5
Απρίλιος 2012	1 ^η	1492	740	2,5
	2 ^η	1334	602	2,5
Μάιος 2012	1 ^η	1164	440	4,5
	2 ^η	1576	566	3,5
Ιούνιος 2012	1 ^η	1858	1034	4,5
Ιούλιος 2012	1 ^η	1636	946	4,5
Αύγουστος 2012	1 ^η	1416	680	4,0

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας XII: Αποτελέσματα μετρήσεων Χημικών Παραμέτρων της Εισροής Α, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

Μήνας	Δειγματοληψία	Παράμετροι				
		COD (ppm)	BOD (ppm)	TOC (ppm)	TN (ppm)	TP (ppm)
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	1868	-	260,457	35	11,6
	2 ^η	1814	1700	1255,329	32	11,2
Ιανουάριος 2012	1 ^η	110	100	5,194	7	0,7
	2 ^η	974	700	217,10	7	4,6
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	210	150	2036	7	2,4
	2 ^η	218	200	32,55	7	1,1
Μάρτιος 2012	1 ^η	412	300	107,85	8	2,1
	2 ^η	280	200	45,50	5	1,5
Απρίλιος 2012	1 ^η	1784	1250	504,1	25	10,5
	2 ^η	1118	750	214,05	25	6,0
Μάιος 2012	1 ^η	740	350	64,425	28	7,0
	2 ^η	934	600	204,20	34	7,0
Ιούνιος 2012	1 ^η	1874	1250	404,75	50	10,4
Ιούλιος 2012	1 ^η	1634	900	121,25	65	11,1
Αύγουστος 2012	1 ^η	1320	850	100,25	35	5,4

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας XIII: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων της Εισροής Β, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψίες</i>	<i>Παράμετροι</i>		
		<i>pH</i>	<i>Αγωγιμότητα (mS/cm)</i>	<i>D.O (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	-	-	-
	2 ^η	6,50	1,890	2,01
Ιανουάριος 2012	1 ^η	7,36	1,267	2,93
	2 ^η	7,17	1,603	2,36
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	7,57	1,177	1,62
	2 ^η	7,43	1,607	1,58
Μάρτιος 2012	1 ^η	7,30	1,114	1,70
	2 ^η	7,20	0,940	1,70
Απρίλιος 2012	1 ^η	6,40	1,607	2,34
	2 ^η	6,80	2,130	3,40
Μάιος 2012	1 ^η	6,90	11,770	1,46
	2 ^η	6,50	16,520	2,00
Ιούνιος 2012	1 ^η	6,60	1,674	1,42
Ιούλιος 2012	1 ^η	6,50	2,350	1,10
Αύγουστος 2012	1 ^η	6,70	6,360	1,35

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας XIV: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων- Στερεών Ουσιών της Εισροής Β, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

Μήνας	Δειγματοληψία	Παράμετροι		
		Ολικά Στερεά (ppm)	Ολικά Πτητικά Στερεά (ppm)	Καθιζάνοντα Στερεά (mL/L)
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	-	-	-
	2 ^η	2000	1200	6,5
Ιανουάριος 2012	1 ^η	1000	400	-
	2 ^η	1392	530	-
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	1002	306	1,5
	2 ^η	1012	306	-
Μάρτιος 2012	1 ^η	1012	276	-
	2 ^η	912	254	-
Απρίλιος 2012	1 ^η	1376	540	-
	2 ^η	1264	602	-
Μάιος 2012	1 ^η	7230	482	-
	2 ^η	934	123	-
Ιούνιος 2012	1 ^η	1528	664	-
Ιούλιος 2012	1 ^η	1944	546	-
Αύγουστος 2012	1 ^η	3266	496	-

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας XV: Αποτελέσματα μετρήσεων Χημικών Παραμέτρων της Εισροής Β, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

Μήνας	Δειγματοληψία	Παράμετροι				
		COD (ppm)	BOD (ppm)	TOC (ppm)	TN (ppm)	TP (ppm)
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	-	-	-	-	-
	2 ^η	1806	1750	548,046	34	11,1
Ιανουάριος 2012	1 ^η	166	100	6,706	7	0,8
	2 ^η	932	700	211,354	5	4,5
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	158	150	2241,5	7	2,0
	2 ^η	246	200	34,625	4	1,1
Μάρτιος 2012	1 ^η	398	300	63,675	4	1,7
	2 ^η	260	200	47,70	5	2,0
Απρίλιος 2012	1 ^η	856	750	302,750	13	5,2
	2 ^η	1086	900	249,950	20	8,1
Μάιος 2012	1 ^η	740	350	123,80	28	7,0
	2 ^η	934	800	255,70	34	7,0
Ιούνιος 2012	1 ^η	1164	750	219,20	36	8,5
Ιούλιος 2012	1 ^η	982	750	170,95	45	9,8
Αύγουστος 2012	1 ^η	924	750	125,25	38	8,8

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.

Πίνακας XVI: Αποτελέσματα μετρήσεων Φυσικών Παραμέτρων της Εκροής, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

<i>Μήνας</i>	<i>Δειγματοληψίες</i>	<i>Παράμετροι</i>			
		<i>pH</i>	<i>Αγωγιμότητα (mS/cm)</i>	<i>D.O (ppm)</i>	<i>Θολρότητα (NTU)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	6,48	1,067	2,77	183
	2 ^η	6,50	2,160	4,04	284
Ιανουάριος 2012	1 ^η	7,29	1,206	1,87	74
	2 ^η	6,90	1,295	2,82	147
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	7,42	0,900	1,94	30,85
	2 ^η	7,47	1,503	2,12	28,03
Μάρτιος 2012	1 ^η	7,40	1,022	1,48	48,85
	2 ^η	7,40	0,958	1,98	62
Απρίλιος 2012	1 ^η	7,40	1,482	2,51	302
	2 ^η	7,30	2,050	3,13	178
Μάιος 2012	1 ^η	7,30	6,860	2,90	96
	2 ^η	6,90	3,720	1,62	147
Ιούνιος 2012	1 ^η	7,30	1,763	0,98	117
Ιούλιος 2012	1 ^η	6,90	4,856	1,60	235
Αύγουστος 2012	1 ^η	6,90	5,870	1,50	145

Πίνακας XVII: Αποτελέσματα μετρήσεων φυσικών παραμέτρων- στερεών ουσιών της Εκροής, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

Μήνας	Δειγματοληψία	Παράμετροι			
		<i>Ολικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Πτητικά Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Αιωρούμενα Στερεά (ppm)</i>	<i>Ολικά Διαλυμένα Στερεά (ppm)</i>
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	1000	800	149	3800
	2 ^η	2000	1000	138	1600
Ιανουάριος 2012	1 ^η	1000	200	104	600
	2 ^η	1032	406	98	906
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	950	312	36	840
	2 ^η	958	264	17	840
Μάρτιος 2012	1 ^η	962	262	63	778
	2 ^η	914	268	63	780
Απρίλιος 2012	1 ^η	1326	266	297	916
	2 ^η	1060	264	150	846
Μάιος 2012	1 ^η	4214	436	131	3856
	2 ^η	2038	338	132	1764
Ιούνιος 2012	1 ^η	1334	276	82	1174
Ιούλιος 2012	1 ^η	2494	484	206	2104
Αύγουστος 2012	1 ^η	3048	346	134	2694

Πίνακας XVIII: Αποτελέσματα μετρήσεων Χημικών Παραμέτρων της Εκροής, στην εγκατάσταση επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Δ.Δ. Δαφνών.

Μήνας	Δειγματοληψία	Παράμετροι				
		COD (ppm)	BOD (ppm)	TOC (ppm)	TN (ppm)	TP (ppm)
Δεκέμβριος 2011	1 ^η	1277	-	808,8585	19	10
	2 ^η	1642	-	416,415	19	9,9
Ιανουάριος 2012	1 ^η	424	300	44,82	1	1,1
	2 ^η	650	460	137,462	2	3,4
Φεβρουάριος 2012	1 ^η	46	60	1117,161	4	0,5
	2 ^η	118	120	30,50	4	0,8
Μάρτιος 2012	1 ^η	148	150	70,8625	0	0,9
	2 ^η	104	90	13,3125	2	1,7
Απρίλιος 2012	1 ^η	200	160	57,725	4	4,0
	2 ^η	316	170	49,775	3	5,7
Μάιος 2012	1 ^η	158	50	162,7	15	6,9
	2 ^η	524	330	271,25	13	6,0
Ιούνιος 2012	1 ^η	294	170	61,65	14	6,3
Ιούλιος 2012	1 ^η	794	500	175,95	41	9,3
Αύγουστος 2012	1 ^η	462	240	79,325	32	8,8

*Το σύμβολο της παύλας (-) υποδηλώνει απουσία μέτρησης.