



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

# **ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΚΡΙΖΟΥ ΝΕΡΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:  
ΜΕΝΔΡΙΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:  
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΝΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ,  
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η αναφορά, ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται καλοπίστως με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Copyright © Μενδρινού Παναγιώτα, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ στην πράξη με το αντικείμενο που μου τράβηξε το ενδιαφέρον από τα πρώτα χρόνια των σπουδών μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Ένα ακόμη μεγάλο ευχαριστώ, τόσο για την καθοδήγηση που μου προσέφερε ως επιβλέπων καθηγητής στην παρούσα διπλωματική εργασία, όσο και για τις συμβουλές και συμπαράστασή του σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Κουρή για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στο εργαστηριακό κομμάτι της διπλωματικής, για την υπομονετική εκμάθηση των μεθόδων ανάλυσης, αλλά και για τις συμβουλές του σχετικά με την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, τον ευχαριστώ για την πραγματοποίηση των αναλύσεων των βαρέων μετάλλων, τα αποτελέσματα των οποίων χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Ευχαριστώ, ακόμη, τον κ. Ιωάννη Μαντζιάρρα για τις γνώσεις που μου προσέφερε σχετικά με την πραγματοποίηση των jar tests, καθώς επίσης και για την ευρηματικότητα και τις έξυπνες ιδέες του, που έπαιξαν σημαντικό ρόλο προκειμένου να λειτουργήσει σωστά το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού. Θα ήθελα, ακόμη, να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Ελένη Κουμάκη για την εκμάθηση της διαδικασίας των εκχυλίσεων, προκειμένου να προσδιορισθούν οι μικροοργανικές ενώσεις, αλλά και για τις αναλύσεις που η ίδια πραγματοποίησε στα εκχυλισμένα δείγματα. Επιπροσθέτως, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην υποψήφια διδάκτορα Κορνηλία Αντωνίου για την εκμάθηση των κανόνων ασφαλείας και υγιεινής του εργαστηρίου, αλλά και για τις συμβουλές που ήταν πάντα πρόθυμη να μου παρέχει. Ακόμη, ευχαριστώ την Ανδρονίκη Ευαγγελία, για τις συμβουλές της σχετικά με τα θέματα ασφαλείας και υγιεινής του εργαστηρίου. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Δέσποινα Χαρχούση που μου έδωσε τις πρώτες κατευθυντήριες γραμμές για τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού και τις αναλύσεις των δειγμάτων.

Ευχαριστώ πολύ τον συνάδελφο κ. Γιώργο Γιανναρά, Μηχανολόγο Μηχανικό, για την αποτελεσματική συμπαράστασή του σε κρίσιμες στιγμές στην διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ειδικότερα τη μητέρα μου, που συντέλεσε τα μέγιστα για να φθάσω μέχρι αυτό το σημείο και που πάντα με στήριζε και με στηρίζει συναισθηματικά, ηθικά, πνευματικά και επιστημονικά.



## Εκτελεστική περίληψη

Το νερό είναι ο σημαντικότερος πόρος για τη διατήρηση της ζωής των έμβιων όντων. Παρόλα αυτά, τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα νερού ολοένα και μειώνονται ποιοτικά και ποσοτικά. Αντίθετα, η ζήτηση νερού έχει αυξητική τάση. Συνεπώς, φαίνεται επιτακτική η ανάγκη για εξοικονόμηση νερού, αλλά και επαναχρησιμοποίησή του σε επίπεδο οικίας, αντί να καταλήγει στο αποχετευτικό δίκτυο. Τα λύματα που καταλήγουν στην αποχέτευση είναι μίγμα «μαύρου νερού», το οποίο προέρχεται από την λεκάνη της τουαλέτας, και «γκρίζου νερού», το οποίο περιλαμβάνει τα λύματα από τον νιπτήρα, τη μπανιέρα, τη ντουζίέρα, το πλυντήριο ρούχων και το πλυντήριο πιάτων. Σημειώνεται ότι, σε πολλές βιβλιογραφικές πηγές, τα λύματα που προέρχονται από τον νεροχύτη, δεν συμπεριλαμβάνονται στο γκρίζο, αλλά στο μαύρο νερό, λόγω του αυξημένου φορτίου τους σε οργανικές ενώσεις, λίπη και έλαια.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού σε εργαστηριακή κλίμακα. Το γκρίζο νερό που χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού, αποτελούσε μίγμα λυμάτων από πραγματικά οικιακά απόβλητα, που προέρχονταν από τον νιπτήρα, το μπάνιο και το πλυντήριο ρούχων, στις αναλογίες που καθορίζονται από αυτές τις ροές περιέχεται στα οικιακά λύματα. Πραγματοποιήθηκαν δύο κύκλοι πειραμάτων, που συνολικά διήρκεσαν τρεις μήνες.

Στον πρώτο κύκλο πειραμάτων, το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού αποτελούνταν από 3 (τρία) διαδοχικά στάδια επεξεργασίας, τα οποία ήταν καθίζηση, αμμόφιλτρο και φίλτρο κοκκώδους ενεργού άνθρακα. Δείγματα γκρίζου νερού προς ανάλυση λαμβάνονταν από τα ανεπεξέργαστα λύματα, αλλά και έπειτα από κάθε στάδιο επεξεργασίας, δηλαδή από το υπερκείμενο γκρίζο νερό μετά την καθίζηση και ύστερα από την φίλτρανσή του μέσω του φίλτρου άμμου και του φίλτρου κοκκώδους ενεργού άνθρακα. Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν κάποια γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, και συγκεκριμένα τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), τα πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS), η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η θολότητα. Επίσης, προσδιορίστηκαν εργαστηριακά κάποιες χημικές παράμετροι, όπως το ολικό COD ( $COD_t$ ), το διαλυτό COD ( $COD_s$ ), τα ανιονικά τασιενεργά (LAS) και το αμμωνιακό άζωτο ( $NH_4-N$ ). Τέλος, στα δείγματα μετρήθηκε η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων του χρωμίου (Cr), του ψευδαργύρου (Zn) και του χαλκού (Cu), αλλά και ορισμένων μικροοργανικών ενώσεων και συγκεκριμένα των μικροοργανικών διαταρακτών εννεύλοφαινόλης (NP), μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης (NP1EO), δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης (NP2EO), δισφαινόλης (BPA) και τρικλοζάνης (TCS).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις των δειγμάτων και ειδικότερα η θολότητα και τα ολικά αιωρούμενα στερεά, συγκρίθηκαν με τα όρια που ορίζει η ελληνική νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων (ΚΥΑ 145116/2011). Σε ότι αφορά στις παραμέτρους αυτές, το γκρίζο νερό που προέρχεται από σύστημα επεξεργασίας που περιλαμβάνει καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο κοκκώδους ενεργού άνθρακα, μπορεί να διατεθεί προς περιορισμένη άρδευση, υπό την προϋπόθεση ότι έχει υποστεί και απολύμανση. Προκειμένου να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα στην επεξεργασία του γκρίζου νερού, προστέθηκε στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού

του πρώτου κύκλου πειραμάτων ένα επιπλέον στάδιο επεξεργασίας. Αυτό το στάδιο επεξεργασίας ήταν η κροκίδωση των λυμάτων, με χρήση θειικού αργιλίου ( $Al_2(SO_4)_3$ ), σε δεξαμενή κροκίδωσης ανάντη της δεξαμενής καθίζησης. Πριν ξεκινήσει ο δεύτερος κύκλος πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από jar tests, με στόχο να υπολογισθεί η βέλτιστη δόση κροκιδωτικού, η οποία συσχετίστηκε με τη θολότητα των ανεπεξέργαστων λυμάτων. Δείγματα λαμβάνονταν από τα ανεπεξέργαστα λύματα, αλλά και από τα επεξεργασμένα λύματα, έπειτα από κάθε στάδιο επεξεργασίας. Τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν και πάλι τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), τα πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS), η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η θολότητα. Οι χημικές παράμετροι που προσδιορίστηκαν ήταν το pH, το ολικό COD ( $COD_t$ ), το διαλυτό COD ( $COD_s$ ) και τα ανιονικά τασιενεργά (LAS). Επίσης, μετρήθηκε η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων του χρωμίου (Cr), του ψευδαργύρου (Zn) και του χαλκού (Cu). Τέλος, αναλύθηκε η ιλύς στη δεξαμενή καθίζησης ως προς τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (TSS,VSS), υπολογίστηκε η μάζα ολικών αιωρούμενων στερεών στην ιλύ ανά κιλό κροκιδωτικού, καθώς και ο όγκος παραγόμενης ιλύος ανά ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού.

Βάσει των αποτελεσμάτων από τη λειτουργία του ανωτέρου εργαστηριακού συστήματος διαπιστώθηκε ότι το επεξεργασμένο γκρίζο νερό πληροί τις προδιαγραφές που τίθενται στην ΚΥΑ 145116 για απεριόριστη άρδευση, με την προϋπόθεση ότι η τελική εκροή θα υποστεί απολύμανση. Επιπλέον, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου γκρίζου νερού το καθιστούν κατάλληλο και για χρήση στο καζανάκι για καθαρισμό της τουαλέτας, εάν συγκριθεί με τις αντίστοιχες οριακές τιμές που έχουν τεθεί διεθνώς για τέτοια χρήση.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της λειτουργίας των δύο διαφορετικών συστημάτων (με και χωρίς κροκίδωση) συγκρίθηκαν μεταξύ τους και με τα αποτελέσματα προγενέστερου συστήματος επεξεργασίας, το οποίο τροφοδοτούνταν με μίγμα γκρίζου νερού από τον νιπτήρα και το μπάνιο. Από τη σύγκριση αυτή προέκυψε ότι η προσθήκη λυμάτων πλυντηρίου ρούχων στο ανεπεξέργαστο μίγμα γκρίζου νερού που περιείχε μόνο τις ροές του νιπτήρα και του μπάνιου, προκαλεί σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης των ανιονικών τασιενεργών (LAS) στα ανεπεξέργαστα λύματα. Παρά την αύξηση του ρυπαντικού φορτίου στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό, η αποτελεσματικότητα του συστήματος επεξεργασίας ήταν απόλυτα συγκρίσιμη. Το κυριότερο συμπέρασμα που αφορά στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που αποτελείται από καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα, είναι ότι το φίλτρο του κοκκώδους ενεργού άνθρακα είναι το καθοριστικότερο στάδιο επεξεργασίας για την απομάκρυνση της θολότητας, των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών (TSS,VSS), ολικού και διαλυτού COD, ανιονικών τασιενεργών (LAS), αλλά και όλων των ενδοκρινικών διαταρακτών που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία. Αντίθετα, με την προσθήκη της μονάδας κροκίδωσης ανάντη του ανωτέρω συστήματος, η επεξεργασία βελτιώνεται και ένα πολύ μεγάλο ποσοστό του ρυπαντικού φορτίου (κυρίως του σωματιδιακού και κolloειδούς) απομακρύνεται στο σύστημα κροκίδωση – αμμόφιλτρο.

## Executive Summary

Water is the most significant sustainer of life on earth. However, the quality and quantity of the available water reserves are continuously decreasing, while the demand of water consumption is increasing. For that reason, wastewater reuse seems to be crucial. The urban sewage is a mixture of “Black Water”, which comes from toilets and “Grey Water”, that comes from hand basins, bathtubs, showers, laundries and dishwashers. Kitchen sink wastewater contains organic load, fat and grease in high concentrations, so in bibliography sources it is sometimes referred as blackwater and sometimes as greywater content.

The purpose of this diploma thesis is the specification of the effectiveness of two different greywater treatment systems. The treated greywater was a mixture of bath, bathtub and laundry domestic wastewater, in proportions that each flow is contained in urban sewage. The duration of the experiments was about three months.

The first one of the two greywater treatment systems consists of sedimentation, sand filter and granular activated carbon (GAC) filter consecutively. Samples were taken of raw greywater and of each stage of the treatment process and specifically of the supernatant greywater in the sedimentation tank and the effluence of sand and GAC filters. The general quantitative parameters that were determined are conductivity, turbidity, total suspended solids (TSS) and volatile suspended solids (VSS). The determined chemical parameters are total COD ( $COD_t$ ), soluble COD ( $COD_s$ ), anionic surfactants (LAS) and ammoniac nitrogen ( $NH_4-N$ ). There was also determined the concentration of three heavy metals (chromium, zinc, cuprum) and the concentration of some endocrine disrupting chemicals, such as nonylphenol (NP), nonylphenol monoethoxylates (NP1EO), nonylphenol diethoxylates (NP2EO), triclosan (TCS) and bisphenol-A (BPA).

The results of the samples' analyzes were compared with the limits that sets the greek law concerning the reuse of treated urban sewage. As far as turbidity and total suspended solids (TSS) are concerned, the treated greywater can be reused for limited irrigation, provided that it has been disinfected before. In order to improve the effectiveness of the first greywater treatment system, a coagulation treatment process using aluminum sulfate ( $Al_2(SO_4)_3$ ) was added upstream of the system. So, the second greywater treatment system consists of coagulation, sedimentation, sand filter and GAC filter consecutively. Before starting the treatment process in the second system, a series of jar tests took place, in order to relate the turbidity of raw greywater with the dose of  $Al_2(SO_4)_3$  coagulant that resulted the minimum final turbidity in coagulated greywater. Samples were taken of raw greywater and of each stage of the treatment process. The general quantitative parameters that were determined are conductivity, turbidity, total suspended solids (TSS) and volatile suspended solids (VSS). The determined chemical parameters are pH, total COD ( $COD_t$ ), soluble COD ( $COD_s$ ) and anionic surfactants (LAS). There was also determined the concentration of three heavy metals (chromium, zinc, cuprum). The sludge of the sedimentation tank was collected and analyzed for total and volatile suspended solids (TSS, VSS). In addition, there were estimated the mass of TSS per kilogram of coagulant and the volume of sludge produced per day of the system operation.

According to the greek law that concerns the reuse of the treated urban sewage, the treated greywater can be reused for unlimited irrigation, provided that it has been disinfected before. In addition, according to the international limits for greywater reuse, the quality parameters of treated greywater are low enough, so that it can be disposed in the toilet flushing.

The results of the two different systems (with and without coagulation), were compared with each other and with the results of an earlier greywater treatment system, that treated greywater mixture from hand basin and bathtub. This comparison showed that, when the raw greywater mixture of hand basin and bathtub contains laundry wastewater, the anionic surfactants (LAS) have a significant higher concentration in it. However, the efficiency of the greywater treatment system was absolutely comparable in these two different cases. The main conclusion that concerns the treatment system with sedimentation, sand filter and GAC filter, is that GAC causes the higher reduction in turbidity, total and volatile suspended solids (TSS, VSS), total and soluble COD, anionic surfactants (LAS) and all the endocrine disrupting chemicals. Instead, when adding the coagulation process upstream, the treatment is improved and a high percentage of the pollutant load (mainly the particulate and colloidal) is removed through the coagulation and the sand filter.



## Πίνακας περιεχομένων

---

|   |     |
|---|-----|
| Ευχαριστίες .....   | iii |
| Εκτελεστική περίληψη .....  | v   |
| Executive Summary .....   | vii |
| Πίνακας περιεχομένων .....  | ix  |
| Κατάλογος πινάκων.....  | xi  |
| Κατάλογος σχημάτων.....   | xv  |
| 1. Εισαγωγή.....  | 1   |
| 2. Χαρακτηριστικά γκρίζου νερού .....   | 3   |
| 2.1 Ποσοτικά χαρακτηριστικά .....   | 3   |
| 2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά .....   | 6   |
| 2.3 Μέθοδοι και συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού .....  | 22  |
| 2.3.1 Απλά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού .....   | 22  |
| 2.3.2 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού .....   | 24  |
| 2.3.3 Χημικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού .....   | 29  |
| 2.3.4 Βιολογικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού.....   | 34  |
| 2.3.5 Εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού .....   | 38  |
| 2.3.6 Εμπορικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού .....   | 40  |
| 2.4 Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού και θεσμικό πλαίσιο .....  | 46  |
| 2.4.1 Νομοθεσία στην Ελλάδα .....   | 47  |
| 2.4.2 Νομοθεσία στον υπόλοιπο κόσμο.....  | 49  |
| 3. Αναλυτικές μέθοδοι και Πειραματικό πρωτόκολλο.....   | 55  |
| 3.1 Εισαγωγή.....   | 55  |
| 3.2 Περιγραφή του συστήματος σε εργαστηριακή κλίμακα.....   | 55  |
| 3.2.1 Σύσταση λυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού.....  | 55  |
| 3.2.2 Γενική περιγραφή του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού .....  | 57  |
| 3.2.3 Περιγραφή του πρώτου κύκλου πειραμάτων (σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει διαδοχικά καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα).....               | 63  |
| 3.2.4 Περιγραφή του δεύτερου κύκλου πειραμάτων (σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει διαδοχικά κροκίδωση, καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα) ..... | 64  |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.3   | Αναλυτικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων.....   | 67  |
| 3.3.1 | Ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (TSS και VSS) .....   | 67  |
| 3.3.2 | Ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (αντίστοιχα COD <sub>t</sub> και COD <sub>s</sub> ) .   | 69  |
| 3.3.3 | Αμμωνιακό άζωτο (NH <sub>4</sub> -N) .....  | 71  |
| 3.3.4 | Αγωγιμότητα, Θολότητα, pH .....   | 71  |
| 3.3.5 | Ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS) .....   | 72  |
| 3.3.6 | Μικροοργανικές ενώσεις.....   | 73  |
| 3.3.7 | Βαρέα Μέταλλα .....   | 75  |
| 4.    | Παρουσίαση και ανάλυση αποτελεσμάτων .....  | 77  |
| 4.1   | Εισαγωγή.....   | 77  |
| 4.2   | Αποτελέσματα α' κύκλου πειραμάτων.....  | 77  |
| 4.2.1 | Ποιοτικές παράμετροι στα στάδια του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού (καθίζηση, φίλτρο άμμου, φίλτρο ενεργού άνθρακα) .....            | 77  |
| 4.2.2 | Σύγκριση αποτελεσμάτων με βιβλιογραφικά στοιχεία και τα όρια της νομοθεσίας .....   | 91  |
| 4.3   | Αποτελέσματα β' κύκλου πειραμάτων.....  | 95  |
| 4.3.1 | Αποτελέσματα των jar tests.....   | 95  |
| 4.3.2 | Ποιοτικές παράμετροι στα στάδια του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού (κροκίδωση, καθίζηση, φίλτρο άμμου, φίλτρο ενεργού άνθρακα) ..... | 99  |
| 4.3.3 | Σύγκριση αποτελεσμάτων με βιβλιογραφικά στοιχεία και τα όρια της νομοθεσίας .....   | 113 |
| 4.4   | Σύγκριση των συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού .....  | 115 |
| 5.    | Συμπεράσματα.....   | 121 |
| 5.1   | Συμπεράσματα από την επεξεργασία γκρίζου νερού .....  | 121 |
| 5.2   | Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....  | 122 |
|       | Βιβλιογραφικές Αναφορές .....   | 124 |

## Κατάλογος πινάκων

---

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 2.1: Βιβλιογραφικά στοιχεία παροχών γκρίζου νερού και μικτών λυμάτων.....  | 4  |
| Πίνακας 2.2: Βιβλιογραφικά στοιχεία για την επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού .....  | 5  |
| Πίνακας 2.3: Βιβλιογραφικά στοιχεία για την επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού .....  | 5  |
| Πίνακας 2.4: Κυριότεροι ρύποι στο γκρίζο νερό (Schafer et al., 2006).....  | 6  |
| Πίνακας 2.5: Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού ( $\mu \pm \sigma$ & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση).....                | 12 |
| Πίνακας 2.6: Χημικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού ( $\mu \pm \sigma$ & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση).....                            | 14 |
| Πίνακας 2.7: Χημικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού ( $\mu \pm \sigma$ & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση).....                            | 16 |
| Πίνακας 2.8: Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (Hg, Zn, Cu) στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό ( $\mu \pm \sigma$ & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση).....     | 18 |
| Πίνακας 2.9: Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (Cd, Pb, Cr, Ni) στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό ( $\mu \pm \sigma$ & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)..... | 19 |
| Πίνακας 2.10: Συγκέντρωση μικροοργανικών ενώσεων στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό ( $\mu \pm \sigma$ & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση) .....         | 20 |
| Πίνακας 2.11: Μικροβιολογικές παράμετροι στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό (ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση).....                                      | 21 |
| Πίνακας 2.12: Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε απλά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή).....  | 23 |
| Πίνακας 2.13: Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή).....  | 26 |
| Πίνακας 2.14: Ποιοτικές παράμετροι ανά στάδιο επεξεργασίας σε φυσικό σύστημα επεξεργασίας (μέση τιμή).....   | 28 |
| Πίνακας 2.15: Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή).....  | 31 |
| Πίνακας 2.16: Απομάκρυνση ολικού COD (%) ανάλογα με το είδος και τη δόση του κροκιδωτικού.....   | 32 |
| Πίνακας 2.17: Απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) (%) ανάλογα με το είδος και τη δόση του κροκιδωτικού .....                              | 32 |
| Πίνακας 2.18: Ποιοτικές παράμετροι ανά στάδιο επεξεργασίας σε χημικό σύστημα επεξεργασίας (μέση τιμή).....   | 33 |
| Πίνακας 2.19: Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή ή ελάχιστη-μέγιστη τιμή) .....                | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 2.20: Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή).....  | 39 |
| Πίνακας 2.21: Ποιοτικά χαρακτηριστικά που εγγυάται το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Aqua2use (Πηγή: <a href="http://www.aqua2use.com">www.aqua2use.com</a> )..... | 44 |
| Πίνακας 2.22: Συγκεντρωτικός πίνακας συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού .....   | 45 |
| Πίνακας 2.23: Επιτρεπόμενες χρήσεις και όρια ποιοτικών παραμέτρων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116).....  | 48 |
| Πίνακας 2.24: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116) .....   | 49 |
| Πίνακας 2.25: Ποιοτικές παράμετροι για επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού στο καζανάκι της τουαλέτας, σύμφωνα με το <a href="http://www.fbr.de">www.fbr.de</a> .....     | 49 |
| Πίνακας 2.26: Ανώτατα όρια ποιοτικών παραμέτρων επεξεργασμένου γκρίζου νερού σε πολιτείες και χώρες της Αμερικής.....  | 51 |
| Πίνακας 2.27: Όρια επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού στις ΗΠΑ, σύμφωνα με την EPA (2012).....  | 52 |
| Πίνακας 2.28: Ανώτατα όρια ποιοτικών παραμέτρων επεξεργασμένου γκρίζου νερού σε χώρες της Ασίας .....  | 53 |
| Πίνακας 2.29: Ανώτατα όρια ποιοτικών παραμέτρων επεξεργασμένου γκρίζου νερού στην δυτική Αυστραλία .....   | 54 |
| <br>   |    |
| Πίνακας 3.1: Μέση παροχή γκρίζου νερού ανά οικογένεια .....  | 56 |
| Πίνακας 3.2: Συνεισφορά κάθε οικιακής χρήσης στην παροχή γκρίζου νερού ανά οικογένεια.....   | 56 |
| Πίνακας 3.3: Παροχή κάθε οικιακής χρήσης ανά οικογένεια .....  | 56 |
| Πίνακας 3.4: Ποσοστά συνεισφοράς κάθε οικιακής χρήσης στο προς επεξεργασία γκρίζο νερό.....  | 57 |
| Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά στύλων πειράματος .....  | 57 |
| Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά άμμου .....  | 58 |
| Πίνακας 3.7: Χαρακτηριστικά κοκκώδους ενεργού άνθρακα (GAC) .....  | 58 |
| Πίνακας 3.8: Σύνθεση ανεπεξέργαστων λυμάτων που εισέρχονταν στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού.....  | 60 |
| <br>   |    |
| Πίνακας 4.1: Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του α' κύκλου πειραμάτων .....                                    | 77 |
| Πίνακας 4.2: Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του α' κύκλου πειραμάτων .....  | 80 |

|  |     |
|--|-----|
| Πίνακας 4.3: Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του α' κύκλου πειραμάτων .....                                | 82  |
| Πίνακας 4.4: Βαρέα μέταλλα γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του φυσικού συστήματος επεξεργασίας .....   | 84  |
| Πίνακας 4.5: Σύγκριση βιβλιογραφικών δεδομένων και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                             | 94  |
| Πίνακας 4.6: Σύγκριση ορίων νομοθεσίας και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                                    | 94  |
| Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα jar test για κάθε τιμή αρχικής θολότητας .....   | 95  |
| Πίνακας 4.8: Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του β' κύκλου πειραμάτων.....                         | 99  |
| Πίνακας 4.9: Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του β' κύκλου πειραμάτων .....                                    | 103 |
| Πίνακας 4.10: Βαρέα μέταλλα γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του β' κύκλου πειραμάτων .....  | 105 |
| Πίνακας 4.11: Σύγκριση βιβλιογραφικών δεδομένων και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                            | 114 |
| Πίνακας 4.12: Σύγκριση ορίων νομοθεσίας και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                                   | 114 |
| Πίνακας 4.13: Επί τοις εκατό απομάκρυνση κάθε ποιοτικής παραμέτρου του γκρίζου νερού, για κάθε στάδιο επεξεργασίας και για κάθε σύστημα επεξεργασίας ..... | 116 |



## Κατάλογος σχημάτων

---

|  |    |
|--|----|
| Σχήμα 2.1: Σύστημα AQUUS® για διάθεση στο καζανάκι της τουαλέτας.....  | 40 |
| Σχήμα 2.2: Σύστημα επεξεργασίας Greyter HOME για διάθεση στο καζανάκι της τουαλέτας.....   | 40 |
| Σχήμα 2.3: Σύστημα επεξεργασίας Greyter HOME μικρότερης κλίμακας .....   | 41 |
| Σχήμα 2.4: Σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Brac-Systems LB-300 για διάθεση στο καζανάκι της τουαλέτας (Πηγή: <a href="http://www.nuvaleproducts.com">www.nuvaleproducts.com</a> ) .....         | 41 |
| Σχήμα 2.5: Σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Ecorplay με εναλλάκτη θερμότητας .....   | 42 |
| Σχήμα 2.6: Φυσικό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού NETA H2grO προς άρδευση.....  | 42 |
| Σχήμα 2.7: Βιολογικό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού (Πηγή: <a href="http://www.dwc-water.com">www.dwc-water.com</a> ) .....  | 43 |
| Σχήμα 2.8: Βιολογικό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Rontos AquaCycle .....   | 43 |
| Σχήμα 2.9: Συσκευή επεξεργασίας γκρίζου νερού με σύστημα ενεργού ιλύος και βιολογική επεξεργασία (Πηγή: <a href="http://www.aqua2use.com">www.aqua2use.com</a> ) .....                             | 44 |
|  |    |
| Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση σταδίων επεξεργασίας.....  | 59 |
| Σχήμα 3.2: Δεξαμενή καθίζησης, χωρητικότητας 10,5 (L).....   | 59 |
| Σχήμα 3.3: Νεκρός όγκος δεξαμενής καθίζησης, χωρητικότητας 3,5 (L).....  | 60 |
| Σχήμα 3.4: Φίλτρο άμμου και περισταλτική αντλία .....  | 61 |
| Σχήμα 3.5: Φίλτρο ενεργού άνθρακα και ογκομετρικός κύλινδρος.....  | 62 |
| Σχήμα 3.6: Σχηματική απεικόνιση πειραματικής διάταξης α' κύκλου πειράματος .....   | 63 |
| Σχήμα 3.7: Σχηματική απεικόνιση πειραματικής διάταξης β' κύκλου πειράματος.....  | 64 |
| Σχήμα 3.8: Αναδευτήρας και δεξαμενή κροκίδωσης.....  | 65 |
| Σχήμα 3.9: Συσκευή jar test.....   | 66 |
| Σχήμα 3.10: Προετοιμασία φίλτρων για μέτρηση στερεών: Φούρνος 550°C , Ξηραντήρας και Ζυγός ακριβείας (από αριστερά προς τα δεξιά) .....  | 68 |
| Σχήμα 3.11: Προσδιορισμός TSS: Συσκευή διήθησης συνοδευόμενη από αντλία κενού, Φούρνος 103°C, Ξηραντήρας, Ζυγός ακριβείας (από αριστερά προς τα δεξιά) .....                                       | 68 |
| Σχήμα 3.12: Μεμβράνες και φίλτρα (από αριστερά προς τα δεξιά) .....  | 69 |
| Σχήμα 3.13: Προσδιορισμός COD <sub>t</sub> : Πιπέτες, Φιαλίδια HACH, Χωνευτής, Φασματοφωτόμετρο HACH DR2800 (από αριστερά προς τα δεξιά).....  | 70 |
| Σχήμα 3.14: Προσδιορισμός COD <sub>5</sub> : Συσκευή διήθησης συνοδευόμενη από αντλία κενού, Πιπέτες, Αντιδραστήρια HACH, Χωνευτής, Φασματοφωτόμετρο HACH DR2800 (από αριστερά προς τα δεξιά)..... | 70 |
| Σχήμα 3.15: Προσδιορισμός NH <sub>4</sub> -N: Συσκευή διήθησης συνοδευόμενη από αντλία κενού, Πιπέτες, Αντιδραστήρια HACH, φασματοφωτόμετρο (από αριστερά προς τα δεξιά).....                      | 71 |

|   |    |
|---|----|
| Σχήμα 3.16: Αγωγιμόμετρο, Θολόμετρο, pH-μετρο (από αριστερά προς τα δεξιά) .....  | 72 |
| Σχήμα 3.17: Προσδιορισμός LAS: Πιπέτες, Αντιδραστήρια HACH, Φασματοφωτόμετρο (από αριστερά προς τα δεξιά).....                          | 73 |
| Σχήμα 3.18: Αέριος χρωματογράφος Agilent 7890A συζευγμένος με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C .....                                    | 74 |
| Σχήμα 3.19: Συσκευή εκχύλισης κενού .....   | 74 |
| Σχήμα 3.20: Φούρνος γραφίτη AAS Perkin Elmer 3110/HGA600 και AAS φλόγας Perkin Elmer Analyst 200 (από αριστερά προς τα δεξιά) .....     | 75 |
|   |    |
| Σχήμα 4.1: Τιμές της αγωγιμότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                         | 78 |
| Σχήμα 4.2: Τιμές της θολότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                            | 78 |
| Σχήμα 4.3: Τιμές των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                                  | 79 |
| Σχήμα 4.4: Τιμές των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                                  | 79 |
| Σχήμα 4.5: Τιμές του ολικού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                           | 80 |
| Σχήμα 4.6: Τιμές του διαλυτού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                         | 81 |
| Σχήμα 4.7: Τιμές των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                                  | 81 |
| Σχήμα 4.8: Τιμές του αμμωνιακού αζώτου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                    | 82 |
| Σχήμα 4.9: Τιμές της αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....       | 83 |
| Σχήμα 4.10: Τιμές της μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)..... | 83 |
| Σχήμα 4.11: Τιμές της δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....   | 83 |
| Σχήμα 4.12: Τιμές της τρικλοζάνης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                         | 84 |
| Σχήμα 4.13: Τιμές της δισφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                         | 84 |
| Σχήμα 4.14: Τιμές του χρωμίου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων).....                             | 85 |



|  |     |
|--|-----|
| Σχήμα 4.15: Τιμές του ψευδαργύρου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                     | 85  |
| Σχήμα 4.16: Τιμές του χαλκού για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                          | 86  |
| Σχήμα 4.17: Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....              | 86  |
| Σχήμα 4.18: Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                 | 87  |
| Σχήμα 4.19: TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                      | 87  |
| Σχήμα 4.20: VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                      | 88  |
| Σχήμα 4.21: Ολικό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                | 88  |
| Σχήμα 4.22: Διαλυτό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....              | 89  |
| Σχήμα 4.23: LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....                      | 89  |
| Σχήμα 4.24: Αμμωνιακό άζωτο ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) .....          | 90  |
| Σχήμα 4.25: Μέγιστη στάθμη άμμου και άνθρακα τις ημέρες λειτουργίας του συστήματος (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων) ..... | 91  |
| Σχήμα 4.26: Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 39,2 (NTU) .....                    | 96  |
| Σχήμα 4.27: Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 52,6 (NTU) .....                    | 96  |
| Σχήμα 4.28: Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 62,3 (NTU) .....                    | 96  |
| Σχήμα 4.29: Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 72,1 (NTU) .....                    | 97  |
| Σχήμα 4.30: Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 76,5 (NTU) .....                    | 97  |
| Σχήμα 4.31: Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 86,6 (NTU) .....                    | 97  |
| Σχήμα 4.32: Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 101 (NTU) .....                     | 98  |
| Σχήμα 4.33: Βέλτιστη και οικονομικά βέλτιστη δόση κροκιδωτικού .....   | 99  |
| Σχήμα 4.34: Τιμές της αγωγιμότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                    | 100 |

|  |     |
|--|-----|
| Σχήμα 4.35: Τιμές της θολότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                                | 100 |
| Σχήμα 4.36: Τιμές των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                                      | 101 |
| Σχήμα 4.37: Τιμές των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                                      | 101 |
| Σχήμα 4.38: Σύγκριση αποτελεσματικότητας κροκίδωσης jar test και πειράματος .....  | 102 |
| Σχήμα 4.39: Τιμές του pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                                       | 103 |
| Σχήμα 4.40: Τιμές του ολικού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                               | 104 |
| Σχήμα 4.41: Τιμές του διαλυτού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                            | 104 |
| Σχήμα 4.42: Τιμές των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                                      | 105 |
| Σχήμα 4.43: Τιμές του ψευδαργύρου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                             | 106 |
| Σχήμα 4.44: Τιμές του χαλκού για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                                   | 106 |
| Σχήμα 4.45: Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                      | 107 |
| Σχήμα 4.46: Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                         | 107 |
| Σχήμα 4.47: pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                                | 108 |
| Σχήμα 4.48: TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                               | 108 |
| Σχήμα 4.49: VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                               | 109 |
| Σχήμα 4.50: Ολικό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                        | 109 |
| Σχήμα 4.51: Διαλυτό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) .....                      | 110 |
| Σχήμα 4.52: LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων).....                               | 110 |
| Σχήμα 4.53: Μέγιστη στάθμη άμμου και άνθρακα τις ημέρες λειτουργίας του χημικού συστήματος (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων) ..... | 111 |
| Σχήμα 4.54: Συγκέντρωση ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στην ιλύ .....   | 111 |

|  |     |
|--|-----|
| Σχήμα 4. 55: Μάζα στερεών που παράγονται ανά (kg) κροκιδωτικού.....                                    | 112 |
| Σχήμα 4.56: Παραγωγή ιλύος στη διάρκεια λειτουργίας του σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων..... | 112 |
| Σχήμα 4.57: Ποσοστιαία αύξηση αγωγιμότητας ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας....                     | 117 |
| Σχήμα 4.58: Ποσοστιαία μείωση θολότητας ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας.....                       | 117 |
| Σχήμα 4.59: Ποσοστιαία μείωση TSS ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας.....                             | 118 |
| Σχήμα 4.60: Ποσοστιαία μείωση VSS ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας.....                             | 118 |
| Σχήμα 4.61: Ποσοστιαία μείωση ολικού COD ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας.....                      | 119 |
| Σχήμα 4.62: Ποσοστιαία μείωση διαλυτού COD ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας ...                     | 119 |
| Σχήμα 4.63: Ποσοστιαία μείωση LAS ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας.....                             | 120 |



## 1. Εισαγωγή

---

Το νερό είναι ο σημαντικότερος πόρος για την διατήρηση της ζωής των έμβιων όντων. Παρόλα αυτά, τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα νερού στη Γη συνεχώς μειώνονται ποιοτικά και ποσοτικά (Koutsoyiannis, 2007).

Κύριος λόγος που οδηγεί σε αυτή τη μείωση είναι η αυξημένη ζήτηση, ιδιαίτερα σε περιοχές που έχουν ποσοτική έλλειψη νερού. Η Ελλάδα, μάλιστα, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ανισοκατανομής στους υδατικούς πόρους, αφού στα δυτικά της υπάρχει μεγάλη ποσότητα νερού λόγω πληθώρας έντονων βροχοπτώσεων, ενώ στα ανατολικά της (ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα και νησιωτική χώρα), το ύψος βροχής είναι μειωμένο (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006, σ.11). Άλλος ένας λόγος για την ανισοκατανομή αυτή είναι και το γεωλογικό υπόβαθρο της Ελλάδας, αφού ο όγκος του υδάτινου σώματος της δυτικής Ελλάδας παραμένει ανεκμετάλλευτος λόγω έντονου αναγλύφου (Ομπετσανόφ κ.ά, 2004).

Η μεγάλη ζήτηση προκύπτει, επίσης, λόγω του αυξημένου πληθυσμού, ο οποίος πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες του (π.χ. τροφή). Η γεωργία, η βιομηχανία, η αστικοποίηση αλλά και η ανάγκη του ανθρώπου για διατήρηση ενός αξιοπρεπούς επιπέδου διαβίωσης, απαιτούν αυξημένες ποσότητες νερού ([www.statistics.gr](http://www.statistics.gr)) οι οποίες στις μέρες μας έχουν μειωθεί σημαντικά. Η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα έχει μειωθεί σε πολλές περιοχές (Θανόπουλος κ.ά., 2008), ενώ τα διαθέσιμα αποθέματα νερού ολοένα φθίνουν ποιοτικά, λόγω ρύπανσης ή και μόλυνσης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, φαίνεται επιτακτική η ανάγκη για εξοικονόμηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού που καταναλώνεται και θα κατέληγε στο αποχετευτικό δίκτυο. Επιπροσθέτως, είναι αναγκαίο να μην εξαρτάται η στιγμιαία ζήτηση σε νερό από την επάρκεια του κεντρικού δικτύου ύδρευσης, λόγω των προβλημάτων συντήρησης που υπάρχουν σε αυτό, κυρίως σε επαρχιακές και νησιωτικές περιοχές.

Το νερό που καταλήγει στην αποχέτευση εμπεριέχει «μαύρο νερό» (black water), δηλαδή λύματα από τη λεκάνη της τουαλέτας (Olsson et al., 1968) και το τελικό μίγμα λυμάτων μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί μόνο εφόσον πληροί συγκεκριμένα όρια στην ποιότητά του, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία. Τα όρια αυτά ορίζονται από τις ευρωπαϊκές οδηγίες και την ελληνική νομοθεσία (Οδηγία 91/271 ΕΟΚ • ΚΥΑ 145116).

Αντίθετα, ένα σημαντικό τμήμα του μαύρου νερού αποτελεί το λεγόμενο «γκρίζο νερό» (grey ή gray water) (Eriksson et al., 2002 • Schäfer et al., 2006 • Ottoson and Stenström, 2003). Το νερό αυτό είναι μίγμα των λυμάτων που προέρχονται από την μανιέρα, τον νιπτήρα, το πλυντήριο ρούχων, τον νεροχύτη και το πλυντήριο πιάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι άλλοι περιλαμβάνουν στο γκρίζο νερό τα λύματα του νεροχύτη, ενώ κάποιοι άλλοι όχι, πιθανότατα λόγω του αυξημένου οργανικού του φορτίου, καθώς και της αυξημένης συγκέντρωσής του σε λίπη και έλαια ([www.yourhome.gov.au](http://www.yourhome.gov.au)). Στην παρούσα διπλωματική εργασία διευκρινίζεται ότι στον όρο γκρίζο νερό περιλαμβάνονται και τα λύματα του νεροχύτη. Το γκρίζο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί εύκολα, αλλά δεν υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο που να ορίζει τις απαιτήσεις σε ποιότητα του επεξεργασμένου γκρίζου νερού.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

(α) η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας μίγματος γκρίζου νερού που προέρχεται από την μπανιέρα, τον νιπτήρα και το πλυντήριο ρούχων. Η αποτελεσματικότητα προκύπτει από την μέτρηση χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού που σχετίζονται με την ποιότητά του (αγωγιμότητα, θολότητα, pH, ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) και πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS), ολικό COD και διαλυτό COD, αμμωνία (NH<sub>4</sub>-N) και ανιονικά τασιενεργά (LAS)). Έγινε εφαρμογή δύο διαφορετικών μεθόδων επεξεργασίας γκρίζου νερού και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές. Ο πρώτος τρόπος επεξεργασίας περιλάμβανε διαδοχικά δεξαμενή καθίζησης, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Ο δεύτερος τρόπος επεξεργασίας περιλάμβανε διαδοχικά δεξαμενή κροκίδωσης, δεξαμενή καθίζησης, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα.

(β) Η σύγκριση των παραπάνω μεθόδων επεξεργασίας με βιβλιογραφικά στοιχεία που αφορούν στην επεξεργασία γκρίζου νερού.

Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, στήθηκε πειραματική διάταξη στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας στο Κτήριο Υδραυλικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Η ανάπτυξη των βιβλιογραφικών δεδομένων και πειραματικών αποτελεσμάτων γίνεται στα επόμενα τέσσερα κεφάλαια. Συνοπτικά,

(α) στο Κεφάλαιο 2 αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού και των επιμέρους πηγών προέλευσής του, ποιοτικά και ποσοτικά. Επίσης, περιγράφονται οι μέθοδοι και τα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού, διαιρεμένα σε κατηγορίες. Τέλος, γίνεται περιγραφή του θεσμικού πλαισίου που αφορά στην επαναχρησιμοποίηση λυμάτων και γκρίζου νερού στην Ελλάδα και τον κόσμο.

(β) στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται τα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού σε εργαστηριακή κλίμακα, καθώς και το πειραματικό πρωτόκολλο που εφαρμόστηκε στην επεξεργασία του γκρίζου νερού χωρίς κροκίδωση και με κροκίδωση.

(γ) στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δυο πειραματικές διατάξεις. Αυτά, συγκρίνονται με αποτελέσματα από συστήματα διαφόρων βιβλιογραφικών αναφορών, με τη νομοθεσία, αλλά και μεταξύ τους.

(δ) στο Κεφάλαιο 5 καταγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα πειράματα.

## 2. Χαρακτηριστικά γκρίζου νερού

---

### 2.1 Ποσοτικά χαρακτηριστικά

Η ποσοτική περιγραφή του γκρίζου νερού αφορά αφενός μεν στην παροχή γκρίζου νερού ανά κάτοικο, αφετέρου δε στην επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης. Πηγές προέλευσης του γκρίζου νερού είναι:

- (α) Νιπτήρας, με επιμέρους πηγές
  - (i) Πλύσιμο χεριών
  - (ii) Πλύσιμο δοντιών
  - (iii) Ξύρισμα
- (β) Μπανιέρα
- (γ) Νεροχύτης, με επιμέρους πηγές
  - (i) Πλύσιμο πιάτων
  - (ii) Πλύσιμο φρούτων και λαχανικών
  - (iii) Προετοιμασία φαγητού
  - (iv) Πλύσιμο χεριών
- (δ) Πλυντήριο ρούχων
- (ε) Πλυντήριο πιάτων

Στον Πίνακα 2.1 καταγράφονται οι παροχές γκρίζου νερού σε λίτρα ανά κάτοικο και ημέρα (L/p/d), καθώς και η περιεκτικότητα των μικτών λυμάτων σε γκρίζο νερό, όπως βρέθηκαν σε διάφορες βιβλιογραφικές πηγές. Οι Jamrah et al. (2008) αναφέρουν δυο διαφορετικές παροχές γκρίζου νερού και μικτών λυμάτων, μία για τον χειμώνα και μία για το καλοκαίρι. Στον Πίνακα 2.1 έχει υπολογισθεί η μέση τιμή των δυο αυτών τιμών. Επίσης, η AWWARF (American Water Works Association Research Foundation) αναφέρει δύο τιμές παροχής γκρίζου νερού και μικτών λυμάτων. Η μία προκύπτει κάνοντας εξοικονόμηση στην κατανάλωση νερού και η άλλη άνευ εξοικονόμησης. Και πάλι στον Πίνακα 2.1 υπολογίσθηκε η μέση τιμή τους. Τέλος, οι Vinneras et al. (2006) εκτίμησαν την παροχή γκρίζου νερού σε τρεις πόλεις της Σουηδίας (Ekoporten, Gebbers και Vibyasen). Στον παρακάτω Πίνακα 2.1 έχει υπολογισθεί η μέση τιμή των τριών αυτών παροχών.

**Πίνακας 2.1:** Βιβλιογραφικά στοιχεία παροχών γκρίζου νερού και μικτών λυμάτων

| Βιβλιογραφική πηγή        | Γκρι νερό (L/p/d) | Μικτά λύματα (L/p/d) | Ποσοστό γκρίζου νερού στα μικτά λύματα |
|---------------------------|-------------------|----------------------|--|
| Χαρχούση Δ. (2014)        | 98,1 ± 29,5       | 135 ± 31,6           | 73%                                    |
| Antonopoulou et al (2013) | 82,6 ± 49,3       | 142 ± 58,1           | 58%                                    |
| Penn et al (2012)         | 100,4             | 138,1                | 73%                                    |
| Allen et al (2010)        | 151               | 221                  | 68%                                    |
| Jamrah et al (2008)       | 168,5             | 199,5                | 85%                                    |
| Palquist & Hanæus (2005)  | 66                | 94,5                 | 70%                                    |
| AWWARF (1999)             | 185               | 239                  | 77%                                    |
| www.yourhome.gov.au       | 101               | 121                  | 84%                                    |
| Friedler et al (2004)     | 98                | -                    | -                                      |
| Vinneras et al (2006)     | 93,3              | -                    | -                                      |

Στον Πίνακα 2.2 καταγράφεται η συνεισφορά των διαφόρων πηγών γκρίζου νερού στην συνολική παροχή γκρίζου νερού, σε (L/p/d) και σε ποσοστό επί του συνόλου της παροχής γκρίζου νερού της κάθε περίπτωσης. Η Χαρχούση Δ.(2014) αναφέρει τη συνολική παροχή γκρίζου νερού σε τρεις διαφορετικές οικίες (Α, Β και Γ) και τα ποσοστά συνεισφοράς των επιμέρους πηγών του γκρίζου νερού σε κάθε οικία. Τα τελικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2 αποτελούν την σταθμισμένη μέση τιμή για κάθε επιμέρους πηγή γκρίζου νερού. Επίσης, οι Jamrah et al. (2008) αναφέρουν την παροχή των επιμέρους πηγών γκρίζου νερού το καλοκαίρι και το χειμώνα. Στον παρόντα Πίνακα 2.2 έχει υπολογισθεί η μέση τιμή παροχής γκρίζου νερού του καλοκαιριού και του χειμώνα. Τέλος, η AWWARF αναφέρει τις παροχές γκρίζου νερού με και χωρίς εξοικονόμηση στην κατανάλωση νερού. Στον Πίνακα 2.2 έχει υπολογισθεί η μέση τιμή των δύο αυτών τιμών.

Ακόμη πιο συγκεκριμένα, στην προαναφερθείσα διπλωματική «Χαρακτηρισμός και επεξεργασία γκρίζου νερού» γίνεται λεπτομερής αναφορά στην επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού που προέρχεται από τον νιπτήρα και τον νεροχύτη. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.



**Πίνακας 2.2:** Βιβλιογραφικά στοιχεία για την επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού

| Βιβλιογραφική πηγή           |         | Μπιανιέρα | Νιπτήρας | Νεροχύτης | Πλυντήριο ρούχων | Πλυντήριο πιάτων |
|------------------------------|---------|-----------|----------|-----------|------------------|------------------|
| Χαρχούση Δ.,<br>(2014)       | (L/p/d) | 37,6      | 11,0     | 29,7      | 19,2             | 0,6              |
|                              | Ποσοστό | 38%       | 11%      | 30%       | 20%              | 1%               |
| Antonopoulou<br>et al (2013) | (L/p/d) | 33,9      | 8,6      | 12,2      | 21,3             | 6,6              |
|                              | Ποσοστό | 41%       | 10%      | 15%       | 26%              | 8%               |
| Penn et al<br>(2012)         | (L/p/d) | 39,2      | 18,0     | 26,6      | 16,6             | -                |
|                              | Ποσοστό | 39%       | 18%      | 26%       | 17%              | -                |
| Jamrah et al<br>(2008)       | (L/p/d) | 74,5      | 24,0     | 44,5      | 24,0             | -                |
|                              | Ποσοστό | 45%       | 14%      | 27%       | 14%              | -                |
| AWWARF<br>(1999)             | (L/p/d) | 51,0      | 54,5     | 4,0       | 75,5             | -                |
|                              | Ποσοστό | 27%       | 30%      | 2%        | 41%              | -                |

**Πίνακας 2.3:** Βιβλιογραφικά στοιχεία για την επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού

| Επιμέρους πηγή γκρίζου νερού |                               | Ποσοστό επί του συνόλου |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Νεροχύτης                    | Πλύσιμο πιάτων                | 65%                     |
|                              | Πλύσιμο φρούτων και λαχανικών | 18%                     |
|                              | Προετοιμασία φαγητού          | 13%                     |
|                              | Πλύσιμο χεριών                | 4%                      |
| Νιπτήρας                     | Πλύσιμο χεριών                | 54%                     |
|                              | Πλύσιμο δοντιών               | 36%                     |
|                              | Ξύρισμα                       | 10%                     |

Σύμφωνα με τις παραπάνω βιβλιογραφικές πηγές, το ποσοστό του γκρίζου νερού κυμαίνεται από 58% ως 85% της συνολικής παροχής μικτών λυμάτων. Κύρια πηγή γκρίζου νερού φαίνεται να αποτελεί το γκρίζο νερό της μπανιέρας, ενώ ακολουθούν αυτά του πλυντηρίου ή του νεροχύτη κατά περίπτωση. Κύρια συνεισφορά στην παραγωγή γκρίζου νερού στον νεροχύτη έχει το πλύσιμο των πιάτων, ενώ στον νιπτήρα, το πλύσιμο των χεριών.

## 2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού αναφέρονται στα χαρακτηριστικά είτε των επιμέρους πηγών γκρίζου νερού (νιπτήρας, μπανιέρα, νεροχύτης, πλυντήριο ρούχων, πλυντήριο πιάτων), είτε σε μίγμα των παραπάνω πηγών γκρίζου νερού. Στον Πίνακα 2.4 καταγράφονται οι κυριότεροι ρύποι που μπορούν να βρεθούν στο γκρίζο νερό, ανάλογα με την πηγή προέλευσής του.

**Πίνακας 2.4:** Κυριότεροι ρύποι στο γκρίζο νερό (Schafer et al., 2006)

| Πηγή γκρίζου νερού  | Ρύποι   |
|---------------------|---|
| Νεροχύτης           | Λίπη, Βακτήρια, Απορρυπαντικά   |
| Μπάνιο και Νιπτήρας | Σαπούνια, Σαμπουάν, Σωματικά λίπη, Τρίχες, Χώμα, Χνούδια, Συνθετικές και φυσικές ίνες, Ουρία, Κόπρανα |
| Πλυντήριο ρούχων    | Απορρυπαντικά, Λευκαντικά, Λίπη, Μπογιά, Διαλύτες   |

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

### (α) Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά

- (i) Ολικά στερεά (TS)
- (ii) Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS)
- (iii) Πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS)
- (iv) Ηλεκτρική αγωγιμότητα
- (v) Θολότητα

### (β) Χημικές παράμετροι

- (i) pH
- (ii) Ολική χημική απαίτηση σε οξυγόνο ( $COD_t$ )
- (iii) Διαλυτή χημική απαίτηση σε οξυγόνο ( $COD_s$ )
- (iv) Βιοχημική απαίτηση σε οξυγόνο πέντε ημερών ( $BOD_5$ )

- (v) Ανιονικά τασιενεργά (LAS)
- (vi) Ολικός φώσφορος (TP)
- (vii) Αμμωνιακό άζωτο (NH<sub>4</sub>-N)
- (viii) Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN)
- (viii) Ολικό άζωτο (TN)
- (γ) Βαρέα μέταλλα
  - (i) Κάδμιο (Cd)
  - (ii) Μόλυβδος (Pb)
  - (iii) Χρώμιο (Cr)
  - (iv) Νικέλιο (Ni)
  - (v) Υδράργυρος (Hg)
  - (vi) Ψευδάργυρος (Zn)
  - (vii) Χαλκός (Cu)
- (δ) Μικροοργανικές ενώσεις (Ενδοκρινικοί διαταράκτες)
  - (i) Εννεϋλοφαινόλη (NP)
  - (ii) Μονο - αιθοξυλιωμένη εννεϋλοφαινόλη (NP1EO)
  - (iii) Δι - αιθοξυλιωμένη εννεϋλοφαινόλη (NP2EO)
  - (iv) Τρικλοζάνη (TCS)
  - (v) Δισφαινόλη (BPA)
- (ε) Μικροβιολογικές παράμετροι ή Δείκτες παθογένειας
  - (i) Total Coliforms
  - (ii) E. Coli
  - (iii) Εντερόκοκκοι

Σε ότι αφορά στα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, τα ολικά στερεά, διακρίνονται σε αιωρούμενα (διάμετρος > 1 (μm)), κολλοειδή και διαλυτά (διάμετρος < 1 (nm))(Ανδρεαδάκης Α., 1986, σ. 3-2). Η μέτρηση των TS και TSS είναι ενδεικτική για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται στην παρουσία ιόντων στο νερό και η τυπική της τιμή στα φυσικά γλυκά νερά είναι 50 (μS/cm) ως 1500 (μS/cm) (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 40). Η θολότητα οφείλεται στην παρουσία οργανικών και ανόργανων κολλοειδών στερεών στο νερό, ενώ είναι ανεπιθύμητη στο νερό σε αυξημένες τιμές, επειδή αποτελεί ένδειξη παρουσίας παθογόνων ή και τοξικών ουσιών (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 45).

Από τις χημικές παραμέτρους, το pH οφείλεται στην ύπαρξη ανθρακικών και διττανθρακικών ριζών στο νερό και κατά την επεξεργασία του νερού, η τιμή του μπορεί να μεταβάλλεται, λόγω προσθήκης χημικών, όπως κροκιδωτικών (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 42). Η επόμενη χημική παράμετρος, το COD, είναι η ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε CO<sub>2</sub> και νερό. Μετρά

τόσο τη βιοδιασπάσιμη, όσο και τη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη και συνεπώς, αποτελεί δείκτη συνθηκών αποξυγόνωσης. Η μέτρησή του είναι πολύ πιο ταχεία από την μέτρηση του BOD<sub>5</sub>, που αποτελεί τον κύριο δείκτη συνθηκών αποξυγόνωσης, επειδή μετρά αποκλειστικά τη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (Ανδρεαδάκης Α., 1986, σ. 3-12). Τα ανιονικά τασιεργά (LAS) είναι επιφανειοδραστικές ουσίες των απορρυπαντικών, οι οποίες μεταβάλλουν την επιφανειακή τάση του υγρού στο οποίο περιέχονται και το δραστικό μέρος του μορίου τους είναι ανιόν. Παρασκευάζονται με πρώτη ύλη το πετρέλαιο (Πολυμένης Σ., 1977, σ. 165). Σε ότι αφορά στον ολικό φώσφορο (TP), μπορεί να βρίσκεται είτε διαλυτός, είτε σωματιδιακός και ευνοεί την ανάπτυξη αλγών, όμοια με το άζωτο. Επίσης, το ολικό άζωτο μπορεί να βρίσκεται σε οργανική ή ανόργανη (αμμωνιακό NH<sub>4</sub>-N, νιτρικό NO<sub>3</sub>-N, νιτρώδες NO<sub>2</sub>-N) μορφή. Το άθροισμα του οργανικού και αμμωνιακού αζώτου αποτελεί το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (Ανδρεαδάκης Α., 2011-2012, σ. 6).

Τα βαρέα μέταλλα είναι ευρέως γνωστό ότι προκαλούν αρνητικές επιδράσεις στην υγεία των οργανισμών. Το κάδμιο περιέχεται σε μεταλλικά μέρη ρούχων και σε κοσμήματα ([www.mlsi.gov.cy](http://www.mlsi.gov.cy)). Επομένως, μπορεί να ανιχνευθεί στο γκρίζο νερό που έχει έρθει σε επαφή με αυτά. Επίσης, δύναται να ευρεθεί στο γκρίζο νερό από το πλύσιμο των φρούτων και των λαχανικών, επειδή περιέχεται σε λιπάσματα (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 53), αλλά και να επανέλθει στην τροφική αλυσίδα σε περίπτωση επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού για άρδευση. Προκαλεί βλάβες στα νεφρά και στο συκώτι. Ο μόλυβδος μπορεί να βρίσκεται στο γκρίζο νερό, διότι αποτελούσε συστατικό των σωληνώσεων ύδρευσης που κατασκευάζονταν μέχρι τη δεκαετία του 1980. Προκαλεί βλάβες στο μυαλό, στο νευρομυϊκό, στο πεπτικό και στο κυκλοφορικό σύστημα, ενώ στα παιδιά προκαλεί μείωση της διανοητικής τους ικανότητας, αφού απορροφάται από τον οργανισμό τους κατά τέσσερις με πέντε φορές περισσότερο από ότι στους ενήλικες (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 59). Το χρώμιο είναι καρκινογόνο μόνο στην εξασθενή μορφή του. Το εξασθενές χρώμιο εισέρχεται στον οργανισμό μέσω της κατανάλωσης τροφών, ενώ μπορεί να εισέλθει και μέσω της αναπνευστικής οδού (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 54). Το νικέλιο, όπως και το κάδμιο, περιέχεται και αυτό σε μεταλλικά μέρη ρούχων και σε κοσμήματα ([www.mlsi.gov.cy](http://www.mlsi.gov.cy)), επομένως μπορεί να ανιχνευθεί στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου, του νιπτήρα και της μπανιέρας. Επίσης, πολλά υδραυλικά εξαρτήματα του δικτύου ύδρευσης περιέχουν νικέλιο (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 61). Μπορεί να επανέλθει στην τροφική αλυσίδα μέσω της άρδευσης. Ο υδράργυρος συγκεντρώνεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και προσβάλλει επιλεκτικά τα νευρικά κύτταρα και τα νεφρά. Εισέρχεται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφικής αλυσίδας, στην οποία κατέληξε λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ο οργανικός υδράργυρος είναι πολύ τοξικός, ενώ ο ανόργανος όχι τόσο (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 60). Σε ότι αφορά στον ψευδάργυρο, τα ελεύθερα ιόντα του είναι πολύ τοξικά για τα φυτά και τα ασπόνδυλα ζώα (Κόκκολη Α., 2012). Τέλος, ο χαλκός μπορεί να ανιχνευθεί στο νερό λόγω της κατασκευής του δικτύου ύδρευσης από χαλκοσωλήνες (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 56). Όλες οι ενώσεις χαλκού θεωρούνται τοξικές (Κόκκολη Α., 2012).

Ενδοκρινικοί διαταράκτες, σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD) είναι μια εξωγενής ουσία ή ένα μίγμα ουσιών που μεταβάλλει τη λειτουργία του ενδοκρινικού συστήματος. Συνεπώς, προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία σε έναν άθικτο οργανισμό ή στους απογόνους του. Η NP είναι η σημαντικότερη

αλκυλοφαινόλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή αιθοξυλιωμένων εννεύλοφαινολών, οι οποίες είναι εξαιρετικά επιφανειοδραστικές ουσίες. Αυτό συνεπάγεται τη χρήση της στο εμπόριο, π.χ. φυτοφάρμακα, και σε πολλά οικιακά προϊόντα, π.χ. απορρυπαντικά, γαλακτωματοποιητές. Έτσι, οι αιθοξυλιωμένες εννεύλοφαινόλες φτάνουν σε σημαντικές ποσότητες στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, όπου βιοαποδομούνται σε NP. Βέβαια, η τύχη της NP στα διάφορα περιβαλλοντικά συστήματα εξαρτάται από τις φυσικοχημικές συνθήκες που επηρεάζουν την αποδόμηση της ουσίας. Η NP προκαλεί καρκίνο του μαστού και μιμείται τη δράση των οιστρογόνων, με αποτέλεσμα να προκαλεί την ανάπτυξη και διατήρηση των χαρακτηριστικών του θηλυκού φύλου και να έχει αντιανδρογόνα δράση (Αξιομακάρου Μ., 2012). Οι NP1EO και NP2EO περιέχονται ως επιφανειοδραστικές ουσίες σε απορρυπαντικά πλυντηρίων ρούχων, μωγιές, φυτοφάρμακα, κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και προϊόντα προσωπικής φροντίδας. Είναι ασθενή οιστρογόνα, με δράσεις παρόμοιες με αυτές της NP (Αξιομακάρου Μ., 2012). Η τρικλοζάνη (TCS) έχει αντιμικροβιακή δράση και περιέχεται σε αντισηπτικά, σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας (οδοντόκρεμες, σαπούνια, σαμπουάν, αποσμητικά, καλλυντικά), σε προϊόντα καθαρισμού οικιακής χρήσης, σε παιχνίδια και βαφές. Επίσης, ενσωματώνεται στην επιφάνεια πλαστικών και κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και σκευών κουζίνας. Έχει αποδειχθεί ότι στοχοποιεί ευεργετικούς μικροοργανισμούς, έχει αντιανδρογόνα και αντιοιστρογόνα δράση, ενώ σχετίζεται με τον καρκίνο του προστάτη και την τοξικότητα στο ήπαρ (Αξιομακάρου Μ., 2012). Τέλος, η δισφαινόλη (BPA) περιέχεται στο πλαστικό βρεφικών μπουκαλιών και μπουκαλιών νερού, στην εσωτερική επικάλυψη κονσερβών, σε οδοντικά σφραγίσματα και χρησιμοποιείται στην παραγωγή χαρτιού. Είναι ουσία τοξική για το περιβάλλον και σχετίζεται με προβλήματα στην αναπαραγωγή και στην ανάπτυξη (ενδοκρινικές διαταραχές, δυσπλασίες, χρωμοσωμικές βλάβες, βιοχημικές αλλαγές) (Αξιομακάρου Μ., 2012). Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, οι συγκεκριμένοι ενδοκρινικοί διαταράκτες μπορούν να ανιχνευθούν στο γκρίζο νερό που προέρχεται από όλες τις πηγές (μπάνιο, νιπτήρας, κουζίνα, πλυντήριο).

Οι δείκτες παθογένειας (Total Coliforms, E.Coli, Εντερόκοκκοι) είναι εύκολα μετρούμενοι μικροοργανισμοί που έχουν κοινή προέλευση με τους παθογόνους μικροοργανισμούς που βρίσκονται στο πεπτικό σύστημα των ανθρώπων και των ζώων (Ανδρεαδάκης Α., 2008, σ. 31).

Όλα τα χαρακτηριστικά του νερού καταγράφονται στους παρακάτω πίνακες, όπου διευκρινίζεται η βιβλιογραφική πηγή, η προέλευση του γκρίζου νερού και η τιμή της εκάστοτε ποιοτικής παραμέτρου.

Στον Πίνακα 2.5 καταγράφονται τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού ως μίγμα και των επιμέρους πηγών του. Το γκρίζο νερό Τύπου Α, Β και Γ, διαφέρει από το μικτό γκρίζο νερό, ως προς την καθορισμένη σύνθεσή του, η οποία έγινε με βάση την ποσοστιαία συνεισφορά κάθε επιμέρους πηγής γκρίζου νερού στη συνολική (Χαρχούση Δ., 2014 • Antonopoulou et al., 2013) . Συγκεκριμένα, το γκρίζο νερό Τύπου Α αποτελείται από λύματα νεροχύτη, μπανιέρας, πλυντηρίου ρούχων και νιπτήρα, το γκρίζο νερό Τύπου Β αποτελείται από λύματα μπανιέρας, πλυντηρίου και νιπτήρα, ενώ το γκρίζο νερό Τύπου Γ αποτελείται από λύματα μπανιέρας και νιπτήρα. Επίσης, σημειώνεται ότι οι Friedler et al. (2004) και Jefferson et al. (2004) έχουν διαχωρίσει τις ροές που προκύπτουν από το μπάνιο σε ροές μπανιέρας και ντουζιέρας. Αυτό έχει

σημειωθεί στον Πίνακα 2.5 χρησιμοποιώντας τους δείκτες (BT) για την μπανιέρα και (SH) για την ντουζιέρα. Σε ότι αφορά στα ολικά στερεά (TS) και στα ολικά πτητικά στερεά (TSS), φαίνεται να παρουσιάζουν πολύ χαμηλές ελάχιστες τιμές και πολύ υψηλές μέγιστες τιμές. Οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης ολικών, ολικών αιωρούμενων και πτητικών αιωρούμενων στερεών εμφανίζονται στο γκρίζο νερό της κουζίνας. Αντίθετα, ενώ η συγκέντρωση ολικών στερεών στο πλυντήριο είναι εξίσου μεγάλη με αυτή του νεροχύτη, τα αιωρούμενα στερεά που περιέχονται στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου έχουν αρκετά χαμηλότερες από αυτές του νεροχύτη. Σύμφωνα με τους Eriksson et al. (2002), στο γκρίζο νερό του νεροχύτη υπάρχει υψηλή συγκέντρωση στερεών, λόγω της άμμου και της αργίλου που καταλήγει σε αυτό από το πλύσιμο των φρούτων και των λαχανικών, ενώ στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου, λόγω της ύπαρξης άμμου και αργίλου στα προς πλύση ρούχα, αλλά και ζεόλιθου στα απορρυπαντικά. Έτσι, συγκρίνοντας το γκρίζο νερό Τύπου Α και Β, που έχουν παρόμοια συγκέντρωση ολικών στερεών, με το γκρίζο νερό Τύπου Γ, προκύπτει ότι τα λύματα της κουζίνας και του πλυντηρίου επιφέρουν διπλάσια συγκέντρωση ολικών στερεών στα μίγματα Α και Β, σε σχέση με το Γ, στα στοιχεία της Χαρχούση Δ. (2014), όπου υπάρχουν στοιχεία από όλους τους τύπους γκρίζου νερού. Επίσης, το εύρος των συγκεντρώσεων είναι υψηλό και στις δυο αυτές πηγές γκρίζου νερού. Όσον αφορά την αγωγιμότητα, οι τιμές της είναι περίπου ίσες στο γκρίζο νερό του νιπτήρα και του μπάνιου. Τέλος, αν και τα στοιχεία για τη θολότητα είναι ελάχιστα, οι τιμές της φαίνεται να είναι αρκετά υψηλές και μεγάλο εύρος διακύμανσης στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό.

Οι χημικές παράμετροι του ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού καταγράφονται στον Πίνακα 2.6 (pH, COD<sub>t</sub>, COD<sub>s</sub>, BOD<sub>5</sub>) και στον Πίνακα 2.7 (TP, NH<sub>4</sub>-N, TKN, TN, LAS). Στον Πίνακα 2.6 και σε ότι αφορά στο pH, οι τιμές του τείνουν σε ελαφρά πιο όξινες στον νεροχύτη, πιθανότατα λόγω των υπολειμμάτων τροφών και σε ελαφρά πιο βασικές στο πλυντήριο ρούχων, στο μπάνιο και στον νιπτήρα, με υψηλότερες αυτές του πλυντηρίου ρούχων. Διευκρινίζεται ότι οι Jefferson et al. (2004) και Friedler et al (2004) έχουν διαχωρίσει τις ροές του μπάνιου σε ροές μπανιέρας και ντουζιέρας, όπως αναγράφεται στην αντίστοιχη υποσημείωση του Πίνακα 2.6. Πάντως, αυτές οι τιμές του pH στην μπανιέρα και στην ντουζιέρα δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Επίσης, οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στην ροή του πλυντηρίου και του νεροχύτη στα COD<sub>t</sub> και COD<sub>s</sub>, με υψηλή μάλιστα μεταβλητότητα. Στα λύματα του μπάνιου και του νιπτήρα, το COD<sub>t</sub> είναι στα ίδια επίπεδα τιμών και μεταβλητότητας. Ομοίως, ισχύει για το BOD<sub>5</sub>, οι τιμές του οποίου επηρεάζονται από την ύπαρξη οργανικού φορτίου στα λύματα της κουζίνας ή του πλυντηρίου ρούχων (Donner et al., 2010). Τέλος, συγκρίνοντας τους Τύπους γκρίζου νερού Α, Β και Γ, φαίνεται ότι η εξαίρεση των λυμάτων από το πλυντήριο και τον νεροχύτη προκαλεί μείωση στην συγκέντρωση των COD<sub>t</sub>, COD<sub>s</sub> και BOD<sub>5</sub> στο γκρίζο νερό Τύπου Γ στο μισό της τιμής της. Οι παραπάνω παρατηρήσεις οφείλονται στο βασικό pH των σαπουνιών και των απορρυπαντικών που χρησιμοποιούνται στην κάθε περίπτωση και εμπεριέχουν υψηλές συγκεντρώσεις COD.

Στον Πίνακα 2.7, φαίνεται ότι υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στις διάφορες εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των φωσφορικών και αζωτούχων ενώσεων. Η συγκέντρωση ολικού φωσφόρου (TP) φαίνεται μικρότερη στα λύματα της μπανιέρας και μεγαλύτερη στα λύματα του νεροχύτη. Όσον αφορά στο αμμωνιακό άζωτο, η συγκέντρωσή του είναι παρόμοια στον νεροχύτη και στο πλυντήριο. Επίσης, οι συγκεντρώσεις του είναι αρκετά

κοντά ως τιμές στα λύματα του μπάνιου και του νιπτήρα. Από τη συγκέντρωση του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl (TKN), που αποτελεί το άθροισμα του οργανικού και αμμωνιακού αζώτου, και δεδομένης της χαμηλής συγκέντρωσης αμμωνιακού αζώτου σε κάθε πηγή προέλευσης γκρίζου νερού, προκύπτει ότι η κύρια μορφή αζώτου στα λύματα είναι η οργανική. Επίσης, οι συγκεντρώσεις του ολικού αζώτου δεν διαφέρουν πολύ από αυτές του ολικού αζώτου κατά Kjeldahl, πράγμα που υποδεικνύει χαμηλή συγκέντρωση αζώτου σε νιτρική και νιτρώδη μορφή (ανόργανη μορφή). Επιπροσθέτως, οι ανόργανες τασιενεργές ουσίες (LAS) όπως ήταν αναμενόμενο, έχουν την υψηλότερη τιμή στα λύματα του πλυντηρίου, ενώ έπεται το γκρίζο νερό του νεροχύτη, του μπάνιου και του νιπτήρα. Τέλος, συγκρίνοντας τους διαφορετικούς τύπους γκρίζου νερού Α, Β και Γ, προκύπτει ότι οι συγκεντρώσεις φωσφόρου, αμμωνιακών, και αζώτου δεν διαφέρουν πολύ στους τύπους Α και Β, ενώ το γκρίζο νερό Τύπου Γ έχει και πάλι μειωμένες συγκεντρώσεις θρεπτικών στα στοιχεία της Χαρχούση Δ. (2014), όπου υπάρχουν και οι τρεις τύποι γκρίζου νερού. Γενικά, φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις του γκρίζου νερού σε θρεπτικά επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες (π.χ. είδος απορρυπαντικών, ποσότητα οργανικών φορτίων, συνήθειες ατόμων) σε σχέση με τις υπόλοιπες ποιοτικές παραμέτρους που αναλύθηκαν ως τώρα.

**Πίνακας 2.5:** Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

| Πηγή γκρίζου νερού | Αναφορά                                       | TS (mg/L)     | TSS (mg/L)    | VSS (mg/L)  | Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Θολότητα (NTU) |
|--------------------|---|---------------|---------------|-------------|----------------------------------|----------------|
| Τύπου Α            | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 649 ± 151     | 168 ± 70,3    | 155 ± 63,4  |                                  |                |
|                    | Antonopoulou et al. (2013)                    | 2 209 ± 1 067 | 542 ± 179     |             | 1 958 ± 294                      |                |
| Τύπου Β            | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 543 ± 151     | 100 ± 31,1    | 83,6 ± 24,3 |                                  |                |
| Τύπου Γ            | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 336 ± 49,5    | 79,2 ± 31,2   | 68,2 ± 27,6 |                                  |                |
|                    | Chaillou et al. (2011)                        |               | 125 ± 136     |             | 468 ± 124                        |                |
| Μικτό              | Donner et al. (2010)                          |               | (15 – 112)    |             |                                  |                |
|                    | Li et al. (2009)                              |               | (25 – 183)    |             |                                  | (29 – 375)     |
|                    | Schäfer et al. (2006)                         | (113 – 2 410) | (3,1 – 330)   |             |                                  |                |
|                    | Friedler et al. (2004)                        | 1190          | 298           | 203         |                                  |                |
|                    | Department of Health Western Australia (2002) |               | (45 – 330)    |             | (325 – 1 140)                    | (22 – >200)    |
| Νεροχύτης          | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 883 ± 429     | 319 ± 209     | 314 ± 205   | 449 ± 341                        |                |
|                    | Antonopoulou et al. (2013)                    | 879 ± 833     | 299 ± 324     |             | 930 ± 315                        |                |
|                    | Donner et al. (2010)                          |               | (235 – 720)   |             |                                  |                |
|                    | Li et al. (2009)                              |               | (134 – 1 300) |             |                                  | 298            |
|                    | Friedler et al. (2004)                        | 1 272 ± 1 020 | 625 ± 518     | 459 ± 370   |                                  |                |



**Πίνακας 2.5 (συνέχεια):** Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστου γκριζου νερού ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

|                  |                            |                           |                          |             |              |
|------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| Μπάνιο           | Χαρχούση Δ. (2014)         | 325 ± 55,3                | 73,5 ± 38,3              | 69,2 ± 35,2 | 318 ± 29,9   |
|                  | Antonopoulou et al. (2013) | 632 ± 217                 | 63,0 ± 38,0              |             | 939 ± 238    |
|                  | Donner et al. (2010)       |                           | (7,00 – 207)             |             |              |
|                  | Li et al. (2009)           |                           | (7,00 – 505)             |             | (44,0 – 375) |
|                  | Jefferson et al. (2004)    |                           | 58,0 ± 46 <sup>BT</sup>  |             |              |
|                  | Jefferson et al. (2004)    |                           | 89,0 ± 113 <sup>SH</sup> |             |              |
|                  | Friedler et al. (2004)     | 777 ± 303 <sup>BT</sup>   | 78,0 ± 105               | 76,0 ± 97,7 |              |
|                  | Friedler et al. (2004)     | 1 090 ± 440 <sup>SH</sup> | 303 ± 205                | 102 ± 83,6  |              |
| Πλυντήριο ρούχων | Χαρχούση Δ. (2014)         | 1 085 ± 608               | 169 ± 96,1               | 139 ± 90,3  | 653 ± 423    |
|                  | Donner et al. (2010)       |                           | (120 – 280)              |             |              |
|                  | Li et al. (2009)           |                           | (68,0 – 465)             |             | (50,0 – 444) |
|                  | Friedler et al. (2004)     | 2 021                     | 188                      | 106         |              |
| Νιπτήρας         | Χαρχούση Δ. (2014)         | 373 ± 96,0                | 90,5 ± 68,3              | 58,9 ± 48,3 | 318 ± 26,8   |
|                  | Antonopoulou et al. (2013) | 570 ± 180                 | 61,0 ± 37,0              |             | 903 ± 302    |
|                  | Jefferson et al. (2004)    |                           | 153 ± 226                |             |              |
|                  | Friedler et al. (2004)     | 835 ± 263                 | 259 ± 130                | 86,0 ± 51,5 |              |

Τύπου Α: νεροχύτης, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Β: μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Γ: μπανιέρα, νιπτήρας

BT: μπανιέρα SH: ντουζιέρα

**Πίνακας 2.6:** Χημικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

| Πηγή γκρίζου νερού | Αναφορά                                       | pH (-)        | COD <sub>t</sub> (mg/L) | COD <sub>s</sub> (mg/L) | BOD <sub>5</sub> (mg/L) |
|--------------------|---|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Τύπου Α            | Χαρχούση Δ. (2014)                            |               | 903 ± 286               | 470 ± 259               | 630 ± 233               |
|                    | Antonopoulou et al. (2013)                    | 9,03 ± 0,68   | 1 178 ± 245             |                         |                         |
| Τύπου Β            | Χαρχούση Δ. (2014)                            |               | 810 ± 346               | 449 ± 297               | 542 ± 242               |
| Τύπου Γ            | Χαρχούση Δ. (2014)                            |               | 401 ± 112               | 210 ± 113               | 274 ± 73,1              |
|                    | Chaillou et al. (2011)                        | 7,58 ± 0,15   | 399 ± 360               | 136 ± 91                | 240 ± 246               |
| Μικτό              | Donner et al. (2010)                          | (5,00 – 8,70) | (283 – 549)             |                         | (41,0 – 500)            |
|                    | Li et al. (2009)                              | (6,30 – 8,10) | (100 – 700)             |                         | (47 – 466)              |
|                    | Schäfer et al. (2006)                         | (5,00 – 10,9) | (3,80 – 1 380)          |                         | (33 – 1 460)            |
|                    | Friedler et al. (2004)                        |               | 822                     | 474                     | 477                     |
|                    | Department of Health Western Australia (2002) | (6,60 – 8,70) |                         |                         | (90 – 290)              |
| Νεροχύτης          | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 6,90 ± 0,42   | 1 119 ± 476             | 518 ± 225               | 831 ± 358               |
|                    | Antonopoulou et al. (2013)                    | 6,72 ± 0,40   | 775 ± 363               | 342 ± 341               |                         |
|                    | Donner et al. (2010)                          |               | (644 – 1 380)           |                         | (47 – 1 460)            |
|                    | Li et al. (2009)                              | (5,90 – 7,40) | (26 – 2 050)            |                         | (536 – 1 460)           |
|                    | Friedler et al. (2004)                        | 6,48 ± 0,60   | 1 340 ± 1 076           | 679 ± 549               | 890 ± 480               |

**Πίνακας 2.6 (συνέχεια):** Χημικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκριζου νερού ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

|                  |                             |                      |                     |                  |                  |
|------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|------------------|------------------|
| Μπάνιο           | Χαρχούση Δ. (2014)          | $7,49 \pm 0,17$      | $390 \pm 125$       | $193 \pm 113$    | $263 \pm 83,9$   |
|                  | Antonopoulou et al. (2013)  | $7,22 \pm 0,14$      | $399 \pm 183$       | $174 \pm 83,0$   |                  |
|                  | Donner et al. (2010)        | (6,40 – 8,60)        | (100 – 633)         |                  | (26,0 – 300)     |
|                  | Li et al. (2009)            | (6,40 – 8,10)        | (100 – 633)         |                  | (50,0 – 300)     |
|                  | Jefferson et al. (2004)     | $7,57 \pm 0,29^{BT}$ | $367 \pm 246$       |                  |                  |
|                  | Jefferson et al. (2004)     | $7,52 \pm 0,26^{SH}$ | $420 \pm 245$       |                  |                  |
|                  | Friedler et al. (2004)      | $7,14 \pm 0,04^{BT}$ | $230 \pm 195$       | $165 \pm 105$    | $424 \pm 219$    |
|                  | Friedler et al. (2004)      | $7,43 \pm 0,46^{SH}$ | $645 \pm 289$       | $319 \pm 218$    | $173 \pm 218$    |
| Πλυντήριο ρούχων | Χαρχούση Δ. (2014)          | $8,19 \pm 0,76$      | $2\ 072 \pm 1\ 401$ | $1\ 165 \pm 920$ | $1\ 363 \pm 950$ |
|                  | Donner et al. (2010)        | (8,10 – 10)          | (742 – 1 815)       |                  | (48 – 380)       |
|                  | Li et al. (2009)            | (7,10 – 10)          | (231 – 2 950)       |                  | (48 – 472)       |
|                  | Sostar – Turk et al. (2005) | 9,60                 | 280                 |                  | 195              |
|                  | Friedler et al. (2004)      | 7,50                 | 1 339               | 996              | 462              |
| Νιπτήρας         | Χαρχούση Δ. (2014)          | $7,64 \pm 0,25$      | $427 \pm 192$       | $272 \pm 203$    | $305 \pm 129$    |
|                  | Antonopoulou et al. (2013)  | $7,07 \pm 0,25$      | $335 \pm 207$       | $153 \pm 122$    |                  |
|                  | Jefferson et al. (2004)     | $7,32 \pm 0,27$      | $587 \pm 379$       |                  |                  |
|                  | Friedler et al. (2004)      | $7,00 \pm 0,30$      | $386 \pm 230$       | $270 \pm 173$    | $205 \pm 42,5$   |

Τύπου Α: νεροχύτης, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Β: μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Γ: μπανιέρα, νιπτήρας

BT: μπανιέρα SH: ντουζιέρα

**Πίνακας 2.7:** Χημικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

| Πηγή γκρίζου νερού | Αναφορά                                       | TP (mg/L)       | NH <sub>4</sub> -N (mg/L) | TKN (mg/L)    | TN (mg/L)     | LAS (mg/L) |
|--------------------|---|-----------------|---------------------------|---------------|---------------|------------|
| Τύπου Α            | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 1,23 ± 0,89     | 0,63 ± 0,43               | 4,10 ± 2,70   | 4,60 ± 2,70   | 135 ± 48   |
|                    | Antonopoulou et al. (2013)                    |                 |                           |               |               |            |
| Τύπου Β            | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 0,63 ± 0,52     | 0,81 ± 0,53               | 3,50 ± 2,10   | 3,70 ± 2,10   | 162 ± 85   |
| Τύπου Γ            | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 0,41 ± 0,61     | 0,49 ± 0,28               | 2,70 ± 1,90   | 2,80 ± 1,90   | 68 ± 26    |
|                    | Chaillou et al. (2011)                        | 0,42 ± 0,39     |                           |               | 9,50 ± 5,80   |            |
| Μικτό              | Donner et al. (2010)                          | (0,60 - >68,0)  |                           |               | (0,60 – 11,0) |            |
|                    | Li et al. (2009)                              | (0,11 – 22,8)   |                           |               | (1,70 – 34,3) |            |
|                    | Schäfer et al. (2006)                         | (0,0062 – 74,0) |                           |               | (0,28 – 74,0) |            |
|                    | Friedler et al. (2004)                        |                 | 1,60                      |               |               |            |
|                    | Department of Health Western Australia (2002) | (0,60 -27,3)    | (<1,00 – 25,4)            | (2,10 – 31,5) |               |            |
| Νεροχύτης          | Χαρχούση Δ. (2014)                            | 2,70 ± 3,10     | 0,20 ± 0,26               | 5,50 ± 4,80   | 6,50 ± 5,00   | 87 ± 76    |
|                    | Antonopoulou et al. (2013)                    |                 | 4,00 ± 4,80               |               |               |            |
|                    | Donner et al. (2010)                          | (68,0 – 74,0)   |                           |               | (40 ,0– 74,0) |            |
|                    | Li et al. (2009)                              | (2,90 - >74,0)  |                           |               | (11,4 – 74,0) |            |
|                    | Friedler et al. (2004)                        |                 | 0,60 ± 0,81               |               |               |            |

**Πίνακας 2.7 (συνέχεια):** Χημικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκριζου νερού ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

|                  |                             |                |             |                           |               |           |
|------------------|-----------------------------|----------------|-------------|---------------------------|---------------|-----------|
| Μπάνιο           | Χαρχούση Δ. (2014)          | 0,10 ± 0,14    | 0,53 ± 0,28 | 2,60 ± 2,20               | 2,70 ± 2,20   | 78 ± 34   |
|                  | Antonopoulou et al. (2013)  |                | 8,40 ± 12,6 |                           |               |           |
|                  | Donner et al. (2010)        | (0,10 - >49,0) |             |                           | (3,60 – 17,0) |           |
|                  | Li et al. (2009)            | (0,10 - >48,8) |             |                           | (3,60 – 19,4) |           |
|                  | Jefferson et al. (2004)     |                |             |                           |               |           |
|                  | Jefferson et al. (2004)     |                |             |                           |               |           |
|                  | Friedler et al. (2004)      |                |             | 0,89 ± 1,49 <sup>BT</sup> |               |           |
|                  | Friedler et al. (2004)      |                |             | 1,20 ± 0,83 <sup>SH</sup> |               |           |
| Πλυντήριο ρούχων | Χαρχούση Δ. (2014)          | 1,20 ± 0,81    | 1,40 ± 1,10 | 5,50 ± 5,20               | 6,20 ± 5,30   | 436 ± 288 |
|                  | Donner et al. (2010)        | (0,10 - >101)  |             |                           | (6,00 – 21,0) |           |
|                  | Li et al. (2009)            | (ND – 171)     |             |                           | (1,10 – 40,3) |           |
|                  | Sostar – Turk et al. (2005) | 9,90           | 2,45        |                           | 2,75          |           |
|                  | Friedler et al. (2004)      |                | 4,90        |                           |               |           |
| Νιπτήρας         | Χαρχούση Δ. (2014)          | 1,30 ± 2,00    | 0,33 ± 0,50 | 2,30 ± 2,00               | 2,50 ± 1,90   | 42 ± 26   |
|                  | Antonopoulou et al. (2013)  |                | 2,60 ± 2,90 |                           |               |           |
|                  | Jefferson et al. (2004)     |                |             |                           |               |           |
|                  | Friedler et al. (2004)      |                | 0,39 ± 0,29 |                           |               |           |

Τύπου Α: νεροχύτης, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Β: μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Γ: μπανιέρα, νιπτήρας

BT: μπανιέρα SH: ντουζιέρα

Στους Πίνακες 2.8 και 2.9 καταγράφονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων. Στον Πίνακα 2.8 παρατηρείται η μεγαλύτερη μεταβλητότητα του ψευδαργύρου και του χαλκού στο γκρίζο νερό Τύπου Γ, σε σχέση με τα Τύπου Α και Β. Επίσης, η μέγιστη τιμή ψευδαργύρου παρατηρείται στη ροή του πλυντηρίου ρούχων, ενώ η ελάχιστη στη ροή του νιπτήρα. Στον Πίνακα 2.9 φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις καδμίου και μολύβδου είναι σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, ενώ σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται το χρώμιο και το νικέλιο, αλλά με μεγάλη μεταβλητότητα τιμών. Ακόμη, στις επιμέρους ροές γκρίζου νερού(νεροχύτης, μπάνιο, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας), οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι αμελητέες. Εξαιρούνται το χρώμιο και ο μόλυβδος στη ροή του πλυντηρίου ρούχων.

**Πίνακας 2.8:** Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (Hg, Zn, Cu) στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

| Πηγή γκρίζου νερού | Αναφορά                    | Hg (μg/L)   | Zn (mg/L)       | Cu (μg/L)   |
|--------------------|----------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Τύπου Α            | Χαρχούση Δ. (2014)         |             | 0,092 ± 0,034   | 29 ± 26     |
| Τύπου Β            | Χαρχούση Δ. (2014)         |             | 0,095 ± 0,030   | 30 ± 28     |
| Τύπου Γ            | Χαρχούση Δ. (2014)         |             | 0,070 ± 0,0059  | 27 ± 35     |
|                    | Errikson & Donner (2009)   | (0,56 – 36) |                 |             |
| Ποικίλες πηγές     | Palmquist & Hanaeus (2005) | 0,022*      | (0,055 – 0,078) | (47 – 70,2) |
| Νεροχύτης          | Χαρχούση Δ. (2014)         |             | 0,091 ± 0,071   | 27 ± 27     |
| Μπάνιο             | Χαρχούση Δ. (2014)         |             | 0,078 ± 0,069   | 35 ± 47     |
| Πλυντήριο ρούχων   | Χαρχούση Δ. (2014)         |             | 0,20 ± 0,16     | 43 ± 29     |
| Νιπτήρας           | Χαρχούση Δ. (2014)         |             | <0,050          | 7,3 ± 9,4   |

\* τιμή που εμφανίσθηκε μόνο σε ένα εκ των δειγμάτων

Τύπου Α: νεροχύτης, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας

Τύπου Β: μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας

Τύπου Γ: μπανιέρα, νιπτήρας

Στον Πίνακα 2.10 καταγράφονται οι συγκεντρώσεις μικροοργανικών ενώσεων στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό. Σε αντίθεση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (ρύπους) που προαναφέρθηκαν, οι μικροοργανικές ουσίες δεν παρουσιάζουν μείωση στη συγκέντρωσή τους στο γκρίζο νερό Τύπου Γ, σε σχέση με τα Τύπου Α και Β. Επίσης, δεν παρουσιάζουν τη μέγιστη τιμή τους μόνο στη ροή του πλυντηρίου, αλλά και στου μπάνιου. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι βρίσκονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις σε πολλά προϊόντα προσωπικής υγιεινής. Τέλος, στον Πίνακα 2.11 παρουσιάζονται οι μικροβιολογικές παράμετροι του ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού. Οι συγκεντρώσεις τους φαίνεται να παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών και τα στοιχεία είναι δύσκολα συγκρίσιμα, τόσο μεταξύ ίδιων πηγών γκρίζου νερού, όσο και μεταξύ ίδιου είδους κολοβακτηριδίων.

**Πίνακας 2.9:** Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (Cd, Pb, Cr, Ni) στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

| Πηγή γκρίζου νερού | Αναφορά                    | Cd (μg/L)      | Pb (μg/L)     | Cr (μg/L)     | Ni (μg/L)     |
|--------------------|----------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Τύπου Α            | Χαρχούση Δ. (2014)         | <0,15          | <2,5          | 2,6 ± 1,5     | <5,0          |
| Τύπου Β            | Χαρχούση Δ. (2014)         | <0,15          | <2,5          | 2,7 ± 1,8     | <5,0          |
| Τύπου Γ            | Χαρχούση Δ. (2014)         | <0,15          | <2,5          | <2,5          | <5,0          |
|                    | Errikson & Donner (2009)   | (0,012 – 0,22) | (4,9 – 10)    |               | (5,1 – 27)    |
| Μικτό              | Palmquist & Hanaeus (2005) | (0,016 – 0,16) | (2,14 – 3,14) | (2,06 – 5,46) | (4,45 – 28,1) |
| Νεροχύτης          | Χαρχούση Δ. (2014)         | <0,15          | <2,5          | <2,5          | <5,0          |
| Μπάνιο             | Χαρχούση Δ. (2014)         | <0,15          | <2,5          | <2,5          | <5,0          |
| Πλυντήριο ρούχων   | Χαρχούση Δ. (2014)         | <0,15          | 3,9 ± 3,3     | 7,3 ± 7,1     | <5,0          |
| Νιπτήρας           | Χαρχούση Δ. (2014)         | <0,15          | <2,5          | <2,5          | <5,0          |

Τύπου Α: νεροχύτης, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας

Τύπου Β: μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας

Τύπου Γ: μπανιέρα, νιπτήρας

**Πίνακας 2.10:** Συγκέντρωση μικροοργανικών ενώσεων στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό ( $\mu \pm \sigma$  & ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

| Πηγή γκρίζου νερού | Αναφορά                      | NP (μg/L)     | NP1EO (μg/L)  | NP2EO (μg/L)  | TCS (μg/L)      | BPA (μg/L)      |
|--------------------|------------------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Τύπος Α            | Χαρχούση Δ. (2014)           | 26,4 ± 18,1   | 2,06 ± 1,31   | 1,81 ± 2,22   | 0,24 ± 0,22     | 0,37 ± 0,22     |
| Τύπος Β            | Χαρχούση Δ. (2014)           | 30,3 ± 21,9   | 2,29 ± 1,57   | 1,95 ± 1,91   | 0,30 ± 0,27     | 0,49 ± 0,31     |
| Τύπος Γ            | Χαρχούση Δ. (2014)           | 25,5 ± 11,2   | 2,53 ± 2,24   | 1,86 ± 1,32   | 0,40 ± 0,39     | 0,56 ± 0,43     |
|                    | Hernandez-Leal et al. (2011) | 7,5 ± 7,1     |               |               | 15,6 ± 6,8      | 0,74 ± 0,21     |
| Μικτό              | Almqvist & Hanaeus (2006)    | (0,56 – 1,1)  | (<0,5 – 3,7)  | (<0,5 – 5,0)  | (0,075 – 16,6)  |                 |
|                    | Palmquist & Hanaeus (2005)   | (2,82 – 5,95) | (2,75 – 6,73) | (4,02 – 15,9) | (0,56 – 5,9)    |                 |
| Νεροχύτης          | Χαρχούση Δ. (2014)           | 15,2 ± 18,5   | 1,46 ± 2,03   | 1,30 ± 2,84   | 0,0885 ± 0,0970 | 0,0974 ± 0,124  |
| Μπάνιο             | Χαρχούση Δ. (2014)           | 32,8 ± 12,7   | 3,22 ± 2,68   | 2,39 ± 1,49   | 0,436 ± 0,385   | 0,701 ± 0,510   |
| Πλυντήριο ρούχων   | Χαρχούση Δ. (2014)           | 61,8 ± 91,5   | 2,76 ± 3,44   | 2,89 ± 4,46   | 0,0991 ± 0,0869 | 0,439 ± 0,467   |
| Νιπτήρας           | Χαρχούση Δ. (2014)           | 3,66 ± 1,71   | 0,465 ± 0,403 | 0,206 ± 0,150 | 0,208 ± 0,232   | 0,0268 ± 0,0261 |

Τύπου Α: νεροχύτης, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Β: μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Γ: μπανιέρα, νιπτήρας



**Πίνακας 2.11:** Μικροβιολογικές παράμετροι στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό (ελάχιστο - μέγιστο σε παρένθεση)

| Πηγή γκρίζου νερού | Αναφορά                      | Μονάδες      | Total Coliforms                        | E. Coli                                 | Εντερόκοκκοι                           |
|--------------------|------------------------------|--------------|--|---|--|
| Τύπου Α            | www.fbr.de                   | MPN / 100 mL | ( $10^2 - 10^6$ )                      | ( $10^2 - 10^6$ )                       |  |
| Τύπου Β            | www.fbr.de                   | MPN / 100 mL | ( $10^2 - 10^6$ )                      | ( $10^1 - 10^5$ )                       |  |
| Τύπου Γ            | www.fbr.de                   | MPN / 100 mL | ( $10^1 - 10^5$ )                      | ( $10^1 - 10^5$ )                       |  |
|                    | Chaillou et al. (2011)       | CFU / 100 mL |  | ( $2,34 \cdot 10^4 - 2,07 \cdot 10^6$ ) | ( $25,7 - 1,51 \cdot 10^6$ )           |
| Ποικίλες Πηγές     | Casanova et al. (2001)       | CFU / 100 mL | ( $6,6 \cdot 10^5 - 2,10 \cdot 10^8$ ) |   | ( $3,2 \cdot 10^3 - 8,56 \cdot 10^6$ ) |
| Νεροχύτης          | Li et al. (2009)             | CFU / 100 mL | $>2,4 \cdot 10^8$                      |   |  |
| Πλυντήριο ρούχων   | Christova-Boal et al. (1996) | MPN / 100 mL | ( $2,3 \cdot 10^3 - 3,3 \cdot 10^5$ )  |   | ( $110 - 1,09 \cdot 10^3$ )            |

Τύπου Α: νεροχύτης, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Β: μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας, Τύπου Γ: μπανιέρα, νιπτήρας

## **2.3 Μέθοδοι και συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού**

Το γκρίζο νερό είναι δύσκολο να ταξινομηθεί, λόγω της εγγενούς μεταβλητότητάς του (Abu Ghunmi et al., 2011). Κατά τους Pidou et al. (2007) και Abu Ghunmi et al. (2011), οι τεχνολογίες επεξεργασίας γκρίζου νερού μπορούν να διακριθούν σε πέντε βασικές κατηγορίες συστημάτων:

- (α) Απλά συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν χονδροειδή διήθηση, καθίζηση ή/και απολύμανση.
- (β) Φυσικά συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν φίλτρα άμμου, προσροφητικά φίλτρα, μεμβράνες, γεωϋφάσματα, χωμάτινα φίλτρα, φίλτρα από νάιλον ή ύφασμα.
- (γ) Χημικά συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν φωτοκατάλυση, κροκίδωση ή ηλεκτροκροκίδωση.
- (δ) Βιολογικά συστήματα, τα οποία περιλαμβάνουν αερόβια φίλτρα, συστήματα βιολογικών δίσκων, αντιδραστήρες σταθερής κλίνης, αναερόβια φίλτρα, συστήματα διακοπτόμενης λειτουργίας (SBR) και βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR).
- (ε) Εκτεταμένα συστήματα.

### *2.3.1 Απλά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού*

Τα απλά συστήματα επεξεργασίας περιλαμβάνουν χονδροειδή διήθηση ή καθίζηση ή/και απολύμανση. Τέτοια συστήματα δεν επαρκούν ως κύρια επεξεργασία, εκτός εάν το οργανικό φορτίο των ανεπεξέργαστων λυμάτων είναι μικρό (Jefferson et al., 2004). Συνεπώς, χρησιμοποιούνται για «ασθενή» ανεπεξέργαστα λύματα, όπως αυτά που προέρχονται από το μπάνιο, το ντους και τον νιπτήρα, με μετέπειτα επαναχρησιμοποίηση στο καζανάκι της τουαλέτας και στο πότισμα του κήπου (Pidou et al., 2007).

Στον Πίνακα 2.12 καταγράφονται οι μεταβολές διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων κατά την επεξεργασία γκρίζου νερού με απλά συστήματα, όπως καταγράφηκαν από τους Pidou et al. (2007). Από τα αποτελέσματα του Πίνακα αυτού προκύπτει ότι η απολύμανση απομακρύνει το μεγαλύτερο ποσοστό των παθογόνων μικροοργανισμών, ενώ δεν φαίνεται πολύ αποτελεσματική η απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων στερεών και ολικού COD.

**Πίνακας 2.12:** Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε απλά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή)

| Διάταξη                        | Διάθεση                |         | COD <sub>t</sub><br>(mg/L) | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | Θολότητα<br>(NTU) | TSS<br>(mg/L) | Total Coliforms<br>(CFU/100 mL) |
|--------------------------------|------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|
| Εσχάρωση-Καθίζηση-Απολύμανση   | Καζανάκι               | Είσοδος | 171                        | -                          | 20                | 44            | -                               |
|                                |                        | Έξοδος  | 78                         | -                          | 17                | 19            | -                               |
| Διήθηση-Απολύμανση             | Καζανάκι               | Είσοδος | 74                         | -                          | 2                 | -             | Πολύ μεγάλη τιμή                |
|                                |                        | Έξοδος  | 11                         | -                          | 1                 | -             | 46                              |
| Διήθηση-Απολύμανση             | Καζανάκι               | Είσοδος | 157                        | -                          | 21                | -             | 2.10 <sup>5</sup>               |
|                                |                        | Έξοδος  | 47                         | -                          | 7                 | -             | 13                              |
| Χονδροειδής διήθηση-Απολύμανση | Καζανάκι               | Είσοδος | -                          | -                          | -                 | -             | -                               |
|                                |                        | Έξοδος  | 166                        | 40                         | 40                | 35            | Μη ανιχνεύσιμη τιμή             |
| Φίλτρο «φυσίγγιο»              | Καζανάκι-Πότισμα κήπου | Είσοδος | -                          | -                          | 21                | 19            | 2.10 <sup>8</sup>               |
|                                |                        | Έξοδος  | -                          | -                          | 7                 | 8             | 2.10 <sup>6</sup>               |
| Καθίζηση-Τάφρος                | Πότισμα κήπου          | Είσοδος | -                          | -                          | -                 | 405           | -                               |
|                                |                        | Έξοδος  | -                          | -                          | -                 | 100           | -                               |
| Καθίζηση                       | Πότισμα κήπου          | Είσοδος | -                          | -                          | -                 | 310           | -                               |
|                                |                        | Έξοδος  | -                          | -                          | -                 | 195           | -                               |
| Εσχάρωση-Τάφρος                | Πότισμα κήπου          | Είσοδος | -                          | -                          | -                 | 155           | -                               |
|                                |                        | Έξοδος  | -                          | -                          | -                 | 76            | -                               |

### 2.3.2 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού περιλαμβάνουν φίλτρα άμμου, προσροφητικά φίλτρα, μεμβράνες, φίλτρα από νάιλον ή ύφασμα, γεωυφάσματα και χωμάτινα φίλτρα. Από αυτήν την κατηγορία εξαιρείται η ύπαρξη μεμονωμένου φίλτρου άμμου (με ή χωρίς απολύμανση), διότι τότε λειτουργεί ως χονδροειδής διήθηση και κατατάσσεται στην κατηγορία των απλών συστημάτων επεξεργασίας (Pidou et al., 2007). Οι μεμβράνες χρησιμοποιούνται, ώστε να ικανοποιηθούν πιο εύκολα τα όρια ποιότητας στην έξοδο των συστημάτων επεξεργασίας (Abu Ghunmi et al., 2011).

Δύο σημαντικά προβλήματα που χρήζουν αντιμετώπισης στα φυσικά συστήματα είναι η ιλύς που παράγεται, αλλά και η συχνή έμφραξη των φίλτρων και μεμβρανών. Κατά τους Abu Ghunmi et al. (2011), η ιλύς που παράγεται χρειάζεται περεταίρω επεξεργασία. Επιπροσθέτως, ο χρόνος παραμονής της ιλύος στο σύστημα επεξεργασίας επηρεάζει την ποιότητα του εκρέοντος ύδατος. Συνεπώς, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των πόρων των φίλτρων και μεμβρανών και όσο μικρότερος είναι ο χρόνος παραμονής της ιλύος στο σύστημα, τόσο πιο σταθερή είναι η ποιότητα των εκροών. Σε ότι αφορά στην έμφραξη των φίλτρων, μπορεί να απαιτείται συχνότητα καθαρισμού από μία φορά έπειτα από κάθε χρήση, έως μία φορά την εβδομάδα (Christova-Boal et al., 1995 • Jefferson et al., 1999 • Friedler et al., 2006). Επίσης, οι Ngiem L. et al. (2006) παρατήρησαν ότι η συχνότητα έμφραξης των φίλτρων αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της συγκέντρωσης των οξέων του ανθρώπινου σώματος (οργανικά στερεά) στο γκρίζο νερό. Ακόμη, η ύπαρξη αυξημένης συγκέντρωσης ασβεστίου μπορεί να εντείνει το φαινόμενο της έμφραξης. Οι Friedler et al. (2008) αναφέρουν ότι η απουσία προεπεξεργασίας στο σύστημά τους, που αποτελούνταν από υπερδιήθηση κι έπειτα μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης, οδήγησε σε μείωση της διαπερατότητας της μεμβράνης κατά 20% σε σχέση με την αρχική της κατάσταση μετά από τρεις ημέρες λειτουργίας. Αυτό, το απέδωσαν στην συγκέντρωση του οργανικού φορτίου επάνω στην μεμβράνη, η οποία οδήγησε αργότερα σε βιοσυσσώρευση. Έτσι, ανέμεναν να μειωθεί και η διαπερατότητα των μεμβρανών αντίστροφης ώσμωσης, εξαιτίας της διαρκούς κλιμάκωσης ανόργανων αλάτων (φωσφορικών και ανθρακικών). Θεωρούν, λοιπόν, αναγκαία, την προεπεξεργασία σε ένα σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού. Σημειώνεται ότι ένας ακόμη λόγος συχνού καθαρισμού των συστημάτων κατά τους Jefferson et al. (1999) και Holden & Ward (1999), είναι η ανάπτυξη αναερόβιων συνθηκών και η παραγωγή οργανικών παραπροϊόντων που δύσκολα συγκρατούνται από τις μεμβράνες.

Οι Pidou et al. (2007) συγκέντρωσαν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας γκρίζου νερού σε φυσικά συστήματα. Αυτά, εμπλουτίστηκαν περαιτέρω και μαζί με πρόσθετα βιβλιογραφικά δεδομένα, συγκεντρώθηκαν στον Πίνακα 2.13, όπου αναφέρεται και η βιβλιογραφική πηγή τους. Γενικά, φαίνεται ότι η αντίστροφη ώσμωση έχει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την υπερδιήθηση, πράγμα που προκύπτει τόσο από την μείωση του ολικού COD, όσο και από τη μείωση της θολότητας. Για παράδειγμα, όταν η αρχική τιμή COD ήταν 146 (mg/L), με την υπερδιήθηση μειώθηκε στα 74 (mg/L) (απομάκρυνση 50%), ενώ όταν η αρχική τιμή COD ήταν 130 (mg/L), με την αντίστροφη ώσμωση μειώθηκε στα 3 (mg/L), δηλαδή επιτεύχθηκε μείωση 98%.

Οι Friedler et al. (2008), σε πιλοτικό σύστημα που αποτελούνταν από απολύμανση, ως προεπεξεργασία, και από υπερδιήθηση και μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης, ως

κυρίως επεξεργασία, αναφέρουν ότι η απολύμανση με χλώριο μπορεί να αναστείλει την δράση των μικροοργανισμών στο κατάντη σύστημα επεξεργασίας. Επίσης, αναφέρουν ότι η δράση της απολύμανσης επηρεάζει διαφορετικά την ποιότητα των εκρεόντων λυμάτων σε σχέση με τα λύματα χωρίς αρχική απολύμανση, πιθανότατα λόγω της μερικής οξειδωσης και της αλλαγής στο οργανικό φορτίο στο κατάντη σύστημα. Σε ότι αφορά τον τρόπο απολύμανσης που χρησιμοποιείται, οι Jefferson et al. (1999) αναφέρουν ότι δεν επιτυγχάνεται πάντα το επιθυμητό αποτέλεσμα στην απομάκρυνση οργανικού φορτίου και στην τιμή της αγωγιμότητας, όταν γίνεται απολύμανση με αλογόνα (π.χ. Χλώριο, βρώμιο), διότι αυτά έχουν την ικανότητα να αντιδρούν με τις οργανικές ενώσεις. Επίσης, το χωμάτινο φίλτρο των Itayama et al (2004), φαίνεται να μην είναι εξίσου αποδοτικό με τις μεμβράνες νανοδιήθησης των Ramon et al. (2004). Παρόλα αυτά, το ίδιο χωμάτινο φίλτρο φαίνεται να είναι περισσότερο αποδοτικό από την υπερδιήθηση των Sostar-Turk et al. (2005), αφού για την ίδια τάξη μεγέθους αρχικού COD και στερεών, υπάρχει μεγαλύτερη απομάκρυνση από αυτό. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται αφενός μεν στο μέγεθος των στερεών στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό, αφετέρου δε στο μέγεθος των πόρων του φίλτρου ή της μεμβράνης στο σύστημα επεξεργασίας (Abu Ghunmi et al., 2011).

Στον Πίνακα 2.13 παρατηρούνται, ακόμη, μεγάλες διαφορές στην υδραυλική φόρτιση των συστημάτων επεξεργασίας, οι οποίες κυμαίνονται από πολύ χαμηλές τιμές, π.χ. 0,086 (m/d), έως αρκετά υψηλές, π.χ. 1 (m/d).

Στον Πίνακα 2.14 καταγράφονται οι ποιοτικές παράμετροι (γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά, χημικές παράμετροι και μικροοργανικές ενώσεις) του συστήματος επεξεργασίας της Χαρχούση Δ., το οποίο περιλαμβάνει καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Σημειώνεται ότι τα στοιχεία έχουν παρθεί από διάγραμμα και είναι προσεγγιστικά.

**Πίνακας 2.13:** Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή)

| Διάταξη                                  | Αναφορά                   | Υδραυλικός φόρτος (m/d) | COD <sub>t</sub> (mg/L) | BOD <sub>5</sub> (mg/L) | Θολότητα (NTU) | TSS (mg/L) | E. Coli (CFU/100 mL) |
|--|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|------------|----------------------|
| Υπερδιήθηση                              | Friedler et al. (2008)    | Είσοδος                 |                         | 104                     | 34             | 61,3       |                      |
|  |                           | Έξοδος                  |                         |                         | <1,0           |            |                      |
|  | Sostar-Turk et al. (2005) | Είσοδος                 | 280                     | 195                     |                | 35         |                      |
|  |                           | Έξοδος                  | 130                     | 86                      |                | 18         |                      |
|  | Ramon et al. (2004)       | Είσοδος                 | 165                     |                         | 24             |            |                      |
|  |                           | Έξοδος                  | 51                      |                         | 0,8            |            |                      |
|  | Ward (2000)               | Είσοδος                 | 146                     |                         | 17             |            |                      |
|  |                           | Έξοδος                  | 74                      |                         | 1,0            |            |                      |
| Birks (1998)                             | Είσοδος                   | 451                     | 274                     |                         |                |            |                      |
|  | Έξοδος                    | 117                     | 53                      |                         |                |            |                      |
| Αντίστροφη Ώσμωση                        | Ramon et al. (2004)       | Είσοδος                 | 130                     | 86                      |                | 18         |                      |
|  |                           | Έξοδος                  | 3                       | 2                       |                | 8          |                      |
| Υπερδιήθηση-Αντίστροφη Ώσμωση            | Friedler et al. (2008)    | Είσοδος                 |                         | 104                     | 34             | 61,3       |                      |
|  |                           | Έξοδος                  |                         |                         | <1,0           |            |                      |
| Απολύμανση-Υπερδιήθηση                   | Friedler et al. (2008)    | Είσοδος                 |                         | 104                     | 34             | 61,3       |                      |
|  |                           | Έξοδος                  |                         |                         | 1,2            |            |                      |
| Απολύμανση-Υπερδιήθηση-Αντίστροφη Ώσμωση | Friedler et al. (2008)    | Είσοδος                 |                         | 104                     | 34             | 61,3       |                      |
|  |                           | Έξοδος                  |                         | <1,0                    | <1,0           |            |                      |
| Φίλτραυση-GAC-Φίλτρο Άμμου-Απολύμανση    | Prathapar et al (2006)    | Είσοδος                 | 51                      |                         | 13             | 9          |                      |
|  |                           | Έξοδος                  | 35                      |                         | 6,0            | 4          |                      |

**Πίνακας 2.13 (συνέχεια):** Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή)

|  |                          |       |         |     |     |     |                     |      |
|--|--------------------------|-------|---------|-----|-----|-----|---------------------|------|
| Καθίζηση-Φίλτρο<br>Άμμου-GAC                                 | Χαρχούση Δ.<br>(2014)    |       | Είσοδος | 335 |     | 81  | 70                  |      |
|  |                          |       | Έξοδος  | 30  |     | 10  | 10                  |      |
| Χωμάτινο Φίλτρο  | Itayama et al.<br>(2004) | 0,086 | Είσοδος | 271 | 477 |     | 105                 |      |
|  |                          |       | Έξοδος  | 42  | 166 |     | 23                  |      |
| Μεμβράνες<br>Νανοδιήθησης                                    | Ramon et al.<br>(2004)   |       | Είσοδος | 226 |     | 30  | 28                  |      |
|  |                          |       | Έξοδος  | 15  |     | 1,0 | 0                   |      |
| Εσχάρωση-<br>Απολύμανση-<br>Πολυστρωματικό<br>Φίλτρο-Οζόνωση | CMHC (2002)              | 1,000 | Είσοδος |     | 130 | 82  | 67                  | 8870 |
|  |                          |       | Έξοδος  |     |     | 26  | 21                  | 8    |
| Φίλτρο Άμμου-<br>Μεμβράνες-<br>Απολύμανση                    | Ward et al.<br>(2000)    |       | Είσοδος | 65  | 23  | 18  | 5.10 <sup>3</sup>   |      |
|  |                          |       | Έξοδος  | 18  | 8   | 0,0 | 0                   |      |
| Φίλτρο Άμμου-<br>Μεμβράνη-<br>Απολύμανση                     | Holden &<br>Ward         |       | Είσοδος | 143 | 33  | 45  |                     |      |
|  |                          |       | Έξοδος  | 22  | 5   | 0,3 | 0*                  |      |
| Μεμβράνες  | Ahn et al.<br>(1998)     |       | Είσοδος | 64  |     | 10  |                     |      |
|  |                          |       | Έξοδος  | 10  |     | 0,0 |                     |      |
| Χωμάτινο Φίλτρο-<br>Απολύμανση                               | Hypes et al.<br>(1975)   | 0,320 | Είσοδος |     |     | 17  | 2.10 <sup>6</sup> * |      |
|  |                          |       | Έξοδος  |     |     | 9,0 | 34*                 |      |
| Χωμάτινο Φίλτρο-<br>GAC-Απολύμανση                           | Hypes et al.<br>(1975)   | 0,240 | Είσοδος |     |     | 23  | 1.10 <sup>5</sup> * |      |
|  |                          |       | Έξοδος  |     |     | 9,0 | 4*                  |      |

\* Όχι E.Coli, αλλά Total Coliforms

**Πίνακας 2.14:** Ποιοτικές παράμετροι ανά στάδιο επεξεργασίας σε φυσικό σύστημα επεξεργασίας (μέση τιμή)

| Αναφορά   | Στάδιο Επεξ/σίας | Αγωγιμότητα (μS/cm) | Θολότητα (NTU) | TSS (mg/L) | VSS (mg/L) | COD <sub>t</sub> (mg/L) | COD <sub>s</sub> (mg/L) | LAS (mg/L) | NP (μg/L) | NP1EO (μg/L) | NP2EO (μg/L) | TCS (μg/L) | BPA (μg/L) |
|-----------|------------------|---------------------|----------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|
|           | Είσοδος          | 326                 | 80,8           | 70,2       | 59,3       | 337                     | 167                     | 55         | 11,5      | 0,503        | 0,571        | 1,11       | 0,097      |
| Χαρχούση  | Καθίζηση         | 333                 | 63,4           | 54,5       | 49,2       | 309                     | 150                     | 49         | 12,9      | 0,641        | 0,533        | 0,850      | 0,258      |
| Δ. (2014) | Φ. Άμμου         | 339                 | 35,5           | 29,0       | 27,8       | 231                     | 132                     | 34         | 11,2      | 0,534        | 0,734        | 1,22       | 0,381      |
|           | GAC              | 381                 | 11,4           | 10,9       | 10,7       | 28,4                    | <15                     | <2         | 1,16      | 0,081        | 0,302        | 0,038      | 0,005      |



### 2.3.3 Χημικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Τα χημικά συστήματα επεξεργασίας περιλαμβάνουν φωτοκατάλυση, κροκίδωση ή ηλεκτρο-κροκίδωση. Τα κυριότερα κροκιδωτικά είναι το θειϊκό αργίλιο, ο χλωριούχος σίδηρος και οι πολυηλεκτρολύτες. Αυτά, σε συνδυασμό με συνθήκες μίξης, δίνουν έναν πιο σημαντικό ρόλο στην αρχική δεξαμενή του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού (Abu Ghunmi et al., 2011). Σε ότι αφορά στην φωτοκατάλυση, μπορεί να επιτευχθεί με σωληνοειδή αντιδραστήρα (MCR) που συνδυάζει τη φωτοκατάλυση (με χρήση  $\text{TiO}_2$ ) με τη φίλτραση μέσω μεμβρανών (Abu Ghunmi et al., 2011).

Τα σημαντικότερα προβλήματα που προκύπτουν στα χημικά συστήματα, όπως και στα φυσικά, είναι η απομάκρυνση της λύσης και ο καθαρισμός των φίλτρων (Abu Ghunmi et al., 2011). Λεπτομερής αναφορά σε αυτά τα προβλήματα έγινε στο εδάφιο 3.2.2. Σε ότι αφορά στους αντιδραστήρες MCR, τα κυριότερα μειονέκτηματά τους είναι η πλήρωση των μεμβρανών, η αντικατάσταση του  $\text{TiO}_2$  και η έντονη διακύμανση της συγκέντρωσης COD στην έξοδο (Winward et al., 2008 • Li et al., 2003). Επίσης, όταν γίνεται επεξεργασία με  $\text{TiO}_2$  είναι αναγκαία η απομάκρυνση της ένωσης αυτής από τα λύματα με περαιτέρω επεξεργασία, γεγονός που είναι αρκετά χρονοβόρο (Li et al., 2003).

Στον Πίνακα 2.15 καταγράφονται τα κυριότερα βιβλιογραφικά στοιχεία, όπως βρέθηκαν σε πίνακα από τους Pidou et al. (2007) και εμπλουτίστηκαν από άλλες βιβλιογραφικές πηγές. Οι Antonopoulou et al. (2011), αναφέρουν δύο κατηγορίες γκρίζου νερού, μία που περιέχει λύματα από όλες τις πηγές (μπάνιο, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων, νεροχύτης) και μία που περιέχει λύματα από όλες τις παραπάνω, εξαιρώντας το πλυντήριο ρούχων. Στον Πίνακα 2.15 έχουν χρησιμοποιηθεί ως δεδομένα τα αποτελέσματα του γκρίζου νερού από όλες τις πηγές χωρίς το πλυντήριο ρούχων. Επίσης, στον Πίνακα 2.15 οι Friedler et al. (2008) χρησιμοποίησαν  $\text{FeCl}_3$  ως κροκιδωτικό, οι Lin et al. (2005)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , οι Selcuk et al. (2005)  $\text{FeSO}_4$  και  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (στον Πίνακα 2.13 καταγράφονται μόνο οι τιμές για δόση 250 (mg/L)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), οι Sostar et al. (2005)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , οι Parsons et al. (2000) φωτοχημική οξειδωση με  $\text{TiO}_2$  και οι Jefferson et al. (1999)  $\text{FeCl}_3$ . Στον Πίνακα 2.15 φαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα όλων των μεθόδων επεξεργασίας για τις οποίες υπάρχουν μετρήσεις είναι μεγάλη σε ότι αφορά στο ολικό BOD, στη θολότητα, στα στερεά και στα E.Coli. Αντίθετα, φαίνεται να χρειάζεται περισσότερη επεξεργασία για το ολικό COD, π.χ. επεξεργασία μέσω GAC, όπως στην περίπτωση των Sostar-Turk et al. (2005), αφού μόνο η συγκεκριμένη απομάκρυνση COD, ως ποσοστό της αρχικής του τιμής, μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική. Ο υδραυλικός φόρτος των χημικών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν των φυσικών συστημάτων.

Στον Πίνακα 2.16 καταγράφονται τα λεπτομερή αποτελέσματα, ως προς την απομάκρυνση ολικού COD, των πειραμάτων των Antonopoulou et al. (2011), Selcuk et al. (2005) και Pidou et al. (2008). Οι Antonopoulou et al. (2011) χρησιμοποίησαν δυο κατηγορίες λυμάτων, μία που περιέχει λύματα από όλες τις πηγές (μπάνιο, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων, νεροχύτης) και μία που περιέχει λύματα από όλες τις παραπάνω, εξαιρώντας το πλυντήριο ρούχων. Στον Πίνακα 2.16 χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας όλων των ροών. Οι Pidou et al. (2008) χρησιμοποίησαν μοναδική δόση κροκιδωτικού, τη βέλτιστη, για λύματα που προέρχονται από το μπάνιο, το ντους και τον νιπτήρα. Οι Selcuk et al. (2005) χρησιμοποίησαν λύματα που προέρχονται από κλωστοϋφαντουργική βιομηχανία. Στον Πίνακα 2.16 φαίνεται ότι, γενικά, τα  $\text{FeCl}_3$  και  $\text{FeSO}_4$  είναι πιο αποτελεσματικά κροκιδωτικά ως προς την απομάκρυνση ολικού COD σε

σχέση με το  $Al_2(SO_4)_3$ . Επομένως, απαιτούνται μικρότερες ποσότητες κροκιδωτικού, ώστε να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα.

Στον Πίνακα 2.17 καταγράφονται τα αποτελέσματα, ως προς την απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων στερεών, των πειραμάτων των Antonopoulou et al. (2011), και πάλι για γκρίζο νερό που περιέχει όλες τις ροές. Γενικά, φαίνεται ότι και στην περίπτωση των TSS, το  $FeCl_3$  είναι πιο αποτελεσματικό κροκιδωτικό σε σχέση με το  $Al_2(SO_4)_3$ , ενώ στην περίπτωση του ολικού COD, το  $Al_2(SO_4)_3$  είναι αποτελεσματικότερο. Επίσης, παρατηρείται ότι, για τις ίδιες δόσεις, το  $FeCl_3$  είναι πιο αποτελεσματικό στην απομάκρυνση TSS, όπως και το  $Al_2(SO_4)_3$ . Γενικά, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη απομάκρυνση τόσο ολικού COD, όσο και ολικών αιωρούμενων στερεών TSS, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί  $Al_2(SO_4)_3$  (Antonopoulou et al., 2011).

Στον Πίνακα 2.18 καταγράφονται οι ποιοτικές παράμετροι ανά στάδιο επεξεργασίας σε χημικά συστήματα επεξεργασίας των Antonopoulou et al. (2011) και Sostar Turk et al. (2005), τα οποία περιλαμβάνουν κροκίδωση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Στον Πίνακα 2.18 φαίνεται ότι για τα ίδια στάδια επεξεργασίας τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού είναι παρόμοια.

**Πίνακας 2.15:** Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε φυσικά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή)

| Διάταξη   | Αναφορά                    | Υδραυλικός φόρτος (m/h)    |                   | CODt (mg/L)         | BOD5 (mg/L) | Θολότητα (NTU) | TSS (mg/L) | E. Coli (CFU/100 mL) |
|---|----------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|-------------|----------------|------------|----------------------|
| Κροκίδωση-Φίλτρο Άμμου-GAC                                  | Antonopoulou et al. (2011) | 4 για άμμο<br>17,5 για GAC | Είσοδος<br>Έξοδος | 792<br>28           |             |                | 316<br>11  |                      |
| Κροκίδωση-Υπερδιήθηση                                       | Friedler et al. (2008)     |                            | Είσοδος<br>Έξοδος |                     | 104         | 34<br><1       | 61,3       |                      |
| Κροκίδωση-Απολύμανση-Υπερδιήθηση                            | Friedler et al. (2008)     |                            | Είσοδος<br>Έξοδος |                     | 104         | 34<br><1       | 61,3       |                      |
| Κροκίδωση-Υπερδιήθηση-Φίλτρο Αντίστροφης Ώσμωσης            | Friedler et al. (2008)     |                            | Είσοδος<br>Έξοδος |                     | 104         | 34<br><1       | 61,3       |                      |
| Κροκίδωση-Απολύμανση-Υπερδιήθηση-Φίλτρο Αντίστροφης Ώσμωσης | Friedler et al. (2008)     |                            | Είσοδος<br>Έξοδος |                     | 104         | 34<br><1       | 61,3       |                      |
| Ηλεκτροκροκίδωση-Απολύμανση                                 | Lin et al. (2005)          |                            | Είσοδος<br>Έξοδος | 55<br>22            | 23<br>9     | 43<br>4        | 29<br>9    | 5100<br>~0           |
| Απολύμανση-Κροκίδωση  | Selcuk et al. (2005)       |                            | Είσοδος<br>Έξοδος | 1150<br>127         | 170         |                | 150        |                      |
| Κροκίδωση-Φίλτρο Άμμου-GAC                                  | Sostar-Turk et al. (2005)  | 10                         | Είσοδος<br>Έξοδος | 280<br>20           | 195<br>10   |                | 35<br><5   |                      |
| Φωτοχημική οξείδωση   | Parsons et al. (2000)      |                            | Είσοδος<br>Έξοδος | 139-660*<br>26-139* |             |                |            | 10 <sup>6</sup><br>0 |
| Κροκίδωση   | Jefferson et al. (1999)    |                            | Είσοδος<br>Έξοδος | 100<br>30           |             | 29,4<br>2,41   |            |                      |

\*σε όρους TOC

**Πίνακας 2.16:** Απομάκρυνση ολικού COD (%) ανάλογα με το είδος και τη δόση του κροκιδωτικού

| Αναφορά                    | Κροκιδωτικό   | Δόση κροκιδωτικού (mg/L) |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|----------------------------|---|--------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                            |   | 20                       | 40   | 60  | 80  | 100 | 250 | 300 | 500 | 750 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 |
| Antonopoulou et al. (2011) | FeCl <sub>3</sub>   | 13%                      | 14%  | 17% | 18% |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|                            | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·14H <sub>2</sub> O |                          |      |     |     | 9%  |     | 15% | 23% |     | 39% |      |      |      |
| Pidou et al. (2008)        | FeSO <sub>4</sub>   |                          | 64%* |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|                            | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O | 64%**                    |      |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
| Selcuk et al. (2005)       | FeSO <sub>4</sub>   |                          |      |     |     |     | 15% |     | 38% | 55% |     | 59%  | 62%  | 65%  |
|                            | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·14H <sub>2</sub> O |                          |      |     |     |     | 11% |     |     | 49% |     |      | 56%  | 59%  |

\*στα 44 (mg/L) \*\*στα 24 (mg/L)

**Πίνακας 2.17:** Απομάκρυνση ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) (%) ανάλογα με το είδος και τη δόση του κροκιδωτικού

| Αναφορά                    | Κροκιδωτικό   | Δόση κροκιδωτικού (mg/L) |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                            |   | 20                       | 40  | 60  | 80  | 100 | 300 | 500 | 800 |
| Antonopoulou et al. (2011) | FeCl <sub>3</sub>   | 77%                      | 68% | 67% | 56% |     |     |     |     |
|                            | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·14H <sub>2</sub> O |                          |     |     |     | 65% | 51% | 42% | 57% |

**Πίνακας 2.18:** Ποιοτικές παράμετροι ανά στάδιο επεξεργασίας σε χημικό σύστημα επεξεργασίας (μέση τιμή)

| Αναφορά                    | Στάδιο Επεξ/σίας | pH (-) | COD <sub>t</sub> (mg/L) | TSS (mg/L) |
|----------------------------|------------------|--------|-------------------------|------------|
| Antonopoulou et al. (2011) | Είσοδος          | 7,23   | 792                     | 316        |
|                            | Κροκίδωση        | 4,85   | 163                     | 37         |
|                            | Φ. Άμμου         | 5,91   | 156                     | 22         |
|                            | GAC              | 7,21   | 28                      | 11         |
| Sostar Turk et al. (2005)  | Είσοδος          | 9,6    | 280                     |            |
|                            | Κροκίδωση        | 7,9    | 180                     |            |
|                            | GAC              | 6,8    | 20                      |            |

#### 2.3.4 Βιολογικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού περιλαμβάνουν βιολογικά φίλτρα, τα οποία διακρίνονται στις κατηγορίες των μακρο-βιοφίλτρων και των βιοφίλτρων με μεμβράνες (Abu Ghunmi et al., 2011). Τα μακρο-βιοφίλτρα διακρίνονται σε φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας και σε φίλτρα αιωρούμενης βιομάζας. Στα μακρο-βιοφίλτρα ανήκουν τα αναερόβια φίλτρα (AnBF) και οι κλίνες βυθισμένων βιοφίλτρων (Imura et al., 1995). Φίλτρα προσκολλημένης βιομάζας είναι τα αερόβια βιολογικά φίλτρα (BAF) (Jefferson et al., 1999). Βιοφίλτρα μεμβρανών είναι οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR) και διακρίνονται σε μεμβράνες που κατακλύζονται από γκρίζο νερό και σε μεμβράνες παράπλευρης ροής. Όλα τα προαναφερθέντα συστήματα, εκτός από τα αναερόβια, τροφοδοτούνται από παροχή οξυγόνου (Abu Ghunmi et al., 2011). Οι Pidou et al. (2007) αναφέρουν ακόμη δύο περιπτώσεις βιολογικών συστημάτων, τα συστήματα βιολογικών δίσκων (RBC) και τα συστήματα διακοπτόμενης λειτουργίας (SBR).

Βιολογική επεξεργασία μπορεί να θεωρηθεί και η αναερόβια δεξαμενή προεπεξεργασίας UASB. Κατά τους Abu Ghunmi et al. (2011) υπάρχουν πέντε βασικοί λόγοι για τους οποίους είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται αναερόβια προεπεξεργασία σε συστήματα όπου οι συγκεντρώσεις ρύπων στο γκρίζο νερό είναι υψηλές. Οι λόγοι αυτοί είναι:

- (α) Κατά τους Elmitwalli & Otterpohl (2007) και Zeeman et al. (2008), το 74% των ρύπων του γκρίζου νερού είναι αναερόβια βιοδιασπάσιμοι.
- (β) Οι Abu Ghunmi et al. (2008) υποστήριξαν την πιθανή ανεπάρκεια των θρεπτικών συστατικών, του αζώτου και του φωσφόρου να διατηρήσουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε αερόβιες συνθήκες.
- (γ) Η αναερόβια επεξεργασία παράγει λιγότερη και πιο σταθεροποιημένη λάσπη που μπορεί εύκολα να αφυδατωθεί.
- (δ) Δεν χρειάζεται να σπαταληθεί ενέργεια για παροχή οξυγόνου.
- (ε) Παράγεται μεθάνιο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας (Lettinga et al., 1980).

Τα κυριότερα προβλήματα των βιοφίλτρων είναι η ανάγκη καθαρισμού τους και η πλήρωση των μεμβρανών (Abu Ghunmi et al., 2011). Για το λόγο αυτό, οι Melin et al. (2006) συστήνουν την προεπεξεργασία των λυμάτων που θα εισέλθουν στο σύστημα μεμβρανών MBR, οπωσδήποτε, και προαιρετικά σε άλλα βιολογικά συστήματα. Πράγματι, οι Pidou et al. (2007) αναφέρουν ότι σπάνια στην πράξη συναντάται αυτοτελές βιολογικό σύστημα, δηλαδή χωρίς να προηγηθεί προεπεξεργασία. Κάτι τέτοιο συμβαίνει μόνο σε πιλοτικά συστήματα. Επίσης, οι Jefferson et al. (1999) αναφέρουν ότι οι συνεχείς διακυμάνσεις του ρυπαντικού φορτίου και της ροής του προς επεξεργασία γκρίζου νερού, αλλά και οι υπερβολικές φορτίσεις, μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στα βιολογικά συστήματα. Πρόσθεσαν ότι τα αερόβια βιολογικά συστήματα επηρεάζονται από τις παύσεις στον αερισμό, ενώ ο Laine (2001), διαπίστωσε ότι πολλά προϊόντα ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις (λευκαντικά, αρωματικές ύλες, καυστική σόδα, απορρυπαντικά) είναι τοξικά για τους μικροοργανισμούς σε βιοαντιδραστήρα MBR.

Στον Πίνακα 2.19 καταγράφονται τα κυριότερα βιβλιογραφικά στοιχεία και η αντίστοιχη βιβλιογραφική αναφορά, όπως βρέθηκαν σε πίνακα των Ρίδου et al. (2007) και εμπλουτίστηκαν περαιτέρω. Από τον Πίνακα 2.19 φαίνεται ότι μόνο οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών επιτυγχάνουν πολύ καλή απομάκρυνση των μικροοργανισμών από την έξοδο των συστημάτων, χωρίς να προηγηθεί στάδιο απολύμανσης (Ρίδου et al., 2007). Γενικά, φαίνεται ότι η επεξεργασία που επιτυγχάνεται με τα βιολογικά συστήματα είναι πολύ καλή. Οι Akunna & Sepherd (2001) και Hernandez et al. (2007,2008), έδειξαν ότι ένα σύστημα SBR έχει εκροή με μικρότερη μεταβλητότητα σε σχέση με ένα σύστημα RBC. Σε ότι αφορά στα συστήματα RBC, κατά τους Friedler et al. (2005), απομακρύνουν το COD λιγότερο αποτελεσματικά από το BOD.

**Πίνακας 2.19:** Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή ή ελάχιστη-μέγιστη τιμή)

| Διάταξη  | Αναφορά                 |         | COD <sub>t</sub><br>(mg/L) | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | Θολότητα<br>(NTU) | TSS<br>(mg/L) | Total Coliforms<br>(CFU/100 mL)  |
|--|-------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|-------------------|---------------|----------------------------------|
| ΑnBF – Βυθισμένο βιοφίλτρο – Βιολογικοί Δίσκοι – Καθίζηση – Απολύμανση | Imura et al. (1995)     | Είσοδος |                            |                            |                   |               |                                  |
|  |                         | Έξοδος  | 11                         | 8                          |                   | 6             |                                  |
| SBR – Μεμβράνες Μικροδιήθησης  | Shin et al. (1998)      | Είσοδος | 79                         | 5                          |                   | 185           |                                  |
|  |                         | Έξοδος  | 30                         | 5                          |                   |               |                                  |
| MBR  | Lesjean & Gnirss (2006) | Είσοδος | 493                        |                            |                   | 7             |                                  |
|  |                         | Έξοδος  | 24                         |                            |                   | 4             |                                  |
|  | Friedler et al. (2010)  | Είσοδος | 148                        | 95                         | 33                |               |                                  |
|  |                         | Έξοδος  |                            | 1,1                        | 0,21              |               |                                  |
|  | Jefferson et al. (1999) | Είσοδος | 120                        | 41,2                       | 0,32              |               | 1,5.10 <sup>6</sup>              |
|  |                         | Έξοδος  | 9,6                        | 1,1                        |                   |               | ND**                             |
| Εσχάρωση – MBR   | Liu et al. (2005)       | Είσοδος | 130-322                    | 99-212                     | 146-185           | 15-50         |                                  |
|  |                         | Έξοδος  | <40                        | <5                         | <1                | 0             |                                  |
| Εσχάρωση – MBR – Απολύμανση  | Friedler et al. (2004)  | Είσοδος | 206                        | 95                         | 80                | 103           | 3.10 <sup>5*</sup>               |
|  |                         | Έξοδος  | 47                         | 1                          | 0                 | 13            | 27*                              |
| Εσχάρωση – RBC – Καθίζηση – Φίλτρο Άμμου – Απολύμανση                  | Friedler et al. (2004)  | Είσοδος | 158                        | 59                         | 33                | 43            | 6.10 <sup>5*</sup>               |
|  |                         | Έξοδος  | 40                         | 2                          | 1                 | 8             | 1*                               |
| Καθίζηση – ΑnBF  | Bino (2004)             | Είσοδος |                            | 300-1200                   |                   |               |                                  |
|  |                         | Έξοδος  |                            | 375                        |                   | 107           |                                  |
| RBC  | Friedler et al. (2010)  | Είσοδος | 148                        | 95                         | 33                |               |                                  |
|  |                         | Έξοδος  | 47                         | 3,7                        | 1,5               |               |                                  |
| Καθίζηση – RBC – Απολύμανση με UV                                      | Nolde (1999)            | Είσοδος | 100-200                    | 43-85                      |                   |               | 10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> |
|  |                         | Έξοδος  |                            | <4                         |                   |               | <10 <sup>4</sup>                 |



**Πίνακας 2.19 (συνέχεια):** Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε βιολογικά συστήματα επεξεργασίας (μέση ή ελάχιστη-μέγιστη τιμή)

|  |                                  |                   |             |              |          |          |                                    |
|--|----------------------------------|-------------------|-------------|--------------|----------|----------|------------------------------------|
| Αντιδραστήρας Ρευστοποιημένης Κλίνης – Απολύμανση με UV    | Nolde (1999)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 113-633     | 60-256<br><4 |          |          | $10^3$ - $10^5$<br>< $10^4$        |
| Βιολογικός Αντιδραστήρας – Φίλτρο Άμμου – GAC – Απολύμανση | Brewer, Brown & Stanfield (2000) | Είσοδος<br>Έξοδος | 201<br>62   |              | 212<br>5 |          | $7 \cdot 10^5$<br>3                |
| Σηπτική Δεξαμενή – Φίλτρο Άμμου – Απολύμανση με UV         | Gardner & Millar (2003)          | Είσοδος<br>Έξοδος |             | 97<br>6      | 1        | 48<br>3  | $2 \cdot 10^5$<br>9                |
| BAF  | Laine (2001)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 128<br>13   | 41<br>4      | 3        | 52<br>6  | $2 \cdot 10^6$<br>$2 \cdot 10^4$   |
|  | Birks (1998)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 363<br>80   | 131<br>5     |          | 109<br>8 |                                    |
|  | Lodge (2003)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 84<br>14    |              |          | 31<br>3  | $3 \cdot 10^5$<br>$3 \cdot 10^3$   |
|  | Jefferson et al. (1999)          | Είσοδος<br>Έξοδος | 120<br>15,1 | 41,2<br>4,3  | 3,2      |          | $1,5 \cdot 10^6$<br>$2 \cdot 10^4$ |
|  | Santala et al. (1998)            | Είσοδος<br>Έξοδος | 8000<br>75  |              |          |          | $10^{6*}$<br>$20^*$                |
| BAF – Απολύμανση με UV                                     |                                  |                   |             |              |          |          |                                    |
| BAF – Μεμβράνες Υπερδιήθησης                               | Lodge (2003)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 80<br>6     |              | 25       | 52<br>1  | $6 \cdot 10^5$<br><1               |
| Αερόβιος Βιοαντιδραστήρας Μεμβρανών                        | Laine (2001)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 128<br>17   | 41<br>9      | 7        | 52<br>13 | $2 \cdot 10^6$<br>$2 \cdot 10^4$   |
| Βιοαντιδραστήρας Μεμβρανών Παράπλευρης Ροής                | Laine (2001)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 273<br>2    | 181<br>1     | 1        | 58<br>4  | $3 \cdot 10^4$<br>1                |
| Βιοαντιδραστήρας Βυθισμένων Μεμβρανών                      | Laine (2001)                     | Είσοδος<br>Έξοδος | 128<br>7    | 41<br>1      | 4        | 52<br>4  | $2 \cdot 10^6$<br>2                |
| Βιοαντιδραστήρας – Φίλτρο Άμμου – GAC                      | Ward (2000)                      | Είσοδος<br>Έξοδος | 34<br>12    | 21<br>2      | 20<br>1  |          | $2 \cdot 10^2$<br><1               |

\*ως Faecal Coliforms \*\*Μη ανιχνεύσιμη τιμή

### 2.3.5 Εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Τα εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού αφορούν τους τεχνητούς υγροβιότοπους (φυτεμένοι) και τις τεχνητές λίμνες (μη φυτεμένες), έπονται της διαδικασίας της καθίζησης και ακολουθούνται από φίλτρο άμμου (Pidou et al., 2007 • Abu Ghunmi et al., 2011). Οι υγροβιότοποι μπορεί να είναι επιφανειακής ή υποεπιφανειακής ροής. Οι υποεπιφανειακοί υγροβιότοποι μπορεί να είναι είτε οριζόντιας, είτε κατακόρυφης ροής (Νουτσόπουλος, 2010). Τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν μεγαλύτερη απομάκρυνση COD, BOD, ολικών στερεών και παθογόνων μικροοργανισμών σε σχέση με τα μακροφίλτρα, ενώ η απόδοσή τους βελτιώνεται με τη μείωση του πορώδους τους, την αύξηση του χρόνου παραμονής των λυμάτων και με επιλογή της κάθετης ροής (Abu Ghunmi et al., 2011). Κατά τους Pidou et al. (2007), ο μέσος χρόνος παραμονής των λυμάτων στα εκτεταμένα συστήματα είναι τέσσερις με πέντε ημέρες. Εντούτοις, έχουν καταγραφεί και χρόνοι παραμονής που πλησιάζουν το ένα έτος. Η πιο συνήθης ποικιλία φυτού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλαμών είναι το *Phragmites australis* (Pidou et al., 2007).

Όλα τα εκτεταμένα συστήματα γκρίζου νερού πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στις εκάστοτε τοπικές συνθήκες της περιοχής, όπως η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις και η σύνθεση του νερού που διατίθεται σε αυτά. Επίσης, σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι υγροβιότοποι είναι η άνιση διανομή του γκρίζου νερού στην επιφάνειά τους (Dallas et al., 2005 • Fittschen & Niemczynowicz, 1997 • Shretha et al., 2001a, 2001b).

Στον Πίνακα 2.20 καταγράφονται οι ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού, από στοιχεία που βρέθηκαν στους Pidou et al. (2007), με καταγραφή της εκάστοτε βιβλιογραφικής πηγής. Στον Πίνακα 2.20 φαίνεται ότι η επεξεργασία με καθίζηση – καλαμών είναι αποτελεσματικότερη από την επεξεργασία μόνο μέσω καλαμών. Επίσης, η αποτελεσματικότητα του υγροβιότου δεν είναι τόσο καλή όσο του καλαμών οριζόντιας ροής και αυτή με τη σειρά της δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσο του καλαμών κάθετης ροής (Abu Ghunmi et al., 2011). Επιπροσθέτως, τα συστήματα Καθίζηση – Φίλτρο Άμμου – Υγροβιότοπος και Καθίζηση – Υγροβιότοπος – Φίλτρο Άμμου δεν έχουν ουσιαστικές διαφορές στην ποιότητα του επεξεργασμένου γκρίζου νερού, σε ότι αφορά στα COD και BOD. Τέλος, φαίνεται ότι κάποια από τα καταγεγραμμένα συστήματα επιτυγχάνουν σημαντική απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών, όπως είναι αυτά των Dallas, Scheffe & Ho (2004), Fittschen & Niemczynowicz (1997), Dallas & Ho (2004) και Gunther (2000).

**Πίνακας 2.20:** Ποιοτικές παράμετροι εισροής και εκροής σε εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας (μέση τιμή)

| Διάταξη                                   | Αναφορά                               |         | COD <sub>t</sub><br>(mg/L) | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | Θολότητα<br>(NTU) | TSS<br>(mg/L) | Total Coliforms<br>(CFU/100 mL) |
|---|---------------------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|-------------------|---------------|---------------------------------|
| Καλαμώνας                                 | Borin et al. (2004)                   | Είσοδος | 151                        | 42                         |                   | 25            |                                 |
|   |                                       | Έξοδος  | 51                         | 26                         |                   | 20            |                                 |
| Καθίζηση-Καλαμώνας                        | Shrestha et al. (2001)                | Είσοδος | 411                        | 200                        |                   | 98            |                                 |
|   |                                       | Έξοδος  | 29                         | 5                          |                   | 3             |                                 |
| Δύο καλαμώνες-Λίμνη                       | Dallas, Scheffe & Ho<br>(2004)        | Είσοδος |                            | 167                        | 96                |               | 2.10 <sup>8*</sup>              |
|   |                                       | Έξοδος  |                            | 3                          | 5                 |               | 198*                            |
| Καλαμώνας οριζόντιας ροής                 | Frazer-Williams (2005)                | Είσοδος | 452                        | 151                        | 63                | 87            | 6.10 <sup>7</sup>               |
|   |                                       | Έξοδος  | 111                        | 51                         | 12                | 31            | 10 <sup>4</sup>                 |
| Καλαμώνας κάθετης ροής                    | Frazer-Williams (2005)                | Είσοδος | 452                        | 151                        | 63                | 87            | 6.10 <sup>7</sup>               |
|   |                                       | Έξοδος  | 27                         | 5                          | 2                 | 9             | 2.10 <sup>4</sup>               |
| Υγροβιότοπος                              | Frazer-Williams (2005)                | Είσοδος | 452                        | 151                        | 63                | 87            | 6.10 <sup>7</sup>               |
|   |                                       | Έξοδος  | 139                        | 71                         | 26                | 19            | 2.10 <sup>6</sup>               |
| Καθίζηση-Υγροβιότοπος κάθετης ροής        | Gross et al. (2007)                   | Είσοδος | 839                        | 466                        |                   | 158           | 5.10 <sup>7*</sup>              |
|   |                                       | Έξοδος  | 157                        | 0,7                        |                   | 3             | 2.10 <sup>5*</sup>              |
| Καθίζηση-Φίλτρο Άμμου-Υγροβιότοπος        | Schonborn, Zust &<br>Underwood (1997) | Είσοδος | 311                        | 130                        |                   |               |                                 |
|   |                                       | Έξοδος  | 27                         | 5                          |                   |               |                                 |
| Καθίζηση-Υγροβιότοπος-Φίλτρο Άμμου        | Fittschen &<br>Niemczynowicz (1997)   | Είσοδος | 361                        | 165**                      |                   |               | 3.10 <sup>6</sup>               |
|   |                                       | Έξοδος  | 56                         | <5**                       |                   |               | <20                             |
| Τάφρος με φυτά                            | Dallas & Ho (2004)                    | Είσοδος |                            | 254                        | 103               |               | 8.10 <sup>7*</sup>              |
|   |                                       | Έξοδος  |                            | 13                         |                   |               | 2050*                           |
| Φίλτρο Χαλικιών-Τρεις Λίμνες-Φίλτρο Άμμου | Gunther (2000)                        | Είσοδος |                            | 47**                       |                   |               | 9.10 <sup>4</sup>               |
|   |                                       | Έξοδος  |                            | 0**                        |                   |               | 172                             |

\*ως Faecal Coliforms \*\*ως BOD<sub>7</sub>

### 2.3.6 Εμπορικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Στην αγορά κυκλοφορούν πολλά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού. Τα συστήματα επεξεργασία γκρίζου νερού που ακολουθούν αφορούν επεξεργασία σε οικιακό επίπεδο.

Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται το σύστημα AQUUS®, το οποίο περιλαμβάνει μια δεξαμενή συλλογής του γκρίζου νερού του νιπτήρα και έχει διαστάσεις 40\*40\*22 (cm<sup>3</sup>) και χωρητικότητα 21 (L). Στη δεξαμενή αυτή γίνεται φίλτρανση και απολύμανση του γκρίζου νερού, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται μέσω σωληνώσεων στο καζανάκι της τουαλέτας. Με το σύστημα αυτό μπορεί να γίνει εξοικονόμηση νερού από 34 ως 45 (L/day), για μια οικογένεια δύο ατόμων.



**Σχήμα 2.1:** Σύστημα AQUUS® για διάθεση στο καζανάκι της τουαλέτας  
(Πηγή: [www.watersavertech.com](http://www.watersavertech.com))

Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Greyter HOME, το οποίο επεξεργάζεται μέσω φίλτρανσης το γκρίζο νερό που προέρχεται από το μπάνιο. Το επεξεργασμένο γκρίζο νερό επαναχρησιμοποιείται στο καζανάκι της τουαλέτας. Η ποιότητα νερού που προκύπτει είναι σύμφωνη με τα όρια ποιότητας νερού (των Η.Π.Α.), όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα [greyter.com](http://greyter.com). Δεν αναφέρονται, παρόλα αυτά, περισσότερες λεπτομέρειες για το συγκεκριμένο σύστημα επεξεργασίας. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται ένα ακόμη σύστημα της ίδιας εταιρίας, για χρήση σε μικρότερη κλίμακα.



**Σχήμα 2.2:** Σύστημα επεξεργασίας Greyter HOME για διάθεση στο καζανάκι της τουαλέτας  
(Πηγή: [greyter.com](http://greyter.com))



**Σχήμα 2.3:** Σύστημα επεξεργασίας Greyter HOME μικρότερης κλίμακας  
(Πηγή: greyter.com)

Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Brac-Systems LB-300, το οποίο επεξεργάζεται το γκρίζο νερό από την μπανιέρα, το ντους και το πλυντήριο ρούχων και το διαθέτει στο καζανάκι της τουαλέτας. Το σύστημα έχει συνολική χωρητικότητα 300 (L) και οι διαστάσεις του είναι 61 (cm) πλάτος και 70 (cm) ύψος. Η λειτουργία του βασίζεται σε πτυχωτά φίλτρα καθαρισμού που περιέχουν οι δύο δεξαμενές από τις οποίες αποτελείται. Τα φιλτραρισμένα λύματα υφίστανται, επίσης, χλωρίωση. Η συσκευή του Σχήματος 2.4 εγγυάται εξοικονόμηση 30% στην κατανάλωση νερού.



**Σχήμα 2.4:** Σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Brac-Systems LB-300 για διάθεση στο καζανάκι της τουαλέτας (Πηγή: www.nuvaleproducts.com)

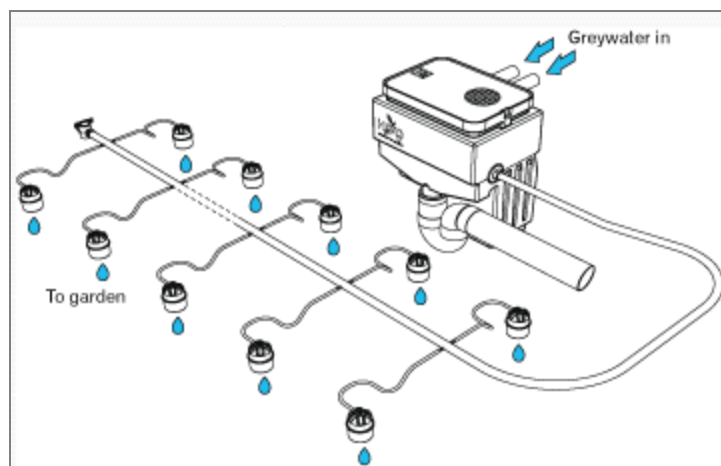
Το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού του Σχήματος 2.5 συλλέγει το γκρίζο νερό από το μπάνιο και το ντους. Τα ανεπεξέργαστα λύματα συγκεντρώνονται μέσα σε μια δεξαμενή καθαρισμού. Ένα ξέστρο απομακρύνει τους ελαφρύτερους ρύπους (σαπούνια, αφρό, τρίχες), ενώ τα βαρύτερα στερεά καθιζάνουν και οδηγούνται περιοδικά στο σύστημα αποχέτευσης. Το νερό που απέμεινε αποθηκεύεται σε δεξαμενή χωρητικότητας 100 (L) για επαναχρησιμοποίηση στο καζανάκι της τουαλέτας. Η καινοτομία του συγκεκριμένου συστήματος επεξεργασίας είναι ότι ανακτά θερμότητα από τα ζεστά λύματα του μπάνιου. Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας διαθέτει εναλλάκτες που χρησιμοποιούν τη θερμότητα του ζεστού νερού για να θερμάνουν το καθαρό νερό που θα χρησιμοποιηθεί στο ντους ή

στο μπάνιο. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να εξοικονομήσει 40 (L) νερού ανά κάτοικο και ημέρα.



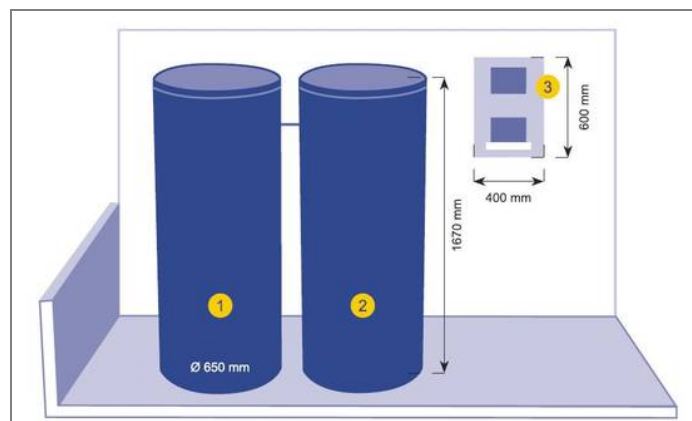
**Σχήμα 2.5:** Σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Ecorplay με εναλλάκτη θερμότητας (Πηγή: ecorplay.nl)

Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται το σύστημα NETA H2grO, το οποίο δέχεται ως εισροές τα λύματα από το μπάνιο και το πλυντήριο ρούχων. Η κυρίως μονάδα που φαίνεται και στο σχήμα, περιέχει ανοξειδωτο φίλτρο που συγκρατεί τα χνούδια, τις τρίχες και τα μεγάλα σε μέγεθος στερεά. Το επεξεργασμένο γκρίζο νερό χρησιμοποιείται για άρδευση στον κήπο. Η κυρίως μονάδα έχει κάτοψη 58\*40 (cm<sup>2</sup>) και ύψος 70 (cm). Η συνολική της χωρητικότητα είναι 29 (L).



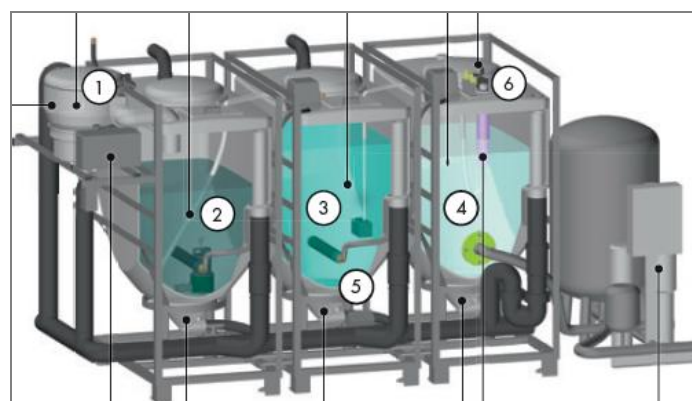
**Σχήμα 2.6:** Φυσικό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού NETA H2grO προς άρδευση (Πηγή: www.enviro-friendly.com)

Στο Σχήμα 2.7 φαίνεται το βιολογικό σύστημα επεξεργασίας GWI 1.0-250 Indoor. Συλλέγει το γκρίζο νερό του μπάνιου, του ντους και του νιπτήρα και το αποθηκεύει στη δεξαμενή 1, όπου γίνεται βιολογική επεξεργασία και είναι ενσωματωμένες οι μεμβράνες MBR. Στη συνέχεια το επεξεργασμένο γκρίζο νερό αποθηκεύεται στη δεξαμενή 2. Η μονάδα με τον αριθμό 3 ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος, π.χ. τον αερισμό και τον χρόνο φίλτρασης. Το συγκεκριμένο σύστημα επεξεργασίας εγγυάται σχεδόν 100% απομάκρυνση των στερεών και των μικροοργανισμών. Οι διαστάσεις των δεξαμενών και της μονάδας ελέγχου φαίνονται στο Σχήμα 2.7. Το επεξεργασμένο γκρίζο νερό (250 L/d) μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στο καζανάκι της τουαλέτας, για άρδευση και για τον καθαρισμό του σπιτιού.



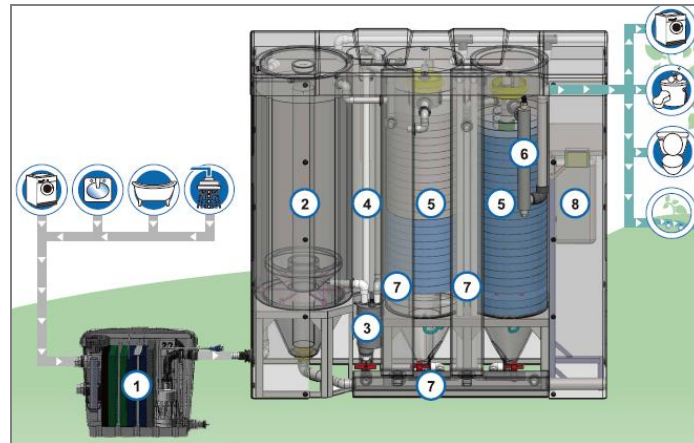
**Σχήμα 2.7:** Βιολογικό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού (Πηγή: [www.dwc-water.com](http://www.dwc-water.com))

Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται το σύστημα επεξεργασίας Pontos AquaCycle, το οποίο είναι ένα βιολογικό σύστημα επεξεργασίας. Η δεξαμενή 1 είναι ένα φίλτρο εισόδου, η δεξαμενή 2 επιτελεί την προεπεξεργασία του γκρίζου νερού, πριν αυτό εισέλθει στην δεξαμενή 3, όπου πραγματοποιείται βιολογική επεξεργασία. Στη δεξαμενή 4 πραγματοποιείται απολύμανση με ακτινοβολία UV και αποθήκευση του επεξεργασμένου γκρίζου νερού, που θα καταλήξει στο καζανάκι της τουαλέτας, στον κήπο για άρδευση ή θα χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό του αυτοκινήτου.



**Σχήμα 2.8:** Βιολογικό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Pontos AquaCycle (Πηγή: [www.hansgrohe.com](http://www.hansgrohe.com))

Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Aqua2use GWTS1200, που δέχεται λύματα από τον νιπτήρα, το μπάνιο, το ντους και το πλυντήριο ρούχων.



**Σχήμα 2.9:** Συσκευή επεξεργασίας γκρίζου νερού με σύστημα ενεργού ιλύος και βιολογική επεξεργασία (Πηγή: [www.aqua2use.com](http://www.aqua2use.com))

Στην δεξαμενή 1 γίνεται προφίλτραση του γκρίζου νερού, ώστε να απομακρυνθούν η άμμος, η άργιλος, χνούδια και αφροί. Η δεξαμενή 2 λειτουργεί ως ένα σύστημα ενεργού ιλύος και απομακρύνει επιπλέον αφρούς και την λάσπη που καθιζάνει, μέσω του σωλήνα 7. Ο σωλήνας 4 συλλέγει το οργανικό υλικό της που παράχθηκε. Από το σημείο 3 παρέχεται στη δεξαμενή αέρας για να βοηθά τη ροή των λυμάτων. Στη δεξαμενή 5 γίνεται βιολογική επεξεργασία των λυμάτων που οδηγούνται στη δεξαμενή 6 για απολύμανση με ακτινοβολία UV. Η συσκευή 8 είναι ο «πίνακας ελέγχου» του συστήματος επεξεργασίας. Οι διαστάσεις του συστήματος (μήκος, πλάτος, ύψος) είναι 181\*55\*181 (cm<sup>3</sup>) και μπορεί να εξοικονομήσει 89 (L/d/άτομο). Στον Πίνακα 2.21 καταγράφονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων που εγγυάται το σύστημα.

**Πίνακας 2.21:** Ποιοτικά χαρακτηριστικά που εγγυάται το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού Aqua2use (Πηγή: [www.aqua2use.com](http://www.aqua2use.com))

|           | BOD<br>(mg/L) | SS<br>(mg/L) | E.Coli<br>(Orgs/100 mL) | Θολότητα<br>(NTU) | pH (-) | Αγωγιμότητα<br>(uS/cm) |
|-----------|---------------|--------------|-------------------------|-------------------|--------|------------------------|
| Μέση τιμή | < 3           | < 2          | < 1                     | 0,47              | 7,9    | 497                    |

Στον Πίνακα 2.22 έχουν συγκεντρωθεί όλα τα παραπάνω συστήματα επεξεργασίας και έχουν καταγραφεί η λειτουργία τους, τα είδη γκρίζου νερού που δέχονται ως εισροές, ο τρόπος επαναχρησιμοποίησης του επεξεργασμένου γκρίζου νερού και η αποτελεσματικότητά τους.



**Πίνακας 2.22:** Συγκεντρωτικός πίνακας συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού

| Σύστημα                    | Διαστάσεις<br>(Μ,Π,Υ) (cm <sup>3</sup> ) | Πηγή εισροής                                | Διάθεση                             | Ποιότητα στην έξοδο                                   |
|----------------------------|--|---|-------------------------------------|---|
| AQUS®                      | (40,40,22)                               | Νιπτήρας                                    | Καζανάκι                            | -   |
| Greyter<br>HOME            | -  | -   | -                                   | Όρια ποιότητας νερού<br>Η.Π.Α.                        |
| Brac-<br>Systems<br>LB-300 | (61,-,70)                                | Μπάνιο,<br>Πλυντήριο<br>ρούχων              | Καζανάκι                            |   |
| Ecoplay                    | -  | Μπάνιο                                      | Καζανάκι,<br>Ανάκτηση<br>θερμότητας | -   |
| NETA<br>H2grO              | (58,40,70)                               | Μπάνιο,<br>Πλυντήριο<br>ρούχων              | Άρδευση                             | -   |
| GW1 1.0-<br>250<br>Indoor  | (40,60,-) &<br>2Ø65 ύψους<br>167 (cm)    | Μπάνιο,<br>Νιπτήρας                         | Καζανάκι,<br>Άρδευση,<br>Καθαρισμός | 100% στερεά και<br>μικροοργανισμοί                    |
| Pontos<br>AquaCycle        | -  | Μπάνιο,<br>Νιπτήρας                         | Καζανάκι,<br>Άρδευση,<br>Καθαρισμός | -   |
| Aqua2use<br>GWTS<br>1200   | (181,55,181)                             | Μπάνιο,<br>Νιπτήρας,<br>Πλυντήριο<br>ρούχων | Καζανάκι,<br>Άρδευση,<br>Καθαρισμός | BOD< 3 (mg/L) TSS< 2<br>(mg/L) Θολότητα 0,47<br>(NTU) |

## 2.4 Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού και θεσμικό πλαίσιο

Σε ότι αφορά στην επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού, οι Pidou et al. (2007), Alqam et al. (2013), Lamas & Custodio (2003, σ. 47) και Magnus Kleven (2012) αναφέρουν τις εξής περιπτώσεις:

- (α) Άρδευση και πότισμα κήπων
- (β) Καζανάκι
- (γ) Τεχνητές λίμνες και υγροβιότοποι
- (δ) Καθαρισμός τουαλέτας
- (ε) Πλύσιμο τζαμιών
- (στ) Πλύσιμο ρούχων
- (ζ) Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα
- (η) Παραγωγή τσιμέντου
- (θ) Συστήματα ανάκτησης θερμότητας

Σε ότι αφορά στην παραγωγή τσιμέντου, οι Alqam et al. (2013) πραγματοποίησαν μια σειρά πειραμάτων, από τα οποία προέκυψε ότι η αντοχή σε θλίψη, σε εφελκυσμό και η συστολή ξήρανσης ήταν στα αποδεκτά όρια, με χρήση γκρίζου νερού κατά την παραγωγή σκυροδέματος. Αυτά, υπό την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι συνθήκες και οι αναλογίες νερού-τσιμέντου στο σκυρόδεμα.

Σε όλα τα παραπάνω συστήματα είναι αδιάφορη η θερμοκρασία του επεξεργασμένου γκρίζου νερού, εκτός από τα συστήματα ανάκτησης θερμότητας. Αυτά αποτελούν έμμεσο τρόπο επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού και εκμεταλλεύονται το γκρίζο νερό με αυξημένη θερμοκρασία, όπως αυτό του μπάνιου, του πλυντηρίου πιάτων και ρούχων, προκειμένου να γίνει εξοικονόμηση ενέργειας. Κάθε οικιακή συσκευή που παράγει γκρίζο νερό σε αυξημένη θερμοκρασία θα πρέπει να διαθέτει τον δικό της εξοπλισμό επανακυκλοφορίας γκρίζου νερού. Για παράδειγμα, το γκρίζο νερό που παράγεται από το ντους οδηγείται προς τη συσκευή ανάκτησης θερμότητας. Σε αυτή υπάρχει πόσιμο νερό του δικτύου, το οποίο θερμαίνεται λόγω της επαφής του με τους σωλήνες που περιέχουν γκρίζο νερό και οδηγείται στο λέβητα. Εκεί, θα απαιτηθεί λιγότερη θερμότητα για να φθάσει το προς χρήση νερό στην επιθυμητή θερμοκρασία. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται τόσο εξοικονόμηση ενέργειας, όσο και μείωση του εκπεμπόμενου CO<sub>2</sub> που εκλύεται στην ατμόσφαιρα. Ενδεικτικά, μπορούν να εξοικονομηθούν 2,4 (MWh) από το ντους, 1 (MWh) από το πλυντήριο πιάτων και 0,5 (MWh) από το πλυντήριο ρούχων (Magnus Kleven, 2012).

Στα επόμενα εδάφια αναφέρεται η σχετική με το γκρίζο νερό νομοθεσία, τόσο στην Ελλάδα, όσο και σε άλλες χώρες του κόσμου. Η νομοθεσία αυτή αφορά στον καθορισμό του τρόπου επεξεργασίας του γκρίζου νερού ανάλογα με τον τρόπο διάθεσής του, στον καθορισμό ορίων των ποιοτικών παραμέτρων του επεξεργασμένου γκρίζου νερού, αλλά και στην υπόδειξη τρόπων πρόληψης από ανεπιθύμητες καταστάσεις που αφορούν στο γκρίζο νερό, όπως οι μολύνσεις και η δημιουργία σηπτικών συνθηκών. Σημειώνεται ότι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει εκδώσει οδηγίες, χωρίς ποσοτικά όρια, σχετικά με

την ασφαλή επαφή και του ανθρώπου με το γκρίζο νερό και την επαναχρησιμοποίηση του ([www.who.int](http://www.who.int)).

#### *2.4.1 Νομοθεσία στην Ελλάδα*

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει νομοθεσία που να αφορά στο γκρίζο νερό συγκεκριμένα. Παρόλα αυτά, στις 8 Μαρτίου 2011 δημοσιεύθηκαν στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 354/Β/2011, ΚΥΑ 145116), οι αποφάσεις για τον καθορισμό μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Σε αυτή την ΚΥΑ θα μπορούσε να ενταχθεί και η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού, αφού το γκρίζο νερό αποτελεί «υγρά απόβλητα», όπως αυτά ορίζονται σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011. Σημειώνεται ότι σε αυτήν την ΚΥΑ επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού για άρδευση, τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, αστική και περιαστική χρήση, βιομηχανική χρήση και υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την απόληψη πόσιμου ύδατος. Δεν υπάγονται σε αυτήν οι περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης για χρήσεις κολύμβησης (πισίνες) και άλλες οικιακές χρήσεις.

Σε ότι αφορά στην άρδευση, τα λύματα διατίθενται είτε για περιορισμένη, είτε για απεριόριστη άρδευση. Περιορισμένη ορίζεται ως η άρδευση που τα προϊόντα της καταναλώνονται μετά από θερμική επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Δεν επιτρέπεται ο καταιονισμός ως τρόπος άρδευσης και απαγορεύεται η πρόσβαση του κοινού στις αρδευόμενες εκτάσεις. Η απεριόριστη άρδευση αφορά σε όλα τα είδη των καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, αλλά και όλα τα ανθοκομικά προϊόντα. Επιτρέπεται ο καταιονισμός ως τρόπος άρδευσης και η πρόσβαση του κοινού στις αρδευόμενες εκτάσεις. Τα όρια διαφόρων ποιοτικών παραμέτρων για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση καταγράφονται στον Πίνακα 2.23.

Όσον αφορά στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, πρέπει να αποφεύγεται η συσσώρευση οργανικών στα υπόγεια ύδατα. Συνεπώς, διαχωρίζονται οι τρόποι επεξεργασίας για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού, ανάλογα με την ικανότητα του εδάφους να συγκρατήσει τα οργανικά ή όχι (Πίνακας 2.23). Εάν η τροφοδότηση του υπόγειου υδροφορέα γίνεται με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος επαρκούς πάχους, τότε θεωρείται ότι γίνεται συγκράτηση των οργανικών. Συνεπώς, δεν απαιτείται προχωρημένη επεξεργασία των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Αντίθετα, εάν η τροφοδότηση του υπόγειου υδροφορέα γίνεται με γεωτρήσεις, απαιτείται προχωρημένη επεξεργασία.

Η αστική και περιαστική χρήση περιλαμβάνει τις χρήσεις του επεξεργασμένου νερού σε πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου (δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή, νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές οικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων, εγκαταστάσεις αναψυχής), κατάσβεση πυρκαγιών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, διακοσμητικά σιντριβάνια, τεχνητές λίμνες ή υγροβιότοπους (δημιουργία και διατήρηση) και για ενίσχυση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων. Στον Πίνακα 2.23 καταγράφονται τα όρια των ποιοτικών παραμέτρων του επεξεργασμένου νερού που διατίθεται σε αστική ή περιαστική χρήση.

Η βιομηχανική χρήση περιλαμβάνει την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων ως νερό ψύξης, για την αναπλήρωση νερού λεβήτων και αξιοποίηση σε διάφορες βιομηχανικές χρήσεις, υπό την προϋπόθεση ότι οι βιομηχανίες στις οποίες γίνεται αυτό δεν παράγουν προϊόντα για ανθρώπινη κατανάλωση. Στον Πίνακα 2.23 καταγράφονται τα όρια των ποιοτικών παραμέτρων των προς βιομηχανική χρήση επαναχρησιμοποιούμενων λυμάτων.

**Πίνακας 2.23:** Επιτρεπόμενες χρήσεις και όρια ποιοτικών παραμέτρων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116)

| Χρήση   | E.Coli<br>(EC/100mL)             | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L)          | SS<br>(mg/L)                     | Θολότητα<br>(NTU)   | Κατ' ελάχιστον<br>απαιτούμενη<br>επεξεργασία  |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------|---|
| Περιορισμένη<br>άρδευση                                 |                                  |                                     |                                  |                     |   |
| Βιομηχανική<br>χρήση                                    | Διάμεση<br>τιμή ≤ 200            | ≤ 25<br>για 80%<br>των<br>δειγμάτων | ≤ 35<br>για 80% των<br>δειγμάτων | -                   | Δευτεροβάθμια<br>Βιολογική<br>Επεξεργασία   |
| Τροφοδότηση<br>υπόγειου<br>υδροφορέα*                   |                                  |                                     |                                  |                     |   |
| Απεριόριστη<br>άρδευση                                  | ≤ 5<br>για 80% των<br>δειγμάτων  | ≤ 10<br>για 80%<br>των<br>δειγμάτων | ≤ 10<br>για 80% των<br>δειγμάτων | Διάμεση<br>τιμή ≤ 2 | Δευτεροβάθμια<br>Βιολογική<br>Επεξεργασία<br>ακολουθούμενη<br>από Τριτοβάθμια<br>Επεξεργασία και<br>Απολύμανση    |
| Βιομηχανική<br>χρήση πλην<br>νερού ψύξης<br>μιας χρήσης | ≤ 50<br>για 95% των<br>δειγμάτων |                                     |                                  |                     |   |
| Αστική χρήση  | ≤ 2<br>για 80% των<br>δειγμάτων  | ≤ 10<br>για 80%<br>των<br>δειγμάτων | ≤ 2<br>για 80% των<br>δειγμάτων  | Διάμεση<br>τιμή ≤ 2 | Δευτεροβάθμια<br>Βιολογική<br>Επεξεργασία<br>ακολουθούμενη<br>από<br>Προχωρημένη<br>Επεξεργασία και<br>Απολύμανση |
| Εμπλουτισμός<br>υπόγειου<br>υδροφορέα**                 | ≤ 20<br>για 95% των<br>δειγμάτων |                                     |                                  |                     |   |
| Περιαστικό<br>πράσινο                                   |                                  |                                     |                                  |                     |   |

\* με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος επαρκούς πάχους

\*\* με γεωτρήσεις

Στον Πίνακα 2.24 καταγράφονται τα όρια (μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις) των μετάλλων στα επεξεργασμένα λύματα.

Σε ότι αφορά στις μικροοργανικές ενώσεις, η μοναδική που αναφέρεται στο ΦΕΚ 354/Β/2011 είναι η εννεϋλοφαινόλη (NP), της οποίας η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι 2 (μg/L). Μάλιστα, το όριο αυτό τίθεται για εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 100 000 κατοίκους.

**Πίνακας 2.24:** Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116)

| Μέταλλο | Μέγιστη συγκέντρωση (mg/L) |
|---------|----------------------------|
| Cd      | 0,01                       |
| Pb      | 0,1                        |
| Cr      | 0,1                        |
| Ni      | 0,2                        |
| Hg      | 0,002                      |
| Zn      | 2                          |
| Cu      | 0,2                        |

#### 2.4.2 Νομοθεσία στον υπόλοιπο κόσμο

Από τις ευρωπαϊκές χώρες, καμία δεν έχει ειδική νομοθεσία για το γκρίζο νερό. Παρόλα αυτά, υπάρχουν χώρες, π.χ. η Γερμανία, που διαθέτουν οργανώσεις με δημοσιευμένες απαιτήσεις ποιότητας γκρίζου νερού, ανάλογα με τον τρόπο επαναχρησιμοποίησης του. Μια τέτοια οργάνωση είναι η FBR της Γερμανίας. Ενδεικτικά, στοιχεία από το FBR καταγράφονται στον Πίνακα 2.25, ο οποίος αφορά όρια ποιοτικών παραμέτρων για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού στο καζανάκι της τουαλέτας.

**Πίνακας 2.25:** Ποιοτικές παράμετροι για επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού στο καζανάκι της τουαλέτας, σύμφωνα με το [www.fbr.de](http://www.fbr.de)

| Παράμετρος               | Όριο      |
|--------------------------|-----------|
| BOD <sub>7</sub>         | < 5 mg/L  |
| Oxygen saturation        | > 50%     |
| Total coliform bacteria  | < 100 /mL |
| Faecal coliform bacteria | < 10 /mL  |
| Pseudomonas aeruginosa   | < 1 /mL   |

Σε ότι αφορά στην Αμερική, πολλές πολιτείες των Η.Π.Α., π.χ. Καλιφόρνια, Φλόριντα, Καναδάς, Αριζόνα, Όρεγκον, Χαβάη, αλλά και κράτη, π.χ. Καναδάς, έχουν δικές τους οδηγίες ή κανονισμούς για το γκρίζο νερό.

Πιο συγκεκριμένα, η πολιτεία της Φλόριντα, στον Οικοδομικό της Κανονισμό (Florida Building Code) το 2009, περιόρισε την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού αποκλειστικά στο καζανάκι της τουαλέτας και στον καθαρισμό των τουαλετών. Το γκρίζο νερό, αφού υποστεί κατάλληλη επεξεργασία που περιλαμβάνει φίλτρανση και απολύμανση, δεν επιτρέπεται να αποθηκευθεί χωρίς ανανέωση πάνω από 72 ώρες ([www.dep.state.fl.us](http://www.dep.state.fl.us)).

Η Αριζόνα δεν καθορίζει απαιτήσεις σχεδιασμού, αρκεί να είναι λειτουργικό και να πληροί συγκεκριμένους στόχους απόδοσης. Διαχωρίζει τις οικίες σε τρεις κατηγορίες, αυτές που χρησιμοποιούν λιγότερα από 400 γαλόνια την ημέρα, αυτές που χρησιμοποιούν από 400 ως 3000 γαλόνια την ημέρα και αυτές που υπερβαίνουν τα 3000 γαλόνια την ημέρα. Η εξουσιοδότηση για τις κατηγορίες άνω των 400 γαλονιών απαιτείται ειδική εξουσιοδότηση ([www.azdeq.gov](http://www.azdeq.gov)).

Η Καλιφόρνια το 1992 νομιμοποίησε τη χρήση του γκρίζου νερού στις πόλεις και τις κομητείες της (California Department of Water Resources). Συνεπώς, ορίστηκαν πρότυπα, τα οποία διακρίνουν τα οικιακά συστήματα γκρίζου νερού σε τρεις κατηγορίες που είναι τα πλυντήρια ρούχων, τα απλά συστήματα και τα σύνθετα συστήματα. Τα απλά συστήματα εξοικονομούν ως και 250 γαλόνια την ημέρα, ενώ τα σύνθετα πάνω από 250 γαλόνια την ημέρα. Αυτό παρέχει ελευθερία στον τρόπο κατασκευής τους. Η πολιτεία δεν επιβάλλει την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού, αλλά οι δήμοι μπορούν να υιοθετήσουν αυτή τη νομοθεσία ή όχι ([www.hcd.ca.gov](http://www.hcd.ca.gov)).

Η πολιτεία του Νέου Μεξικού και το Τέξας ακολουθούν παρόμοιες πολιτικές σχετικά με το γκρίζο νερό.

Στην πολιτεία της Γιούτα είναι υποχρεωτικό τα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού να επιθεωρούνται από το τμήμα υγείας της περιοχής, προκειμένου να παρθεί άδεια για τη λειτουργία τους. Επίσης, το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού πρέπει να είναι σχεδιασμένο από εξειδικευμένο επαγγελματία ([das.utah.gov](http://das.utah.gov)).

Στην πολιτεία του Όρεγκον νομιμοποιήθηκε η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού το 2011 ([www.oregon.gov](http://www.oregon.gov)). Διαχωρίζει τις οικίες σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την παραγωγή γκρίζου νερού. Η πρώτη περιλαμβάνει τις οικίες που παράγουν λιγότερα από 300 γαλόνια το χρόνο, η δεύτερη τις οικίες που καταναλώνουν λιγότερα από 1200 γαλόνια το έτος, και η Τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει όσες δεν ανήκουν στις υπόλοιπες δύο. Οι παραπάνω κατηγορίες, εκτός από την ετήσια παροχή λυμάτων, θέτουν και κάποια οικοδομικά κριτήρια στις οικίες.

Όσον αφορά στον Καναδά, η Βρετανική Κολομβία είναι η μοναδική επαρχία με νομοθεσία για το γκρίζο νερό ([www.hc-sc.gc.ca](http://www.hc-sc.gc.ca)). Τα συστήματα γκρίζου νερού ρυθμίζονται από το Υπουργείο Δράσεων για την Υγεία. Επίσης, δεν αδειοδοτούν συστήματα γκρίζου νερού για οικογένειες ενός ατόμου. Ακόμη, η επαρχία Οντάριο έχει αναπτύξει μια μελέτη σκοπιμότητας επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού, προκειμένου να μειωθεί η ανάγκη εξεύρεσης νέων πηγών πόσιμου νερού. Κατάληξε στο γεγονός ότι

μπορεί να γίνει 26% μείωση στην ζήτηση πόσιμου νερού, λόγω της επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού.

Επίσης, η Χαβάη έχει δημοσιεύσει έναν οδηγό που αφορά στο γκρίζο νερό, χωρίς να αναφέρεται σε ποιοτικές παραμέτρους. Δίνει κατευθυντήριες γραμμές που αφορούν γενικά στο γκρίζο νερό, αλλά και στα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού (Hawaii State Department of Health).

Στον Πίνακα 2.26 καταγράφονται τα επιθυμητά όρια στο επαναχρησιμοποιούμενο γκρίζο νερό για την Αμερική, όπως βρέθηκαν σε Πίνακα των Ρίτου (2006) και εμπλουτίστηκαν περαιτέρω. Σημειώνεται ότι τα όρια αυτά αφορούν απεριόριστη αστική επαναχρησιμοποίηση λυμάτων.

**Πίνακας 2.26:** Ανώτατα όρια ποιοτικών παραμέτρων επεξεργασμένου γκρίζου νερού σε πολιτείες και χώρες της Αμερικής

| Πολιτεία/<br>Χώρα | Αναφορά                  | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | TSS<br>(mg/L) | Θολότητα<br>(NTU)        | Faecal Coliforms<br>(CFU/100mL)               |
|-------------------|--------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------|---|
| Τέξας             | (USEPA,2004)             | 5                          |               |                          | μέση τιμή 20<br>μέγιστο 75                    |
| Καλιφόρνια        | (USEPA,2004)             |                            |               | 3                        | 25% δειγμάτων μη<br>ανιχνεύσιμο<br>μέγιστο 25 |
| Φλόριντα          | (USEPA,2004)             | 20                         | 5             | μέση τιμή 2<br>μέγιστο 5 | μέση τιμή 2,2<br>μέγιστο 23                   |
| Ουάσινγκτον       | (USEPA,2004)             | 30                         | 30            | μέση τιμή 2<br>μέγιστο 5 |   |
| Καναδάς           | (CMHC,2004)              | 10                         | 10            | 2                        | 2,2   |
| Κόστα Ρίκα        | (Dallas et al.,<br>2004) | 40                         |               |                          | 100   |

Γενικά, στις ΗΠΑ, η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA, 2012), προτείνει τα όρια που φαίνονται στον Πίνακα 2.27, για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού απεριόριστα στο αστικό περιβάλλον.

**Πίνακας 2.27:** Όρια επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού στις ΗΠΑ, σύμφωνα με την EPA (2012)

| Επεξεργασία                              | pH  | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | Θολότητα<br>(NTU) | Faecal<br>Coliforms<br>(CFU/100mL) | Υπολειμματικό<br>Χλώριο (mg/L) |
|--|-----|----------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Δευτεροβάθμια,<br>Διύλιση,<br>Απολύμανση | 6-9 | ≤ 10                       | ≤ 2               | Μη<br>ανιχνεύσιμα                  | 1                              |

Η Ασία έχει και αυτή νομιμοποιήσει την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Ενδεικτικές χώρες της είναι η Σιγκαπούρη, η Κίνα, η Ιαπωνία, η Ταϊβάν και το Ισραήλ. Πιο συγκεκριμένα και αναφορικά με την Σιγκαπούρη, τον Αύγουστο του 2014 δημοσίευσε στην ιστοσελίδα [www.pub.gov.sg](http://www.pub.gov.sg) (Singapore national water agency) έναν τεχνικό οδηγό για τα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού, καθώς και τα ποιοτικά όρια του επεξεργασμένου γκρίζου νερού. Ο τεχνικός οδηγός περιέχει πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και τα συστήματα επεξεργασίας του γκρίζου νερού. Επίσης, αναφέρει τις απαιτούμενες ποιοτικές παραμέτρους του επεξεργασμένου γκρίζου νερού που πρέπει να πληρούν καθορισμένα όρια, καθώς και τα όρια αυτά και τη συχνότητα ελέγχου τους. Τέλος, επισημαίνει ότι απαγορεύεται η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού για πλύσιμο με υψηλή πίεση, για άρδευση με καταιονισμό και γενικό πλύσιμο σε καταστήματα και εγκαταστάσεις φαγητού, ώστε να διασφαλισθεί η δημόσια υγεία. Στον Πίνακα 2.28 καταγράφονται τα όρια αυτά, τόσο για τη Σιγκαπούρη, όσο και για τις υπόλοιπες ασιατικές χώρες, όπως βρέθηκαν από την Ρίδου (2006) και εμπλουτίστηκαν περαιτέρω.

Σε ότι αφορά στην Αυστραλία, το Τμήμα Δημόσιας Υγείας ([www.public.health.wa.gov.au](http://www.public.health.wa.gov.au)) επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού. Συστήνει να μην συμπεριλαμβάνονται στο γκρίζο νερό που επαναχρησιμοποιείται χωρίς επεξεργασία τα λύματα από την κουζίνα. Επίσης, το ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό μπορεί να διατίθεται μόνο για υπεδάφια άρδευση. Οι προδιαγραφές που θα πρέπει να τηρούνται σε επίπεδο οικίας, ανάλογα με τον τρόπο επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού, καταγράφονται στον Πίνακα 2.29.



**Πίνακας 2.28:** Ανώτατα όρια ποιοτικών παραμέτρων επεξεργασμένου γκρίζου νερού σε χώρες της Ασίας

| Χώρα       | Αναφορά             | Διάθεση                                  | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | TSS<br>(mg/L) | Θολότητα<br>(NTU) | Faecal<br>Coliforms<br>(CFU/100mL) |
|------------|---------------------|--|----------------------------|---------------|-------------------|------------------------------------|
| Κίνα       | Ernst et al. (2006) | Καθαρισμός τουαλέτας                     | 10                         | 1500 TDS      | 5                 | 3                                  |
|            |                     | Άρδευση πρασίνου                         | 20                         | 1000 TDS      | 20                | 3                                  |
|            |                     | Πλύσιμο ρούχων                           | 10                         | 1000 TDS      | 5                 | 3                                  |
| Ιαπωνία    | Tajima (2005)       | Καθαρισμός τουαλέτας                     |                            |               | 2                 |                                    |
|            |                     | Εξωτερική χρήση                          |                            |               | 2                 |                                    |
|            |                     | Χρήση αναψυχής                           |                            |               | 2                 |                                    |
| Ισραήλ     | Gross et al. (2006) |  | 10                         | 10            |                   | 1                                  |
| Ταϊβάν     | Lin et al. (2005)   | Καθαρισμός τουαλέτας                     | 10                         |               |                   |                                    |
| Σιγκαπούρη | www.pub.gov.sg      | Καζανάκι τουαλέτας, Καθαρισμός & Άρδευση | 5                          |               | 2                 | 10*                                |
|            |                     | Πύργοι ψύξης                             | 5                          |               | 2                 | 10*                                |

\*ως Total Coliforms

**Πίνακας 2.29:** Ανώτατα όρια ποιοτικών παραμέτρων επεξεργασμένου γκρίζου νερού στην δυτική Αυστραλία

| Διάθεση  | Τρόπος Επεξεργασίας   | BOD <sub>5</sub><br>(mg/L) | TSS<br>(mg/L) | E. Coli<br>(CFU/100mL) |
|--|---|----------------------------|---------------|------------------------|
| Υπεδάφια άρδευση   | Επεξεργασία χωρίς απολύμανση  | 20                         | 30            |                        |
| Υπεδάφια και επιφανειακή άρδευση   | Επεξεργασία με απολύμανση   | 20                         | 30            | 10                     |
| Υπεδάφια και επιφανειακή άρδευση, καθαρισμός τουαλέτας, πλυντήριο με κρύο νερό | Επεξεργασία με προχωρημένη δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση | 10                         | 10            | 1                      |

### **3. Αναλυτικές μέθοδοι και Πειραματικό πρωτόκολλο**

---

#### **3.1 Εισαγωγή**

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί ο προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας δύο διαφορετικών συστημάτων γκρίζου νερού, μέσω της μέτρησης των ποιοτικών παραμέτρων του γκρίζου νερού. Το πρώτο σύστημα περιλαμβάνει διαδοχικά καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Το δεύτερο σύστημα περιλαμβάνει διαδοχικά κροκίδωση με θειικό αργίλιο  $Al_2(SO_4)_3$ , καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτενής περιγραφή του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού και της λειτουργίας του σε εργαστηριακή κλίμακα. Επίσης, περιγράφονται με λεπτομέρεια όλες οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων του γκρίζου νερού.

#### **3.2 Περιγραφή του συστήματος σε εργαστηριακή κλίμακα**

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τόσο η σύσταση του μίγματος οικιακών λυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα επεξεργασίας του γκρίζου νερού, όσο και η πειραματική διάταξη επεξεργασίας του γκρίζου νερού.

##### *3.2.1 Σύσταση λυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού*

Η Δέσποινα Χαρχούση, στη διπλωματική της εργασία με τίτλο «Χαρακτηρισμός και επεξεργασία γκρίζου νερού», εκτίμησε την συνολική παροχή γκρίζου νερού σε τρεις αντιπροσωπευτικές, ως προς το πλήθος των ατόμων που τις αποτελεί, οικογένειες. Η οικογένεια Α αποτελείται από ένα άτομο, η οικογένεια Β από δύο άτομα και η οικογένεια Γ από τέσσερα άτομα. Επίσης, για την κάθε οικογένεια, εκτίμησε την συμβολή της των επιμέρους ροών (μπάνιο, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων, νεροχύτης) στη συνολική παροχή γκρίζου νερού.

Τα λύματα προς επεξεργασία που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν πείραμα αποτελούν μίγμα γκρίζου νερού που προέρχεται από τον νιπτήρα, το μπάνιο και το πλυντήριο ρούχων. Τα λύματα αυτά παράγονται από τις οικογένειες Α, Β και Γ, με μέση παροχή που παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1 (Δ. Χαρχούση, 2014). Η οικογένεια Α παράγει 104 (L/p.e./d), η οικογένεια Β παράγει 90,4 (L/p.e./d) και η οικογένεια παράγει Γ 101 (L/p.e./d).

Επίσης, τα ποσοστά συνεισφοράς κάθε οικιακής χρήσης στην συνολική παροχή γκρίζου νερού, όπως βρέθηκαν από τη Χαρχούση Δ. (2014), καταγράφονται στον Πίνακα 3.2. Φαίνεται ότι το μπάνιο συνεισφέρει περισσότερο στην παροχή γκρίζου νερού, συγκριτικά με τη συνεισφορά του νιπτήρα και του πλυντηρίου ρούχων.

**Πίνακας 3.1:** Μέση παροχή γκρίζου νερού ανά οικογένεια

| Οικογένεια | Μέση παροχή γκρίζου νερού (L/p.e./d) |
|------------|--------------------------------------|
| A          | 103                                  |
| B          | 90,4                                 |
| Γ          | 101                                  |

**Πίνακας 3.2:** Συνεισφορά κάθε οικιακής χρήσης στην παροχή γκρίζου νερού ανά οικογένεια

| Οικογένεια | Νιπτήρας | Μπάνιο | Πλυντήριο ρούχων |
|------------|----------|--------|------------------|
| A          | 11,2%    | 48,4%  | 13,3%            |
| B          | 8,6%     | 33,2%  | 29,3%            |
| Γ          | 13,6%    | 32,5%  | 17,3%            |

Τελικά, οι παροχές γκρίζου νερού ανά οικιακή χρήση και δραστηριότητα προκύπτουν ως το γινόμενο των Πινάκων 3.1 και 3.2, με αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

**Πίνακας 3.3:** Παροχή κάθε οικιακής χρήσης ανά οικογένεια

| Οικογένεια | Νιπτήρας (L/d) | Μπάνιο (L/d) | Πλυντήριο ρούχων (L/d) |
|------------|----------------|--------------|------------------------|
| A          | 11,5           | 49,9         | 13,7                   |
| B          | 7,8            | 30,0         | 26,5                   |
| Γ          | 13,7           | 32,8         | 17,5                   |
| Άθροισμα   | 33,0           | 112,7        | 57,7                   |

Στον συνολικό όγκο των  $(33+112,7+57,7) = 203,4$  (L/d) γκρίζου νερού που περιέχει λύματα από νιπτήρα, μπάνιο και πλυντήριο, τα ποσοστά της κάθε οικιακής χρήσης υπολογίσθηκαν και καταγράφονται στον Πίνακα 3.4.

**Πίνακας 3.4:** Ποσοστά συνεισφοράς κάθε οικιακής χρήσης στο προς επεξεργασία γκρίζο νερό

|         | Νιπτήρας | Μπάνιο | Πλυντήριο ρούχων |
|---------|----------|--------|------------------|
| Ποσοστό | 16%      | 56%    | 28%              |

Συνεπώς, το προς επεξεργασία γκρίζο νερό που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από 16% λύματα από τον νιπτήρα, 56% λύματα από το μπάνιο και 28% λύματα από το πλυντήριο ρούχων.

### 3.2.2 Γενική περιγραφή του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού

Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της παρούσας διπλωματικής, κατασκευάστηκε κατάλληλη πειραματική διάταξη στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας. Η περίοδος των πειραμάτων διήρκησε συνολικά 15 εβδομάδες και χωρίστηκε σε δύο κύκλους. Ο πρώτος κύκλος πειραμάτων περιλάμβανε επεξεργασία του μίγματος γκρίζου νερού μέσω καθίζησης, φίλτρου άμμου και φίλτρου ενεργού άνθρακα, ενώ ο δεύτερος περιλάμβανε επεξεργασία μέσω κροκίδωσης, καθίζησης, φίλτρου άμμου και φίλτρου ενεργού άνθρακα.

Προτού ξεκινήσει η λειτουργία του συστήματος σε κάθε πειραματικό κύκλο, η άμμος και ο άνθρακας πλύθηκαν με υπερκάθαρο νερό και ξηράθηκαν στον φούρνο των 103 °C. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε η απομάκρυνση ανεπιθύμητων στερεών, τα οποία αν παρέμεναν στο σύστημα, μέσω της ροής των λυμάτων, θα αλλοίωναν τα αποτελέσματα των μετρούμενων ποιοτικών παραμέτρων. Η άμμος και ο άνθρακας, στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε στύλους κυκλικής διατομής από plexiglass. Τα χαρακτηριστικά των στύλων, της άμμου και του άνθρακα καταγράφονται αντίστοιχα στους Πίνακες 3.5, 3.6 και 3.7.

**Πίνακας 3.5:** Χαρακτηριστικά στύλων πειράματος

| Υλικό κατασκευής           | Plexiglass |
|----------------------------|------------|
| Συνολικό ύψος στύλου       | 1,40 (m)   |
| Εσωτερική διάμετρος στύλου | 5 (cm)     |

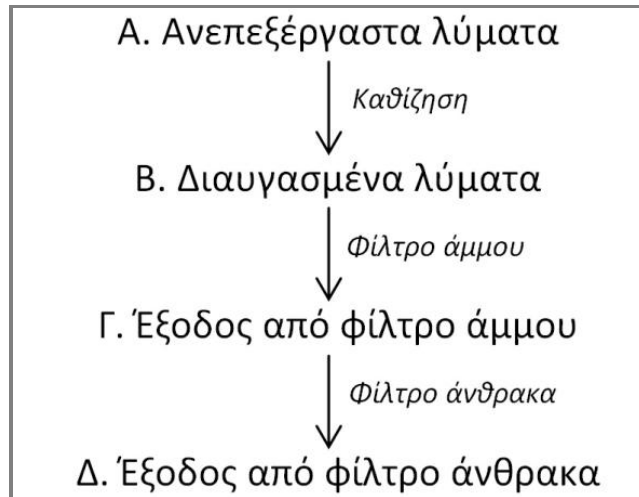
**Πίνακας 3.6:** Χαρακτηριστικά άμμου

| Άμμος            | Χαλαζιακή           |
|------------------|---------------------|
| Προμηθευτής      | Στρουμπούλης Ε.Π.Ε. |
| Διάμετρος κόκκων | 0,5 – 1,0 (mm)      |

**Πίνακας 3.7:** Χαρακτηριστικά κοκκώδους ενεργού άνθρακα (GAC)

|                                   |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Προμηθευτής                       | CHEMiTECH                |
| Τύπος                             | Filtracarb CC60          |
| Μέγεθος κόκκων                    | 12 * 40 mesh             |
| Κατηγορία                         | Κοκκώδης                 |
| Υλικό προέλευσης                  | Κάρβουνο                 |
| Τέφρα                             | < 10%                    |
| Μέθοδος ενεργοποίησης             | Ρεύμα ατμού              |
| Υγρασία σε συσκευασία             | 5%                       |
| Ειδική επιφάνεια                  | 1050 m <sup>2</sup> /g   |
| Σκληρότητα                        | 95%                      |
| pH υδατικού διαλύματος            | 8                        |
| Πυκνότητα σωρού                   | 0,45 g/cm <sup>3</sup>   |
| Όγκος πόρων                       | 1,105 cm <sup>3</sup> /g |
| Αριθμός ιωδίου                    | 1000 mg/g                |
| Αριθμός μπλε μεθυλενίου           | 210 mg/g                 |
| Αριθμός φαινολών                  | 5,3%                     |
| Αριθμός μισού μήκους αποχλωρίωσης | 2,20 cm                  |
| Αριθμός τετραχλωράνθρακα          | 65%                      |

Δείγματα λαμβάνονταν από κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος. Το δείγμα «Α» αντιστοιχεί στα ανεπεξέργαστα λύματα, το δείγμα «Β» στα διαυγασμένα λύματα, όπως προέκυψαν μετά το πέρας του χρόνου καθίζησης, το δείγμα «Γ» αντιστοιχεί στα λύματα που έχουν διέλθει από το φίλτρο άμμου και, τέλος, το δείγμα «Δ» αντιστοιχεί στα λύματα που έχουν διέλθει από το φίλτρο ενεργού άνθρακα. Η σχηματική απεικόνιση των σταδίων επεξεργασίας του συστήματος γκρίζου φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



**Σχήμα 3.1:** Σχηματική απεικόνιση σταδίων επεξεργασίας

Η δεξαμενή καθίζησης είχε συνολική χωρητικότητα 10,5 (L) και φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Ο νεκρός όγκος της δεξαμενής φαίνεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο Σχήμα 3.3. Η συνολική του χωρητικότητα ήταν 3,5 (L), ενώ μέχρι τα 2 (L) βαθμονομήθηκε, έτσι ώστε να είναι δυνατή η καταγραφή της ποσότητας ιλύος που καθίζανε.



**Σχήμα 3.2:** Δεξαμενή καθίζησης, χωρητικότητας 10,5 (L)



**Σχήμα 3.3:** Νεκρός όγκος δεξαμενής καθίζησης, χωρητικότητας 3,5 (L)

Όπως έπεται από τα παραπάνω, τις ημέρες λειτουργίας του συστήματος η δεξαμενή καθίζησης έπρεπε να πληρώνεται με 7 (L) λυμάτων. Η σύνθεση των λυμάτων με τα οποία τροφοδοτούνταν το σύστημα προέκυψε με αναγωγή των αποτελεσμάτων του Πίνακα 3.4 σε συνολικό όγκο λυμάτων 7 (L). Τελικά, προέκυψε ο Πίνακας 3.8.

**Πίνακας 3.8:** Σύνθεση ανεπεξέργαστων λυμάτων που εισέρχονταν στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού

|                  |         |
|------------------|---------|
| Νιπτήρας         | 1,1 (L) |
| Μπάνιο           | 3,9 (L) |
| Πλυντήριο ρούχων | 2,0 (L) |
| Άθροισμα         | 7,0 (L) |

Ο νεκρός όγκος της δεξαμενής καθίζησης δεν εκκεωνόταν κατά τη διάρκεια του κάθε κύκλου. Αυτό είχε ως συνέπεια, στο σημείο Β, να υπάρχει ανάμιξη του ανεπεξέργαστου δείγματος με τα λύματα του νεκρού όγκου. Με άλλα λόγια, η σύσταση του δείγματος Β εξαρτιόταν από τη σύσταση των λυμάτων στον νεκρό όγκο της δεξαμενής.

Τα λύματα από την δεξαμενή καθίζησης οδηγούνταν στην κορυφή του στύλου με το φίλτρο άμμου, μέσω περισταλτικής αντλίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγραφόταν ο χρόνος λειτουργίας της αντλίας, μέχρις ότου



να αδειάσει ο ωφέλιμος όγκος της δεξαμενής καθίζησης. Η παροχή με την οποία η αντλία διέθετε τα λύματα στο σύστημα ήταν 2,8 (L/hr). Η υδραυλική φόρτιση του συστήματος, τις ώρες λειτουργίας του, ήταν 1,4 (m/hr) ή ισοδύναμα 34,4 (m/d).

Η ροή μέσω του φίλτρου άμμου προς το φίλτρο ενεργού άνθρακα γινόταν εξαιτίας της υψομετρικής διαφοράς στις στάθμες λειτουργίας της άμμου και του άνθρακα, δηλαδή χωρίς τη βοήθεια αντλίας. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται ο σωλήνας που ξεκινάει από τη βάση του φίλτρου άμμου και καταλήγει στην κορυφή του φίλτρου ενεργού άνθρακα (ακριβώς πίσω από το φίλτρο άμμου). Το φίλτρο άμμου είχε καθαρό ύψος 60 (cm) και ήταν πάντα βυθισμένο. Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφονταν το αρχικό ύψος λυμάτων στο φίλτρο άμμου και το μέγιστο καθαρό ύψος των λυμάτων στον στύλο της άμμου. Η ύπαρξη αρχικής στάθμης λυμάτων στο φίλτρο σημαίνει ότι η σύσταση του δείγματος Γ εξαρτιόταν από τη σύσταση των λυμάτων που ήδη υπήρχαν σε αυτό.



**Σχήμα 3.4:** Φίλτρο άμμου και περισταλτική αντλία

Το φίλτρο ενεργού άνθρακα είχε καθαρό ύψος 60 (cm) και βρισκόταν πάντα βυθισμένο, όπως διακρίνεται στο Σχήμα 3.5. Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφονταν το μέγιστο καθαρό ύψος των λυμάτων στον στύλο του ενεργού άνθρακα. Και εδώ, όπως και στην περίπτωση του φίλτρου άμμου, η ύπαρξη αρχικής στάθμης λυμάτων καθιστούσε το δείγμα Δ να εξαρτάται από τα λύματα που ήδη υπήρχαν στο φίλτρο ενεργού άνθρακα.

Κάθε φορά που η στάθμη λυμάτων, τουλάχιστον σε κάποιον από τους δύο στύλους, ήταν ίση με τη στάθμη υπερχειλίσης, η οποία ήταν 60 (cm) επάνω από τον στάθμη των φίλτρων, κρινόταν απαραίτητη η έκπλυση των φίλτρων. Επίσης, έκπλυση στην άμμο πραγματοποιούνταν όταν υπήρχε αλλοίωση του χρώματος του φίλτρου άμμου, φαινόμενο που συνέβαινε πιθανότατα λόγω της ανάπτυξης αποικιών μικροοργανισμών στους πόρους του φίλτρου. Η έκπλυση πραγματοποιούνταν αδειάζοντας τους στύλους

από το υλικό τους (άμμο ή άνθρακα). Στη συνέχεια τα υλικά πλένονταν με απιονισμένο νερό, με χειροκίνητο τρόπο.

Μετά τη ροή τους μέσω του φίλτρου ενεργού άνθρακα, τα επεξεργασμένα πλέον λύματα κατέληγαν σε ογκομετρικό κύλινδρο χωρητικότητας 1,0 (L), μέσω ανεστραμμένου σίφωνα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.



**Σχήμα 3.5:** Φίλτρο ενεργού άνθρακα και ογκομετρικός κύλινδρος

Ο ογκομετρικός κύλινδρος αφενός μεν λειτουργούσε ως δοχείο συλλογής του επεξεργασμένου υγρού από όπου λαμβανόταν το δείγμα Δ, αφετέρου δε αντιπροσώπευε το τυχαίο δείγμα επεξεργασμένων λυμάτων. Ο όρος «τυχαίο δείγμα» οφείλεται στο γεγονός ότι ο ογκομετρικός κύλινδρος δεν εκκενωνόταν στη διάρκεια κάθε κύκλου του πειράματος, αλλά υπερχείλιζε σε λεκάνη συλλογής. Οπότε, το δείγμα Δ δεν εξαρτάται μόνο από τα λύματα της αρχικής στάθμης στο φίλτρο άνθρακα, αλλά και από τα επεξεργασμένα λύματα που έχουν καταλήξει στον ογκομετρικό κύλινδρο.

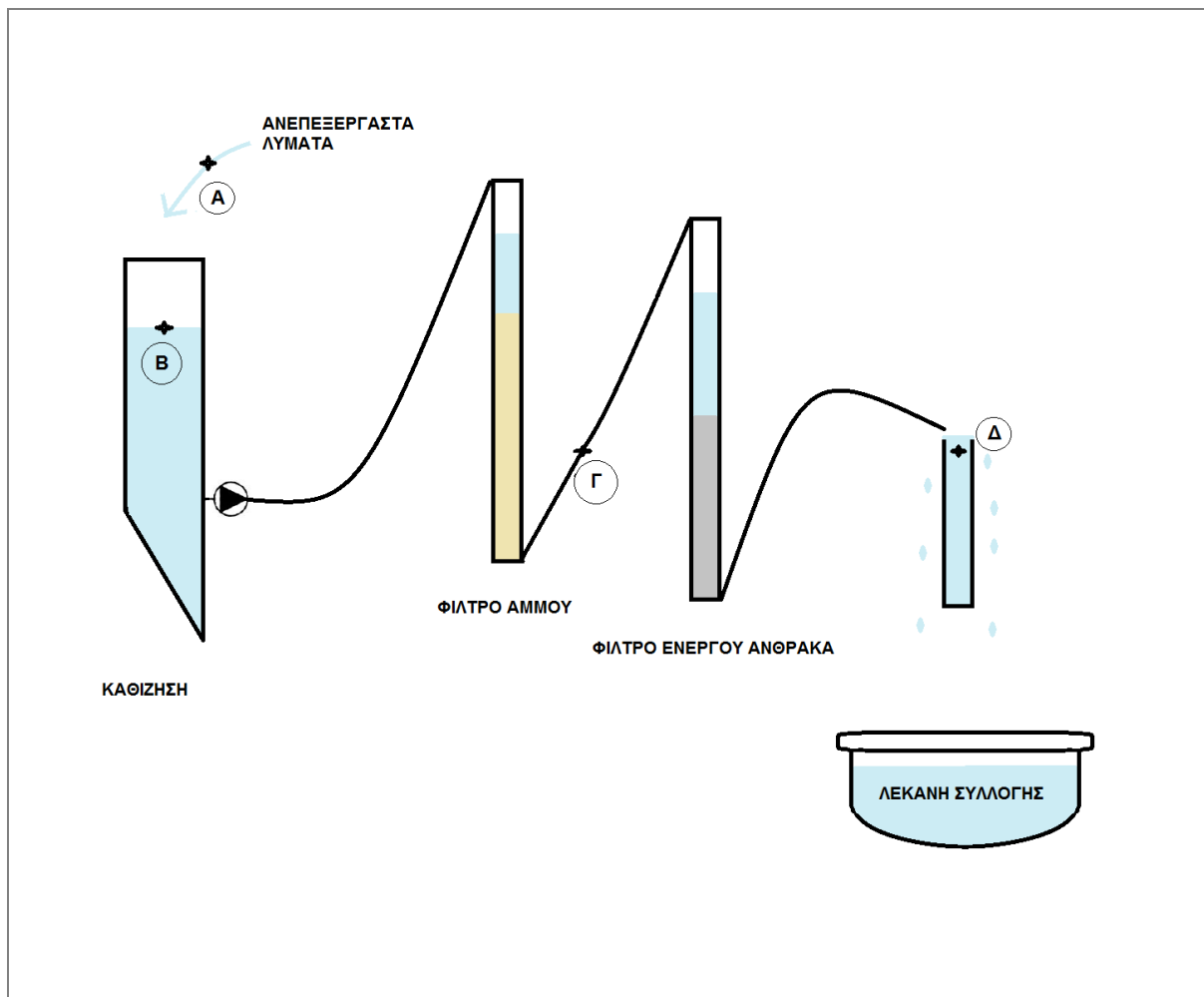
Σε ότι αφορά στην χρονική κατανομή των δειγματοληψιών, το δείγμα Α λαμβανόταν από τα ανεπεξέργαστα λύματα, λίγο πριν εισέλθουν στο σύστημα επεξεργασίας. Το δείγμα Β λαμβανόταν από την επιφάνεια της δεξαμενής καθίζησης, μετά το πέρας του απαιτούμενου χρόνου καθίζησης. Ο χρόνος καθίζησης του φυσικού και του χημικού συστήματος επεξεργασίας αναφέρεται στα Εδάφια 3.2.3 και 3.2.4. Τα δείγματα Γ και Δ λαμβάνονταν λίγο πριν το τέλος της λειτουργίας της αντλίας, ώστε να υπάρχει επαρκής ανάμιξη των μόλις επεξεργασμένων λυμάτων με τα ήδη υπάρχοντα λύματα κάθε σταδίου επεξεργασίας.

### 3.2.3 Περιγραφή του πρώτου κύκλου πειραμάτων (σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει διαδοχικά καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα)

Ο πρώτος κύκλος πειραμάτων περιλάμβανε καθίζηση και επεξεργασία μέσω των φίλτρων άμμου και ενεργού άνθρακα. Η διαδικασία απεικονίζεται στο Σχήμα 3.6.

Το σύστημα ήταν σε λειτουργία 4 ημέρες την εβδομάδα και η δειγματοληψία γινόταν 1 ή 2 φορές την εβδομάδα. Συνολικά, οι ημέρες λειτουργίας του συστήματος ήταν 30.

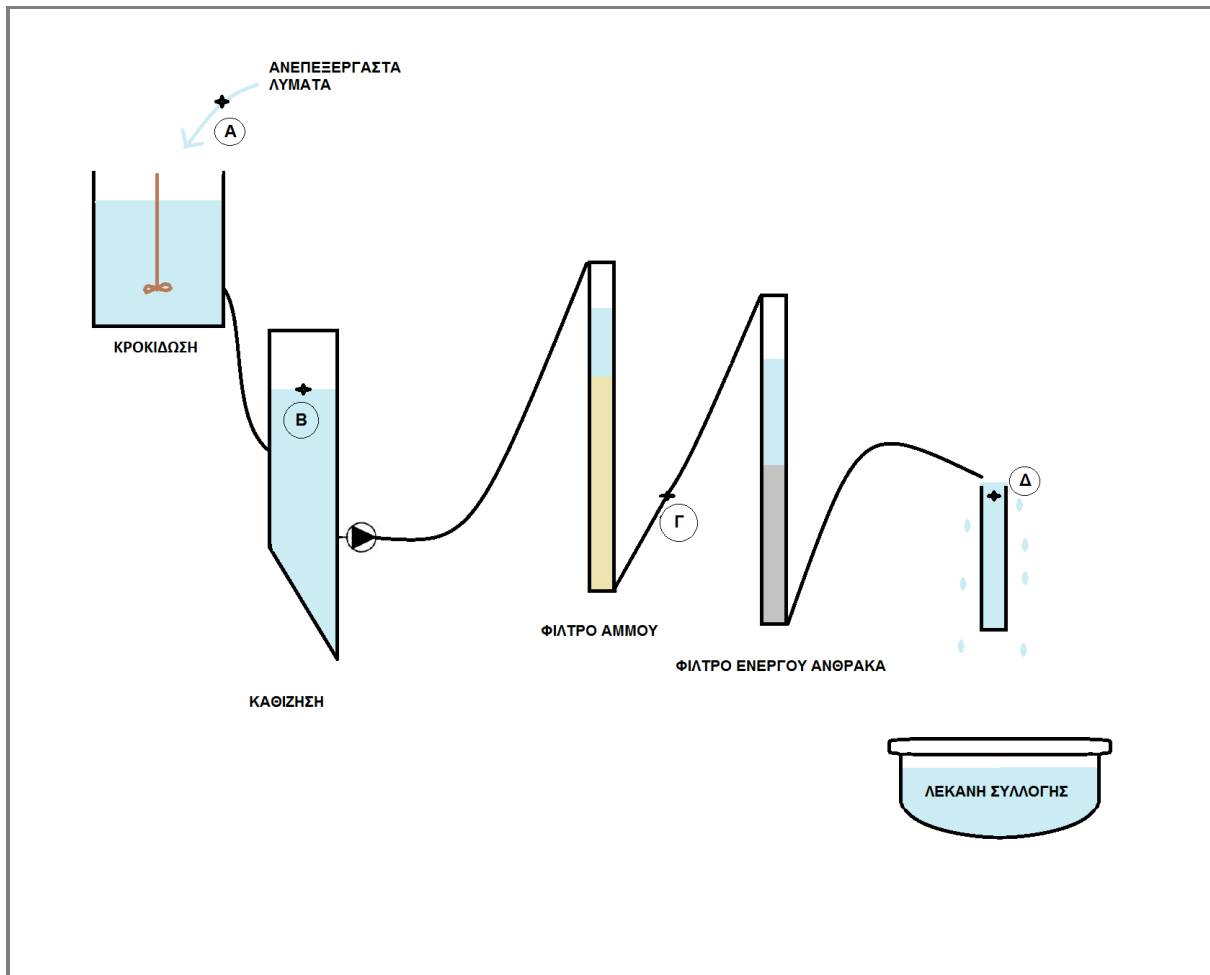
Ο χρόνος καθίζησης των ανεπεξέργαστων λυμάτων εντός της δεξαμενής καθίζησης ήταν 1 ημέρα.



Σχήμα 3.6: Σχηματική απεικόνιση πειραματικής διάταξης α' κύκλου πειράματος

### 3.2.4 Περιγραφή του δεύτερου κύκλου πειραμάτων (σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει διαδοχικά κροκίδωση, καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα)

Η διάταξη του πειράματος ήταν ακριβώς ίδια με αυτήν του πρώτου κύκλου του πειράματος, με τη διαφορά ότι προστέθηκε δεξαμενή κροκίδωσης πριν την δεξαμενή καθίζησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7.



**Σχήμα 3.7:** Σχηματική απεικόνιση πειραματικής διάταξης β' κύκλου πειράματος

Το σύστημα ήταν σε λειτουργία 3 ημέρες την εβδομάδα και η δειγματοληψία γινόταν κάθε φορά που λειτουργούσε το σύστημα. Συνολικά, το σύστημα του δεύτερου κύκλου πειραμάτων λειτούργησε για 10 ημέρες.

Αρχικά, τα ανεπεξέργαστα λύματα εισέρχονταν στην δεξαμενή κροκίδωσης. Η δεξαμενή κροκίδωσης και το πτερύγιο ανάδευσης του Σχήματος 3.8 επιλέχθηκαν, έτσι ώστε:

- (α) Η δεξαμενή κροκίδωσης να έχει τετραγωνική κάτοψη, με στόχο την όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη ανάδευση.
- (β) Το πλάτος της δεξαμενής να είναι περίπου 3 φορές η διάμετρος του πτερυγίου ανάδευσης.

- (γ) Η απόσταση του πτερυγίου ανάδευσης από τη βάση της δεξαμενής να είναι περίπου 1 διάμετρος.
- (δ) Η χωρητικότητα της δεξαμενής να είναι τουλάχιστον 10 (L).



**Σχήμα 3.8:** Αναδευτήρας και δεξαμενή κροκίδωσης

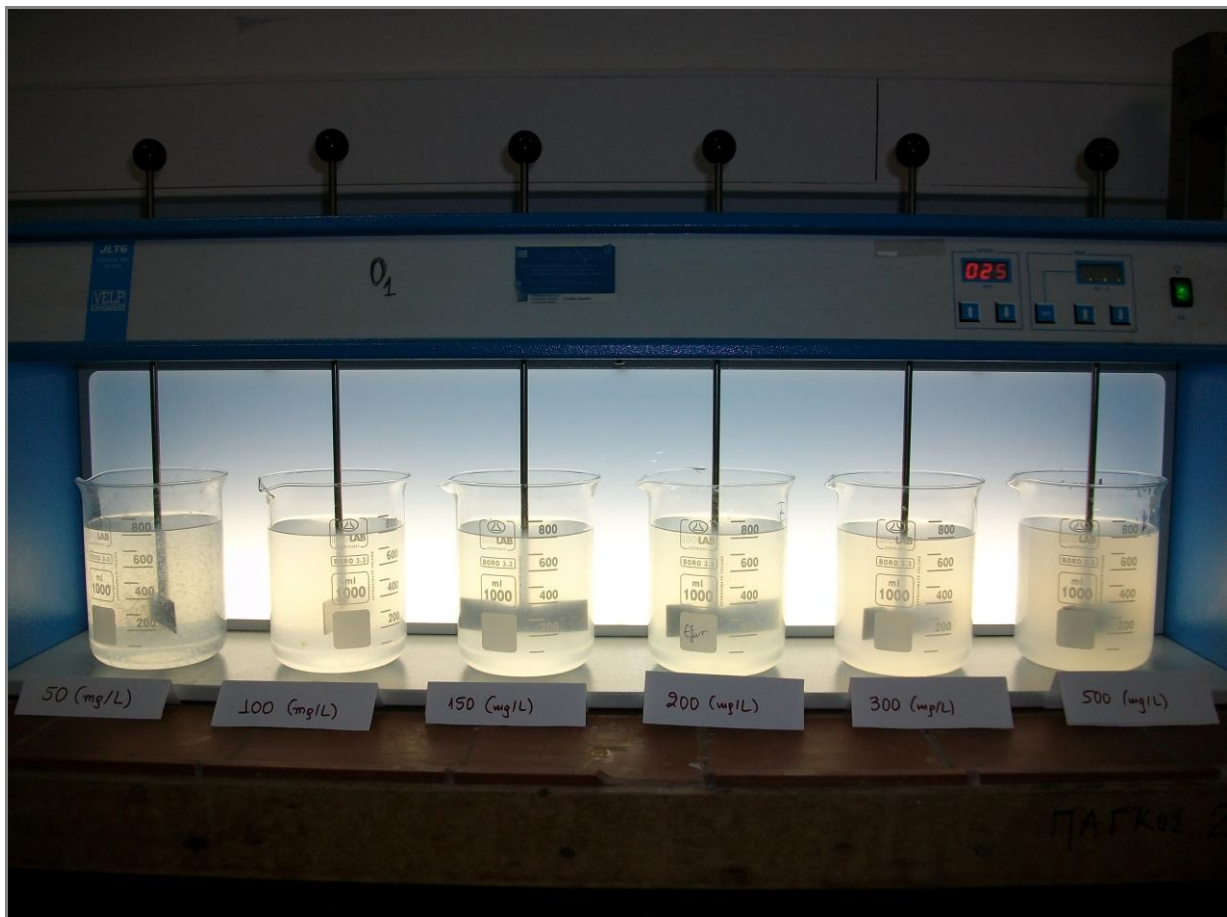
Η δόση κροκιδωτικού που χρησιμοποιούνταν κάθε φορά ήταν η βέλτιστη δόση που αντιστοιχούσε στην εκάστοτε τιμή θολότητας των ανεπεξέργαστων λυμάτων. Ως κριτήριο επιλέχθηκε η θολότητα, διότι είναι μία εύκολα μετρήσιμη παράμετρος και αντιπροσωπευτική για την ποιότητα των δειγμάτων. Η εκάστοτε δόση του κροκιδωτικού προέκυπτε από διάλυμα θειικού αργιλίου περιεκτικότητας 8% σε  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ , το οποίο παρασκευαζόταν σε εβδομαδιαία βάση στο εργαστήριο, από σκόνη  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ .

Προκειμένου να ευρεθούν οι βέλτιστες δόσεις κροκιδωτικού, έγινε μια σειρά από jar tests. Η συσκευή στην οποία πραγματοποιήθηκαν τα jar tests φαίνεται στο Σχήμα 3.9.

Το πειραματικό πρωτόκολλο των jar tests ήταν το εξής:

- (α) Ταχεία μίξη με 200 (rpm) για 1 (ένα) min.
- (β) Συσσωμάτωση με
- (i) 70 (rpm) για 7,5 (min).
  - (ii) 40 (rpm) για 7,5 (min).
  - (iii) 25 (rpm) για 5 (min).
- (γ) Καθίζηση για 50 (min).

Τα δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν είχαν χωρητικότητα 800 (mL).



**Σχήμα 3.9:** Συσκευή jar test

Προκειμένου να υπάρχει αποτελεσματική κροκίδωση, αντίστοιχη με αυτή στα jar tests, στη δεξαμενή κροκίδωσης επιλέχθηκε ταχύτητα ταχείας μίξης 350 (rpm),. Η ταχύτητα συσσωμάτωσης στο πείραμα επιλέχθηκε 70 (rpm) για 7,5 (min), σε αντιστοιχία με το jar test, και έπειτα 50 (rpm) για 12,5 (min), σε αντίθεση με το jar test. Αυτό έγινε λόγω πρακτικού περιορισμού, δηλαδή αδυναμίας της συσκευής ανάδευσης του πειράματος να αναπτύξει ταχύτητα μικρότερη των 50 (rpm). Ο χρόνος καθίζησης των ανεπεξέργαστων λυμάτων ήταν 1,5 (hr), με στόχο την αποτελεσματικότερη καθίζηση των κροκίδων που σχηματίστηκαν.

Αφού τα λύματα κροκιδωθούν στη δεξαμενή ανάδευσης και καθιζάνουν στη δεξαμενή καθίζησης, οδηγούνται με τη βοήθεια αντλίας στο φίλτρο άμμου κι έπειτα στο φίλτρο ενεργού άνθρακα, όπως περιγράφηκε στο Εδάφιο 3.2.2.

Τέλος, λόγω της κροκίδωσης, αναμενόταν μεγάλη παραγωγή ιλύος. Συνεπώς, ένα επιπλέον μέγεθος που καταγραφόταν, σε σχέση με το σύστημα του πρώτου κύκλου, ήταν ο όγκος ιλύος που καθίζανε στο τέλος κάθε ημέρας λειτουργίας του συστήματος.

### 3.3 Αναλυτικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων

Οι εργαστηριακές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα Α, Β, Γ, και Δ του συστήματος επεξεργασίας γκριζου νερού ήταν:

- (α) Ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (αντίστοιχα TSS και VSS)
- (β) Ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (αντίστοιχα COD<sub>t</sub> και COD<sub>s</sub>)
- (γ) Αμμωνιακό άζωτο (NH<sub>4</sub>-N), μόνο στον πρώτο κύκλο πειραμάτων
- (δ) Αγωγιμότητα
- (ε) Θολότητα
- (στ) pH, μόνο στον δεύτερο κύκλο πειραμάτων
- (ζ) Ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS)
- (η) Μικροοργανικές ενώσεις
- (θ) Βαρέα Μέταλλα (Cr, Zn, Cu)

#### 3.3.1 Ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (TSS και VSS)

Τα ολικά αιωρούμενα στερεά προσδιορίστηκαν με τη χρήση φίλτρων GF/C. Αρχικά, το φίλτρο προξηραίνεται στον φούρνο των 550°C για 15 (min) και έπειτα παρέμεινε στον ξηραντήρα για άλλα 15 (min). Στη συνέχεια, καταγραφόταν σε ειδικό έντυπο το βάρος του, όπως προέκυπτε από ζύγιση στο ζυγό. Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για αυτές τις διαδικασίες φαίνονται στο Σχήμα 3.10. Μετά, το καθαρό φίλτρο τοποθετούνταν στη συσκευή διήθησης που συνοδεύεται από αντλία κενού. Ο όγκος του δείγματος που διερχόταν από το φίλτρο καταγραφόταν κι αυτός στο ειδικό έντυπο. Ύστερα από αυτά, το φίλτρο τοποθετούνταν στον φούρνο των 103°C για τουλάχιστον 1 (hr) κι έπειτα παρέμεινε για 15 (min) στον ξηραντήρα. Τα εργαστηριακά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τις παραπάνω διαδικασίες φαίνονται στο Σχήμα 3.10. Ακολουθούσε καταγραφή του βάρους του φίλτρου (βάρος φίλτρου στους 103°C) και υπολογισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), μέσω της Σχέσης (3.1).

$$TSS = \frac{(\text{Βάρος φίλτρου στους } 103^{\circ}\text{C} - \text{Βάρος καθαρού φίλτρου})}{\text{Όγκος δείγματος}} \quad (3.1)$$

Προκειμένου να μετρηθούν τα πτητικά αιωρούμενα στερεά (VSS), το φίλτρο που έχει υποστεί την προηγούμενη διαδικασία, εισήλθε και πάλι στον φούρνο των 550°C, όπου παρέμεινε για 15 (min). Τέλος, μετά τον φούρνο των 550°C, το φίλτρο παρέμεινε στον ξηραντήρα του Σχήματος 3.10 για άλλα 15 (min). Τέλος, προσδιορίστηκε η τιμή της συγκέντρωσης των VSS, σύμφωνα με τη Σχέση 3.2.

$$VSS = \frac{(\text{Βάρος φίλτρου στους } 103^{\circ}\text{C} - \text{Βάρος φίλτρου } 550^{\circ}\text{C})}{\text{Όγκος δείγματος}} \quad (3.2)$$

Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των στερεών φαίνονται στο Σχήμα 3.12.



**Σχήμα 3.10:** Προετοιμασία φίλτρων για μέτρηση στερεών: Φούρνος 550°C , Ξηραντήρας και Ζυγός ακριβείας (από αριστερά προς τα δεξιά)



**Σχήμα 3.11:** Προσδιορισμός TSS: Συσκευή διήθησης συνοδευόμενη από αντλία κενού, Φούρνος 103°C, Ξηραντήρας, Ζυγός ακριβείας (από αριστερά προς τα δεξιά)

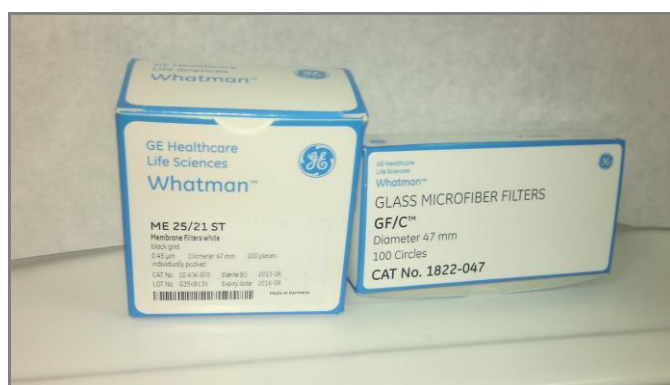


### 3.3.2 Ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (αντίστοιχα $COD_t$ και $COD_s$ )

Η μέτρηση του ολικού και του διαλυτού COD έγινε με εισαγωγή 2 (mL) λυμάτων μέσω πιπετών στα αντιδραστήρια της HACH. Τα αντιδραστήρια της HACH που χρησιμοποιήθηκαν είχαν κωδικούς LCK 314, για μετρούμενες συγκεντρώσεις 15-150 (mg/L)  $O_2$ , και LCK 114, για μετρούμενες συγκεντρώσεις 150-1000 (mg/L)  $O_2$ .

Για τον προσδιορισμό του  $COD_t$ , εισήχθησαν 2 (mL) του δείγματος των λυμάτων κατευθείαν στο φιαλίδιο.

Για τον προσδιορισμό του  $COD_s$ , διηθήθηκε μικρή ποσότητα λυμάτων στη συσκευή διήθησης, χρησιμοποιώντας μεμβράνες ME 25/21 ST 0,45 ( $\mu m$ ), οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 3.12. Στη συνέχεια, εισήχθησαν 2 (mL) του διηθημένου δείγματος στο φιαλίδιο.



Σχήμα 3.12: Μεμβράνες και φίλτρα (από αριστερά προς τα δεξιά)

Τόσο τα φιαλίδια του ολικού, όσο και τα φιαλίδια του διαλυτού COD, μετά από καλή ανακίνηση, χωνεύθηκαν για 2 (hr) στους 150°C στον χωνευτή. Την επόμενη μέρα της χώνευσης, μετρήθηκε η απορρόφηση των φιαλιδίων στο φασματοφωτόμετρο HACH DR2800.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του ολικού και διαλυτού COD φαίνονται, αντίστοιχα, στα Σχήματα 3.13 και 3.14.

Οι τελικές συγκεντρώσεις COD προσδιορίστηκαν με χρήση των τιμών απορρόφησης στις καμπύλες COD. Οι εξισώσεις των καμπυλών COD για τα φιαλίδια LCK 314 και LCK 114, αντίστοιχα, είναι οι Σχέσεις 3.3 και 3.4. Επίσης, προκειμένου να γίνεται έλεγχος των διαδικασιών για τα αντιδραστήρια LCK 314 και LCK 114, υπήρχαν δύο φιαλίδια, τα Blank, τα οποία δεν περιείχαν λύματα, αλλά απιονισμένο νερό. Το ένα Blank είχε χωνευθεί στον χωνευτή, ενώ το άλλο όχι. Και τα δύο φιαλίδια φυλάσσονταν σε σκοτεινό και δροσερό μέρος και αντικαθιστούνταν από νέα, όταν δεν ικανοποιούνταν οι έλεγχοι των Σχέσεων 3.5 και 3.6.

$$251,6344 * (\text{τιμή blank μη χωνεμένου-απορρόφηση}) + 0,1453 \quad (3.3)$$

$$1947,1 * \text{απορρόφηση} - 4,9499 \quad (3.4)$$

$$| \text{Blank χωνεμένο} - \text{Blank μη χωνεμένο} | \leq 0,014, \text{ για LCK314} \quad (3.5)$$

$$\text{Blank χωνεμένο} \leq 0,014, \text{ για LCK114} \quad (3.6)$$



**Σχήμα 3.13:** Προσδιορισμός COD<sub>t</sub>: Πιπέτες, Φιαλίδια HACH, Χωνευτής, Φασματοφωτόμετρο HACH DR2000 (από αριστερά προς τα δεξιά)



**Σχήμα 3.14:** Προσδιορισμός COD<sub>5</sub>: Συσκευή διήθησης συνοδευόμενη από αντλία κενού, Πιπέτες, Αντιδραστήρια HACH, Χωνευτής, Φασματοφωτόμετρο HACH DR2000 (από αριστερά προς τα δεξιά)

### 3.3.3 Αμμωνιακό άζωτο ( $NH_4-N$ )

Το αμμωνιακό άζωτο προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας λύματα που διηθήθηκαν μέσω μεμβρανών ME 25/21 ST 0,45 ( $\mu m$ ) στη συσκευή διήθησης, με τη βοήθεια αντλίας κενού. Χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια με κωδικό LCK 304 της HACH, τα πληρώθηκαν με 5 (mL) διηθημένου δείγματος γκρίζου νερού. Το εύρος συγκεντρώσεων αμμωνιακού αζώτου που δύνανται να μετρήσουν τα αντιδραστήρια LCK 304 είναι 0,015-2,0 (mg/L). Έπειτα από καλή ανάδευση των φιαλιδίων που περιείχαν δείγμα και μετά το πέρας 15 (min), το φιαλίδιο τοποθετήθηκε στο φασματοφωτόμετρο HACH DR2800, το οποίο εμφάνισε στην οθόνη του την τιμή της συγκέντρωσης  $NH_4-N$  στο φιαλίδιο.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του αμμωνιακού αζώτου φαίνονται στο Σχήμα 3.15.



**Σχήμα 3.15:** Προσδιορισμός  $NH_4-N$ : Συσκευή διήθησης συνοδευόμενη από αντλία κενού, Πιπέτες, Αντιδραστήρια HACH, φασματοφωτόμετρο (από αριστερά προς τα δεξιά)

### 3.3.4 Αγωγιμότητα, Θολότητα, pH

Η αγωγιμότητα προσδιορίστηκε με χρήση της συσκευής WTW Multi 3410. Το ηλεκτρόδιο της συσκευής βυθιζόταν μέσα στο δείγμα, μέχρις ότου σταθεροποιηθεί η ένδειξη στην οθόνη του οργάνου. Η σταθερή τιμή που έδειχνε το όργανο στην οθόνη ταυτίζεται με την τιμή της αγωγιμότητας στο δείγμα γκρίζου νερού.

Η θολότητα προσδιορίστηκε μέσω της συσκευής μέτρησης θολότητας HACH 2100P. Η μέθοδος μέτρησης είναι νεφελομετρική. Η συσκευή περιέχει ειδικό φιαλίδιο όγκου 10 (mL), το οποίο πληρώθηκε με δείγμα γκρίζου νερού. Έπειτα, το φιαλίδιο τοποθετήθηκε

στο όργανο και στη συνέχεια καταγράφηκαν δύο ενδείξεις της θολότητας. Η τελική τιμή προέκυπτε ως η μέση τιμή των δύο αυτών ενδείξεων του θολομέτρου.

Το pH προσδιορίστηκε με τη βοήθεια της συσκευής WTW pH 315i και του ηλεκτροδίου της, που συντηρείται σε διάλυμα KCl 3,0 (M). Το ηλεκτρόδιο της συσκευής βυθιζόταν μέσα στο δείγμα, ενώ ταυτόχρονα η οθόνη έδειχνε την τιμή του pH του δείγματος. Όταν η τιμή σταθεροποιούνταν, καταγραφόταν σε ειδικό έντυπο ως η τελική τιμή pH του δείγματος.

Όλες οι παραπάνω συσκευές φαίνονται στο Σχήμα 3.16.

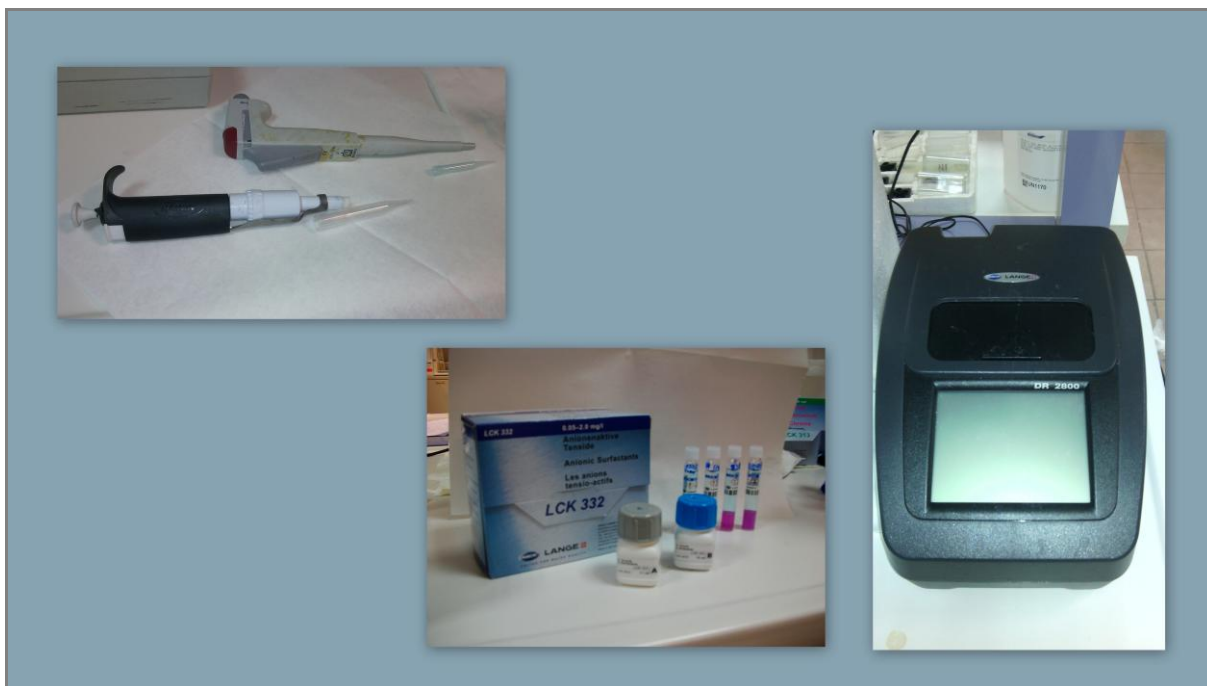


**Σχήμα 3.16:** Αγωγιμόμετρο, Θολόμετρο, pH-μετρο (από αριστερά προς τα δεξιά)

### 3.3.5 Ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS)

Για τον προσδιορισμό των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια της HACH με κωδικό LCK 332. Οι συγκεντρώσεις που δύνανται να μετρήσουν είναι 0,05-2,0 (mg/L). Αρχικά, 3,5 (mL) δείγματος ογκομετρούνταν με την πιπέτα και τοποθετούνταν στο φιαλίδιο. Αμέσως μετά, τοποθετούνταν 400 (mL) αντιδραστήριο A και 200 (mL) αντιδραστήριο B. Ακολουθούσε ανακίνηση του φιαλιδίου για 1 (min) και μετά ηρεμία του υγρού για το επόμενο 0,5 (min). Αμέσως μετά το φιαλίδιο εισερχόταν στο φασματοφωτόμετρο, στην οθόνη του οποίου καταγραφόταν η συγκέντρωση ανιονικών τασιενεργών.

Τα εργαστηριακά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των LAS φαίνονται στο Σχήμα 3.17.



**Σχήμα 3.17:** Προσδιορισμός LAS: Πιπέτες, Αντιδραστήρια HACH, Φασματοφωτόμετρο (από αριστερά προς τα δεξιά)

### 3.3.6 Μικροοργανικές ενώσεις

Η συγκέντρωση των μικροοργανικών ενώσεων προσδιορίσθηκε με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας, με χρήση του αερίου χρωματογράφου- φασματογράφου μάζας GC-MS (αέριος χρωματογράφος Agilent 7890A, συζευγμένος με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.18. Η στήλη που χρησιμοποιείται είναι η DB5MS (30 (m) x 0,25 (μm) x 0,32 (mm)) από τη Supelco, USA. Το φέρον αέριο είναι το ήλιο (99,999 %) με σταθερή ροή 0,9 (mL/min).

Αρχικά, τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τα σημεία Α, Β, Γ και Δ του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού, διηθήθηκαν μέσω μεμβρανών ME 25/21 ST 0,45 (μm). Στο διηθημένο υγρό προστέθηκε διάλυμα HCl, ώστε το pH να γίνει μικρότερο από 2,5. Ακολούθησε εκχύλιση της στερεής φάσης των δειγμάτων.

Η εκχύλιση έγινε στη συσκευή κενού, στην οποία τοποθετήθηκαν στήλες C18, 500 (mg) 6 (mL), και φαίνεται στο Σχήμα 3.19. Κάθε στήλη ενεργοποιήθηκε με τη διέλευση 6 (mL) οξικού αιθυλεστέρα (3 φορές, 2 (mL) τη φορά), 6 (mL) μεθανόλης (3 φορές, 2 (mL) τη φορά) και 6 mL υπερκάθαρου νερού (3 φορές, 2 (mL) τη φορά), με φυσική ροή. Στη συνέχεια, αφού τοποθετήθηκαν στις στήλες σύριγγες χωρητικότητας 50 (mL), διήλθαν από τη στήλη 100 (mL) διηθημένου δείγματος. Αφού η στήλη αποστραγγίστηκε, εκπλύθηκε με 2 (mL) όξινου υπερκάθαρου νερού (pH=2.5). Μετά, προσαρμόσθηκε στη συσκευή αντλία, ώστε να στεγνώσουν οι στήλες. Τέλος, προστέθηκαν στις στήλες 6 (mL) (3 φορές, 2 (mL) τη φορά) οξικού αιθυλεστέρα, ώστε οι ουσίες να εκχυλιστούν και να καταλήξουν σε σκουρόχρωμα φιαλίδια, τα οποία σφραγίσθηκαν αεροστεγώς και αποθηκεύθηκαν στην κατάψυξη μέχρι να αναλυθούν από τον αέριο φασματογράφο.



**Σχήμα 3.18:** Αέριος χρωματογράφος Agilent 7890A συζευγμένος με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C

Τη διαδικασία της εκχύλισης ακολούθησε η παραγωγοποίηση των δειγμάτων. Αρχικά, τα δείγματα εξατμίσθηκαν μέχρι ξηράνσεως, με τη βοήθεια αζώτου ( $N_2$ ). Έπειτα, προστέθηκε 1 (mL) οξικού αιθυλεστέρα και ακολούθησε ανάδευση του δείγματος με vortex (δονητή δοκιμαστικών σωλήνων) για 30 (sec). Ακολούθως, 1 (mL) δείγματος μεταγγίσθηκε από τα σκουρόχρωμα φιαλίδια σε διάφανα, κωνικού πάτου, και πραγματοποιήθηκε πλήρης εξάτμιση του δείγματος, και πάλι με χρήση αζώτου. Επιπλέον, προστέθηκαν 60 (μL) εσωτερικών προτύπων (BPA και MCF) και επαναλήφθηκε η πλήρης εξάτμιση του δείγματος με άζωτο. Ακολούθησε προσθήκη 50 (μL) BSTFA 1% TMC και 10 (μL) πυριδίνης. Το δείγμα αναδέυθηκε με vortex και τοποθετήθηκε σε λουτρό στους 70°C για 20 (min). Το παραγωγοποιημένο δείγμα που προέκυψε, αφέθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 10 (min) και οδηγήθηκε για ανάλυση στον αέριο χρωματογράφο.



**Σχήμα 3.19:** Συσκευή εκχύλισης κενού

### 3.3.7 Βαρέα Μέταλλα

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των μετάλλων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης, η οποία είναι φασματομετρική. Ανάλογα με την αναμενόμενη συγκέντρωση και το είδος του μετάλλου, ακολουθήθηκαν διαφορετικές τεχνικές που εξασφάλισαν το κατάλληλο περιβάλλον για την ατομοποίηση και μέτρηση της μάζας. Τέτοιες τεχνικές είναι αυτές του φούρνου γραφίτη, με την οποία προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις του χαλκού και του χρωμίου, και φλόγας, με την οποία προσδιορίστηκε η συγκέντρωση του ψευδαργύρου.



**Σχήμα 3.20:** Φούρνος γραφίτη AAS Perkin Elmer 3110/HGA600 και AAS φλόγας Perkin Elmer Analyst 200 (από αριστερά προς τα δεξιά)





## 4. Παρουσίαση και ανάλυση αποτελεσμάτων

### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν Κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τον α' και β' κύκλο πειραμάτων. Ο α' κύκλος πειραμάτων περιλαμβάνει την επεξεργασία γκρίζου νερού σε σύστημα που αποτελείται διαδοχικά από καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Ο β' κύκλος πειραμάτων περιλαμβάνει μια σειρά από jar tests, τα οποία πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να συσχετισθεί η θολότητα των ανεπεξέργαστων λυμάτων με τη δόση κροκιδωτικού που επιφέρει την ελάχιστη θολότητα στα κροκιδωμένα λύματα (βέλτιστη δόση κροκιδωτικού). Επίσης, στον β' κύκλο πειραμάτων ανήκει η επεξεργασία γκρίζου νερού σε σύστημα που περιλαμβάνει κροκίδωση, καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο κοκκώδους ενεργού άνθρακα.

### 4.2 Αποτελέσματα α' κύκλου πειραμάτων

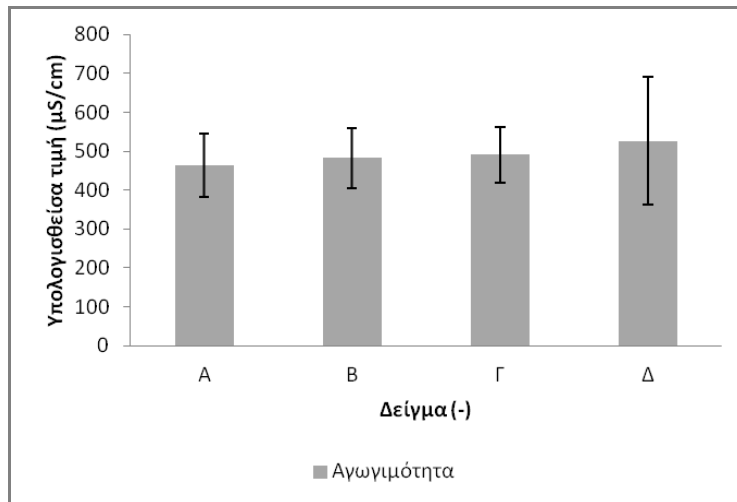
#### 4.2.1 Ποιοτικές παράμετροι στα στάδια του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού (καθίζηση, φίλτρο άμμου, φίλτρο ενεργού άνθρακα)

Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέτρηση των γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Επίσης, στα Σχήματα 4.1-4.4 φαίνονται τα διαγράμματα με τις παραμέτρους αυτές.

**Πίνακας 4.1:** Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του α' κύκλου πειραμάτων

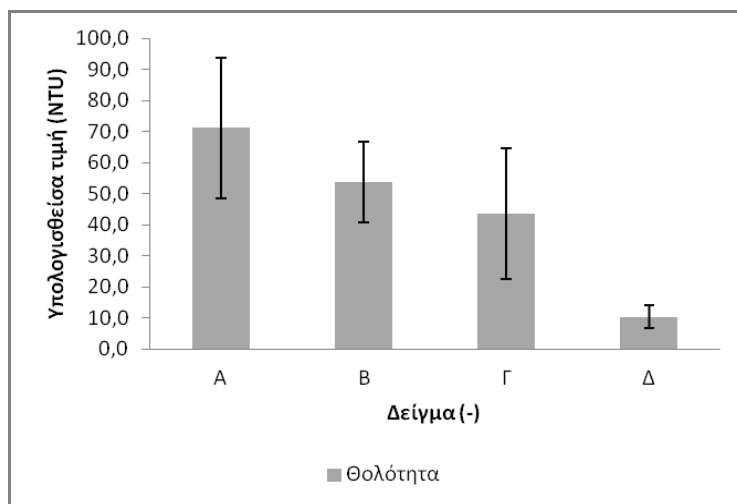
| Στάδιο επεξεργασίας | Αγωγιμότητα (μS/cm) | Θολότητα (NTU) | TSS (mg/L)  | VSS (mg/L)  |
|---------------------|---------------------|----------------|-------------|-------------|
| A                   | 463 ± 81,1          | 71,2 ± 22,7    | 74,1 ± 17,6 | 63,6 ± 17,1 |
| B                   | 482 ± 78,5          | 53,7 ± 13,1    | 52,9 ± 9,65 | 47,9 ± 8,66 |
| Γ                   | 491 ± 70,7          | 43,5 ± 21,1    | 42,2 ± 21,0 | 37,7 ± 17,0 |
| Δ                   | 526 ± 164           | 10,4 ± 3,76    | 12,4 ± 4,33 | 12,3 ± 4,27 |

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1 και στο Σχήμα 4.1, οι τιμές της αγωγιμότητας αυξάνονται όσο τα λύματα κατευθύνονται προς της έξοδο του συστήματος επεξεργασίας. Η μέγιστη αύξηση της αγωγιμότητας πραγματοποιείται μετά την φίλτρανση του γκρίζου νερού διαμέσου του ενεργού άνθρακα, δηλαδή από το δείγμα Γ στο Δ (35 μS/cm). Οι μέσες τιμές της αγωγιμότητας, όμως, δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους.



**Σχήμα 4.1:** Τιμές της αγωγιμότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

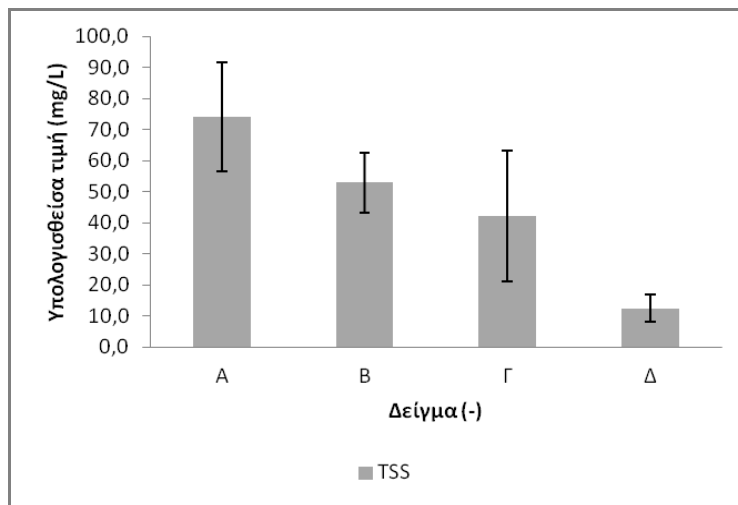
Σε ότι αφορά στην θολότητα, στον Πίνακα 4.1 και στο Σχήμα 4.2, φαίνεται να μειώνεται συνεχώς σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος, ενώ η μέγιστη απομάκρυνσή της επιτυγχάνεται στο φίλτρο ενεργού άνθρακα. Η τελική της τιμή, 12,3 (NTU), είναι ικανοποιητική και σύμφωνα με τους Ernst et al. (2006) στην Κίνα, το γκρίζο νερό με τιμή τελικής θολότητας μικρότερη των 20 (NTU) μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση πρασίνου.



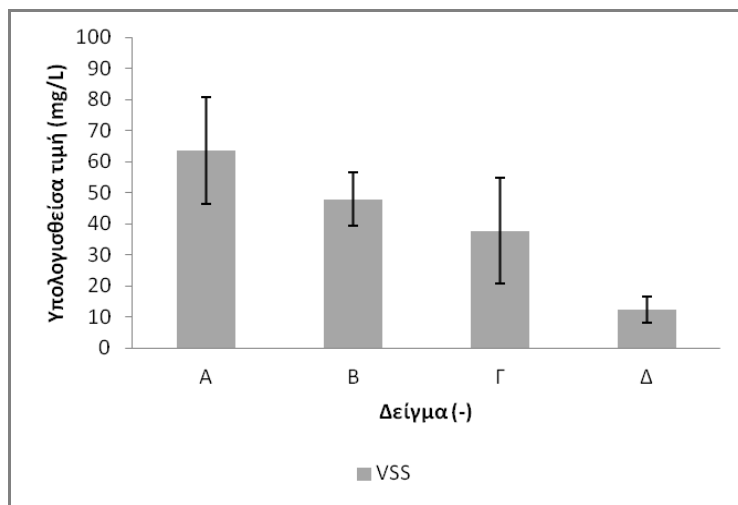
**Σχήμα 4.2:** Τιμές της θολότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

Τα ολικά αιωρούμενα και πτητικά αιωρούμενα στερεά μειώνονται σε κάθε στάδιο επεξεργασίας και απομακρύνονται στο μεγαλύτερο μέρος τους από το φίλτρο του ενεργού άνθρακα, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1 και τα Σχήματα 4.3 και 4.4. Μάλιστα, στο φίλτρο άμμου απομακρύνονται τα  $(52,9-42,2)=10,7$  (mg/L) TSS, από τα οποία τα  $(47,9-37,7)=10,2$  (mg/L) είναι πτητικά. Παρόμοια, το φίλτρο ενεργού άνθρακα συγκρατεί και προσροφά  $(42,2-12,4)=29,8$  (mg/L) TSS, από τα οποία τα  $(37,3-12,3)=25,4$  (mg/L) είναι

πητικα. Φαίνεται, δηλαδή, ότι το μεγαλύτερο κομμάτι των ολικών αιωρούμενων στερεών που συγκρατώνται από τα φίλτρα είναι πητικα αιωρούμενα στερεά.



**Σχήμα 4.3:** Τιμές των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



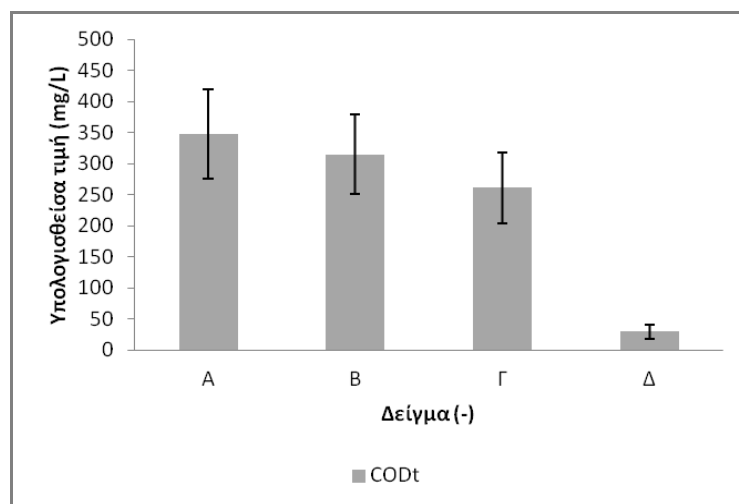
**Σχήμα 4.4:** Τιμές των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

Σε ότι αφορά στις χημικές παραμέτρους του γκρίζου νερού, αυτές φαίνονται στον Πίνακα 4.2 και στα Σχήματα 4.5-4.8 που ακολουθούν.

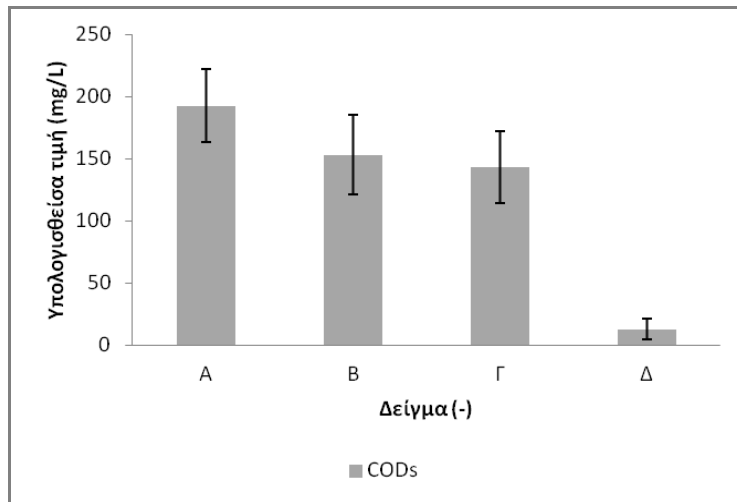
**Πίνακας 4.2:** Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του α' κύκλου πειραμάτων

| Στάδιο επεξεργασίας | COD <sub>t</sub> (mg/L) | COD <sub>s</sub> (mg/L) | LAS (mg/L) | NH <sub>4</sub> -N (mg/L) |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------|---------------------------|
| A                   | 347 ± 72,6              | 192 ± 29,6              | 75 ± 20    | 2,63 ± 0,94               |
| B                   | 315 ± 64,2              | 153 ± 31,7              | 58 ± 13    | 3,88 ± 0,80               |
| Γ                   | 261 ± 57,8              | 143 ± 29,1              | 48 ± 12    | 4,52 ± 1,65               |
| Δ                   | 29,7 ± 11,3             | 12,5 ± 8,36             | 1,9 ± 0,79 | 4,19 ± 1,41               |

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.2 και τα Σχήματα 4.5 και 4.6, τα COD<sub>t</sub> και COD<sub>s</sub> μειώνονται σταδιακά σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος. Το φίλτρο άμμου απομακρύνει κατά μέσο όρο  $(315-261)=54$  (mg/L) ολικού COD, από τα οποία τα  $(153-143)=10$  (mg/L) είναι διαλυτό. Το φίλτρο ενεργού άνθρακα συμβάλει στο μέγιστο βαθμό, σε σχέση με τις υπόλοιπες φυσικές μορφές επεξεργασίας του συστήματος (καθίζηση και φίλτρο άμμου), στην απομάκρυνση του ολικού και διαλυτού COD. Πιο συγκεκριμένα, το φίλτρο ενεργού άνθρακα απομακρύνει  $(261-29,7)=231,1$  (mg/L) ολικού COD, από τα οποία τα  $(143-12,5)=130,5$  είναι διαλυτό. Συγκριτικά, από το ολικό COD που συγκρατεί η άμμος, μόλις το 19% είναι διαλυτό. Αντίθετα, ο άνθρακας, από το σύνολο του COD που απομακρύνει, το περισσότερο, δηλαδή το 57% είναι διαλυτό.

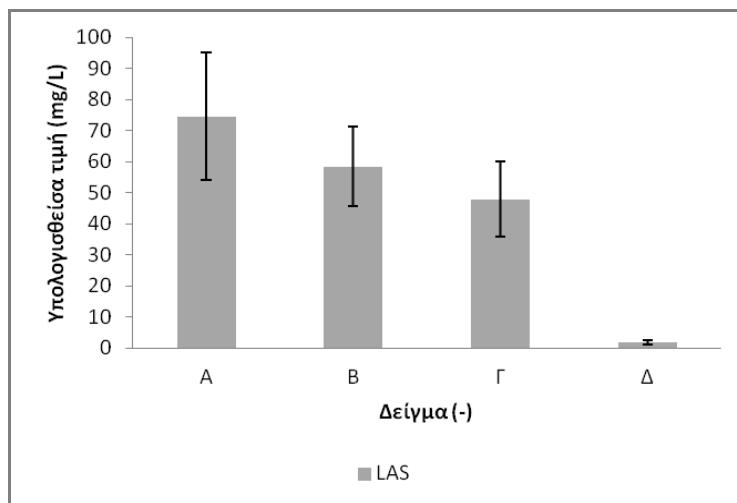


**Σχήμα 4.5:** Τιμές του ολικού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



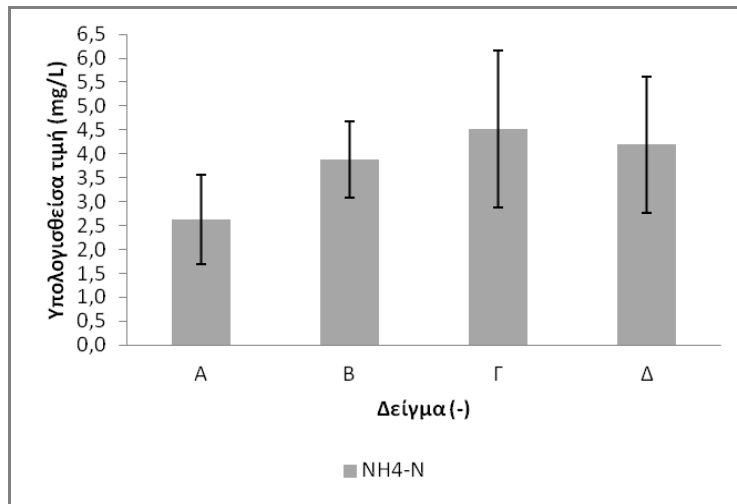
**Σχήμα 4.6:** Τιμές του διαλυτού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

Σε ότι αφορά στα ανιονικά τασιενεργά, από τον Πίνακα 4.2 και το Σχήμα 4.7, προκύπτει ότι το φίλτρο ενεργού άνθρακα προσροφά και συγκρατεί στους πόρους τα LAS σε μεγαλύτερο βαθμό, σε σύγκριση με την καθίζηση και το φίλτρο άμμου.



**Σχήμα 4.7:** Τιμές των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

Το αμμωνιακό άζωτο δεν έχει πτωτικές τάσεις όσο η ροή του οδεύει προς την έξοδο του συστήματος. Αυτό πιθανότατα οφείλεται σε ύπαρξη αναερόβιων συνθηκών στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού, που προκαλούν το φαινόμενο της απονιτροποίησης.



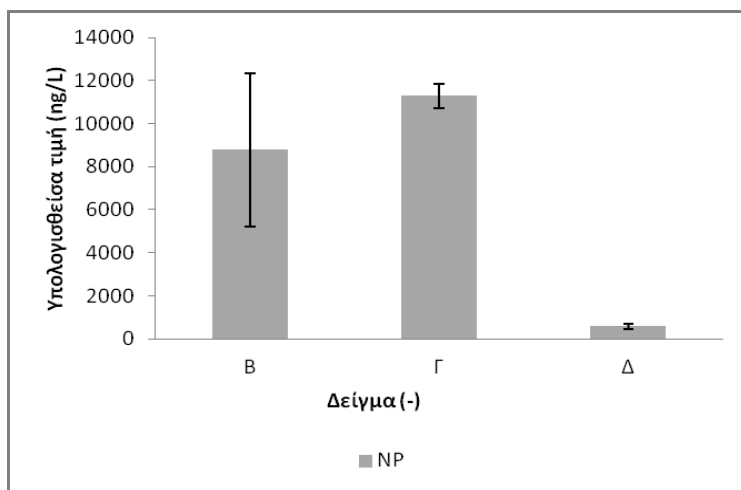
**Σχήμα 4.8:** Τιμές του αμμωνιακού αζώτου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

Στον Πίνακα 4.3 και στα Σχήματα 4.9-4.13 φαίνονται οι συγκεντρώσεις των ενδοκρινικών διαταρακτών σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος γκρίζου νερού, πλην των ανεπεξέργαστων λυμάτων.

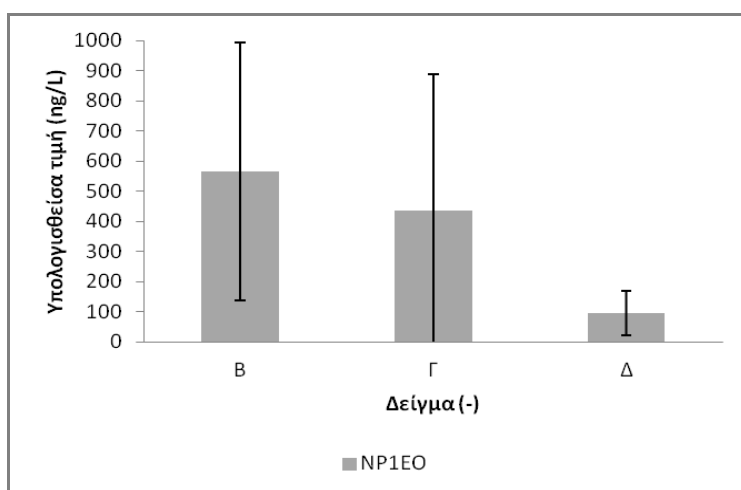
**Πίνακας 4.3:** Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του α' κύκλου πειραμάτων

| Στάδιο επεξεργασίας | NP (ng/L)   | NP1EO (ng/L) | NP2EO (ng/L) | TCS (ng/L)  | BPA (ng/L)  |
|---------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| B                   | 8778 ± 3557 | 565 ± 428    | 601 ± 189    | 327 ± 89,5  | 79,2 ± 21,2 |
| Γ                   | 11291 ± 554 | 434 ± 455    | 173 ± 177    | 229 ± 37,8  | 32,0 ± 29,3 |
| Δ                   | 582 ± 132   | 95,1 ± 73,9  | 78,7 ± 57,3  | 27,4 ± 6,36 | < 3,0       |

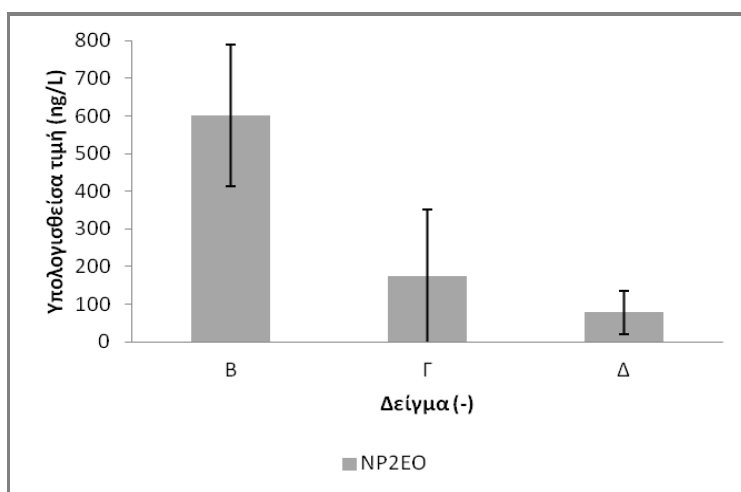
Γενικά, στον Πίνακα 4.3 και στα Σχήματα 4.9-4.13, οι συγκεντρώσεις όλων των μικροοργανικών ενώσεων μειώνονται στο σύστημα επεξεργασίας, εξαιρουμένης της αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης, η οποία παρουσιάζει μικρή αύξηση στο στάδιο Γ. Αυτή η μικρή αύξηση πιθανότατα οφείλεται σε ανάμιξη των επεξεργασμένων λυμάτων με τον όγκο των λυμάτων που προϋπήρχε στο φίλτρο ενεργού άνθρακα. Και στην περίπτωση των μικροοργανικών ενώσεων, το φίλτρο ενεργού άνθρακα απομακρύνει, μέσω της προσρόφησης των ουσιών στη μάζα του, τη μεγαλύτερη ποσότητα ενδοκρινικών διαταρακτών. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα των Noutsopoulos et al. (2013), σύμφωνα με τους οποίους η χρήση σκόνης ενεργού άνθρακα οδηγεί σε αξιόλογη μείωση των εν λόγω ενώσεων από τα λύματα, εξαιρουμένης της NP1EO.



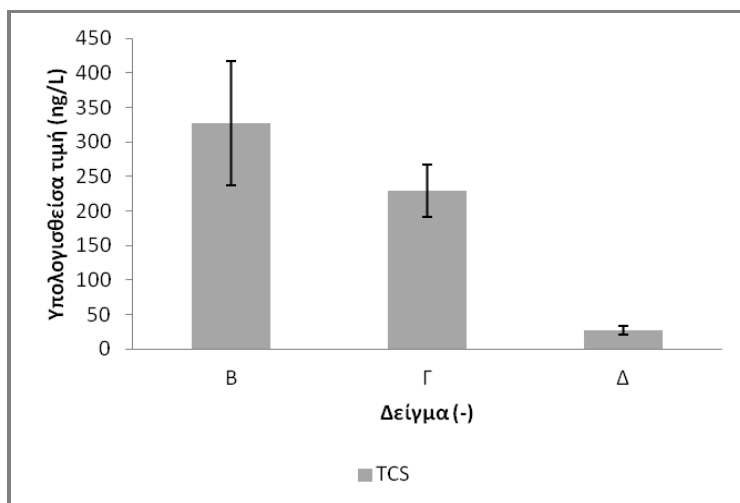
**Σχήμα 4.9:** Τιμές της αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



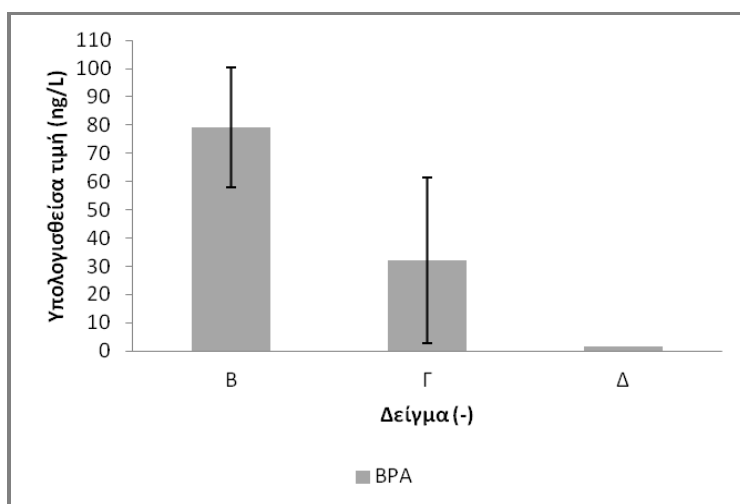
**Σχήμα 4.10:** Τιμές της μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.11:** Τιμές της δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.12:** Τιμές της τρικλοζάνης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.13:** Τιμές της δισφαινόλης για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

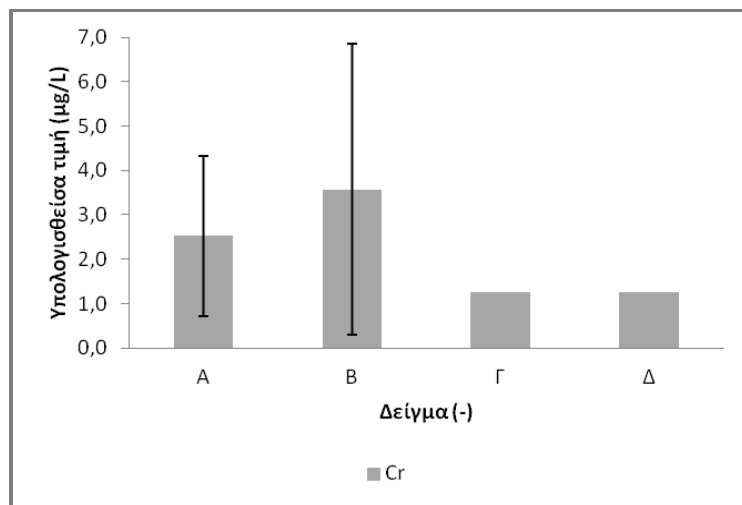
**Πίνακας 4.4:** Βαρέα μέταλλα γκριζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του φυσικού συστήματος επεξεργασίας

| Στάδιο επεξεργασίας | Cr (μg/L) | Zn (mg/L)     | Cu (μg/L) |
|---------------------|-----------|---------------|-----------|
| A                   | 2,5 ± 1,8 | 0,114 ± 0,080 | 7,3 ± 6,7 |
| B                   | 3,6 ± 3,3 | 0,114 ± 0,051 | 9,6 ± 0,4 |
| Γ                   | < 2,5     | 0,140 ± 0,028 | 18 ± 11   |
| Δ                   | < 2,5     | 0,155 ± 0,106 | 5,6 ± 4,3 |

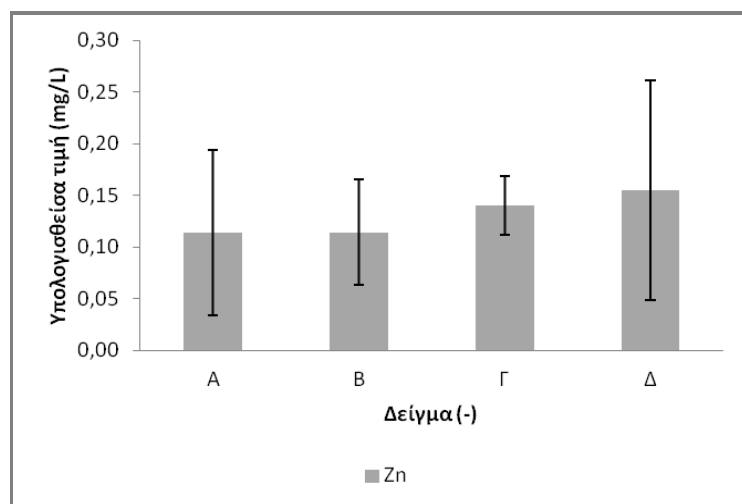


Στο Πίνακα 4.4 και στα Σχήματα 4.14-4.16 φαίνονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων (χρωμίου, ψευδαργύρου και καδμίου) σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του γκριζου νερού. Δεν φαίνεται να υπάρχει πτωτική τάση στη συγκέντρωση των μετάλλων μέσα στο σύστημα επεξεργασίας.

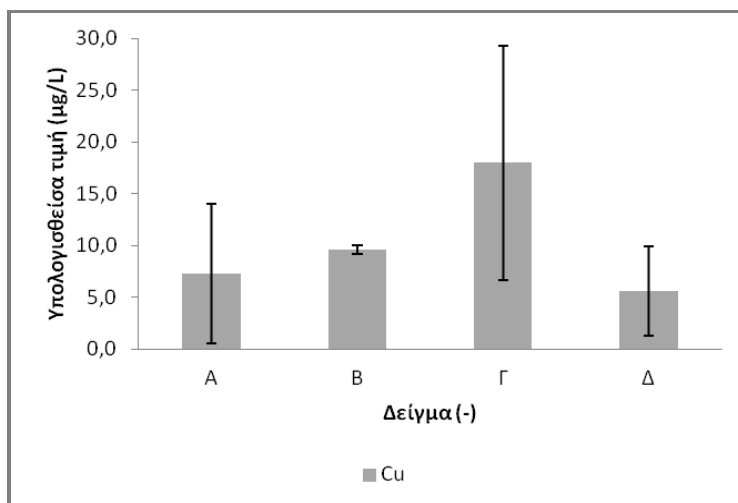
Για το χρώμιο και τον χαλκό, οι συγκεντρώσεις σε όλα τα στάδια επεξεργασίας είναι χαμηλές και συνεπώς, η εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος είναι εξαιρετικά επισφαλής. Στην περίπτωση του ψευδαργύρου, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η επεξεργασία σε σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού αποτελούμενο από καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο κοκκώδους ενεργού άνθρακα, δεν εξασφαλίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την απομάκρυνσή του.



**Σχήμα 4.14:** Τιμές του χρωμίου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

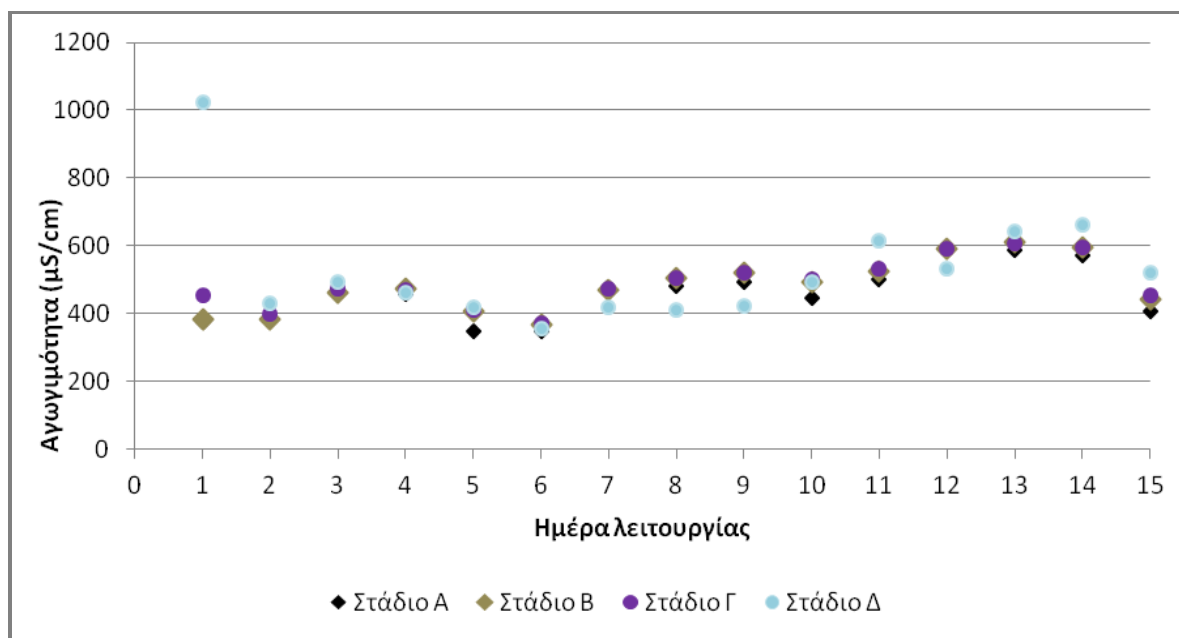


**Σχήμα 4.15:** Τιμές του ψευδαργύρου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

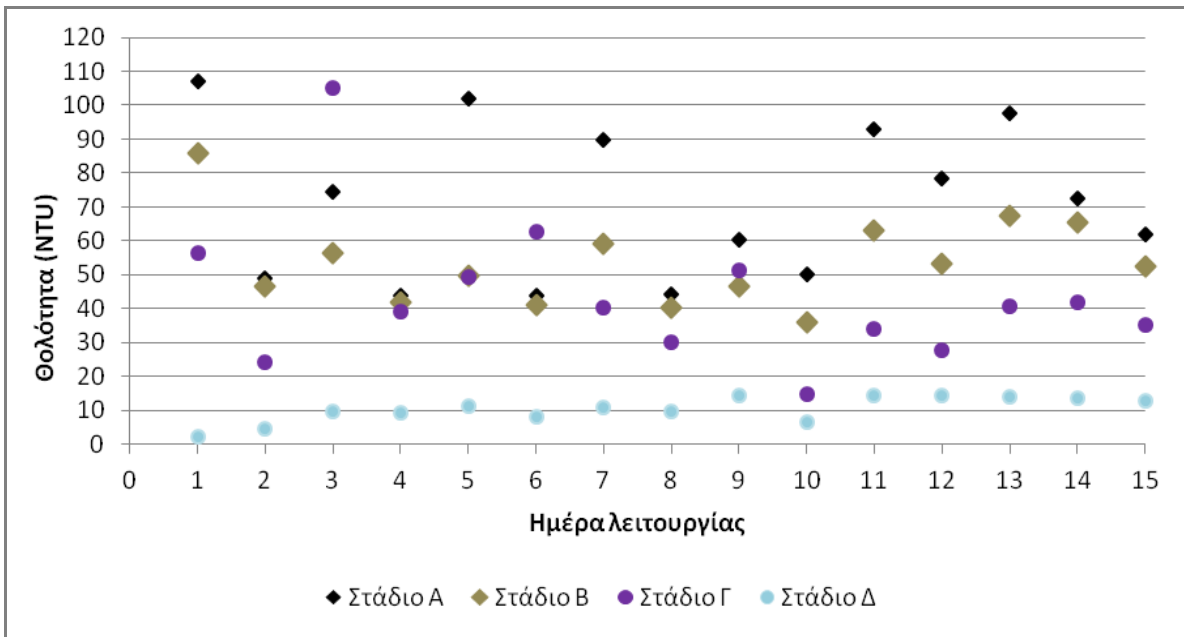


**Σχήμα 4.16:** Τιμές του χαλκού για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

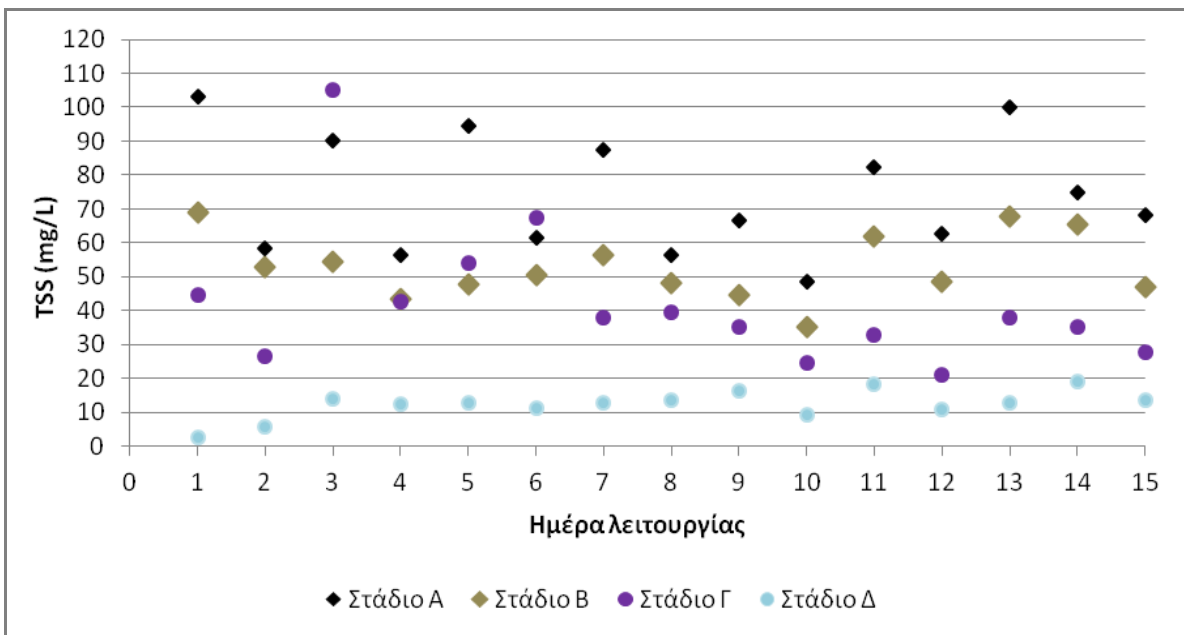
Στα Σχήματα 4.17-4.24 παρουσιάζονται, για την κάθε ποιοτική παράμετρο, οι τιμές της παραμέτρου στα στάδια επεξεργασίας A, B, Γ και Δ, κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού. Οι τιμές της αγωγιμότητας στα A, B, Γ, Δ είναι πολύ κοντά μεταξύ τους κάθε ημέρα λειτουργίας. Επίσης, οι τιμές των συγκεντρώσεων του αμμωνιακού αζώτου στα στάδια A, B, Γ, Δ, αποκλίνουν όλο και περισσότερο μεταξύ τους με την πάροδο των ημερών λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας.



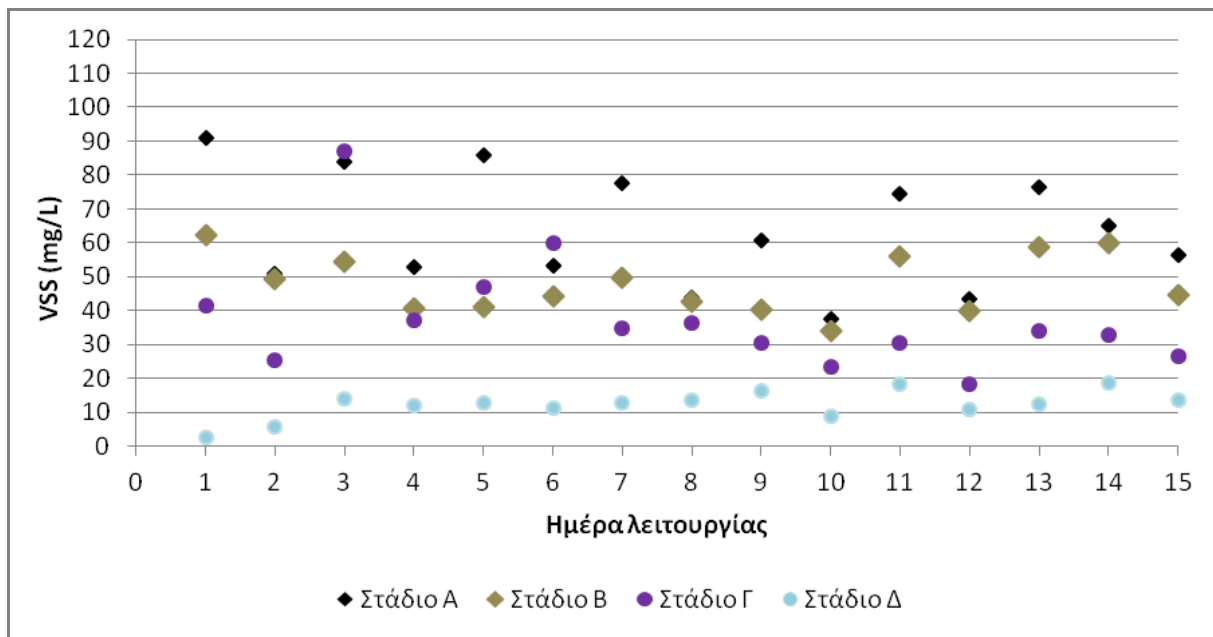
**Σχήμα 4.17:** Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



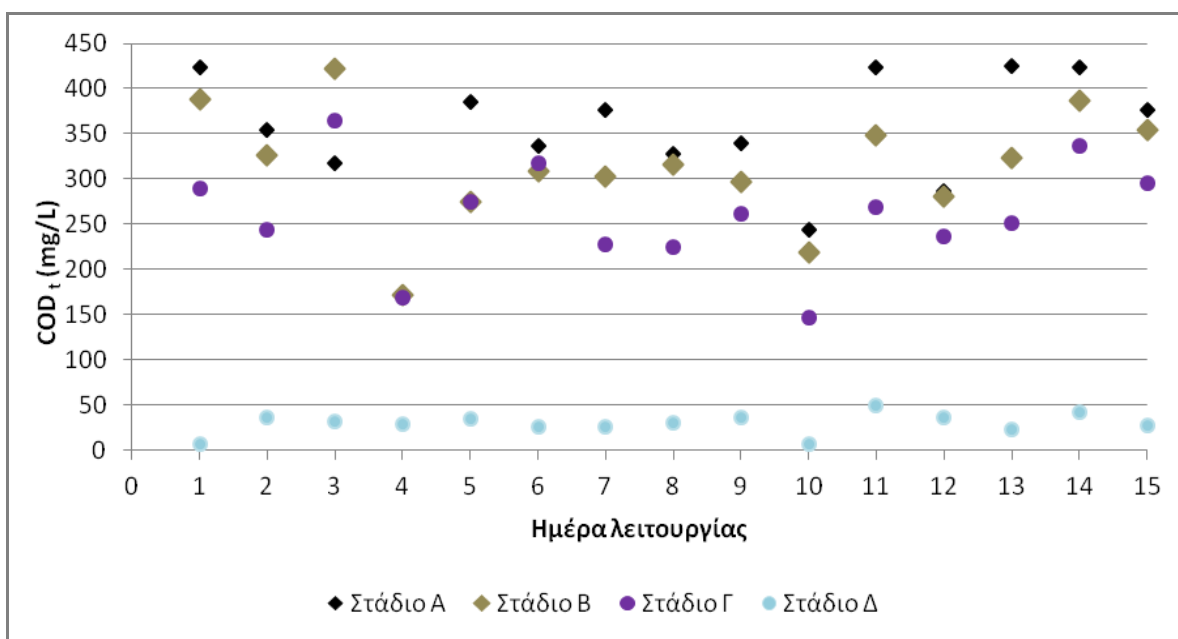
**Σχήμα 4.18:** Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



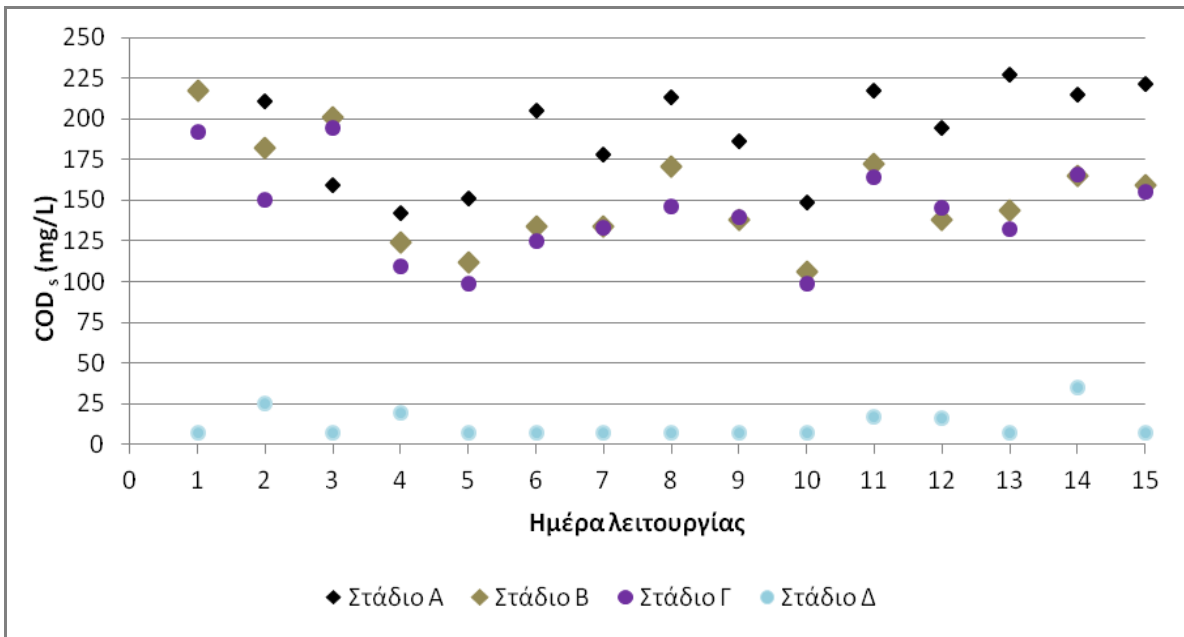
**Σχήμα 4.19:** TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



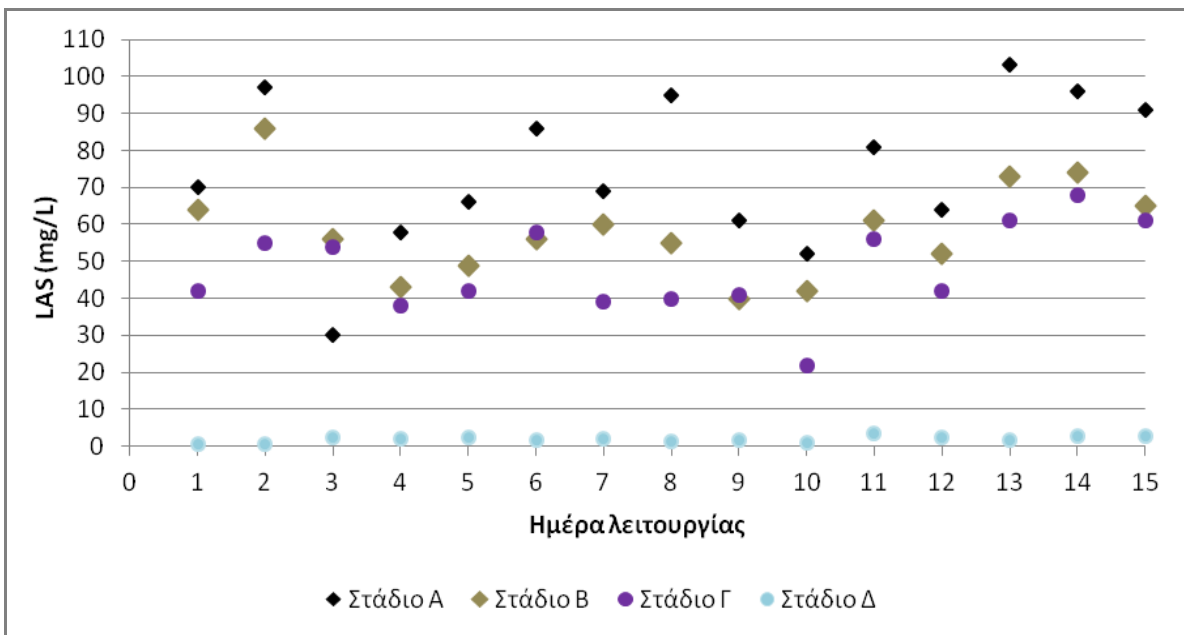
Σχήμα 4.20: VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



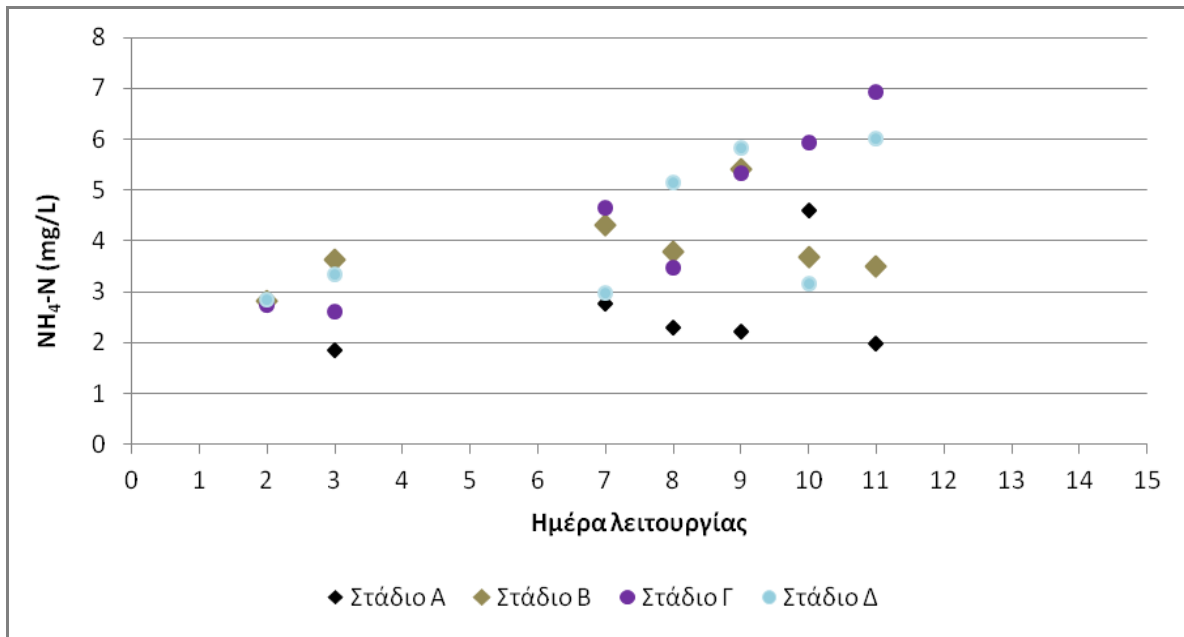
Σχήμα 4.21: Ολικό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.22:** Διαλυτό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

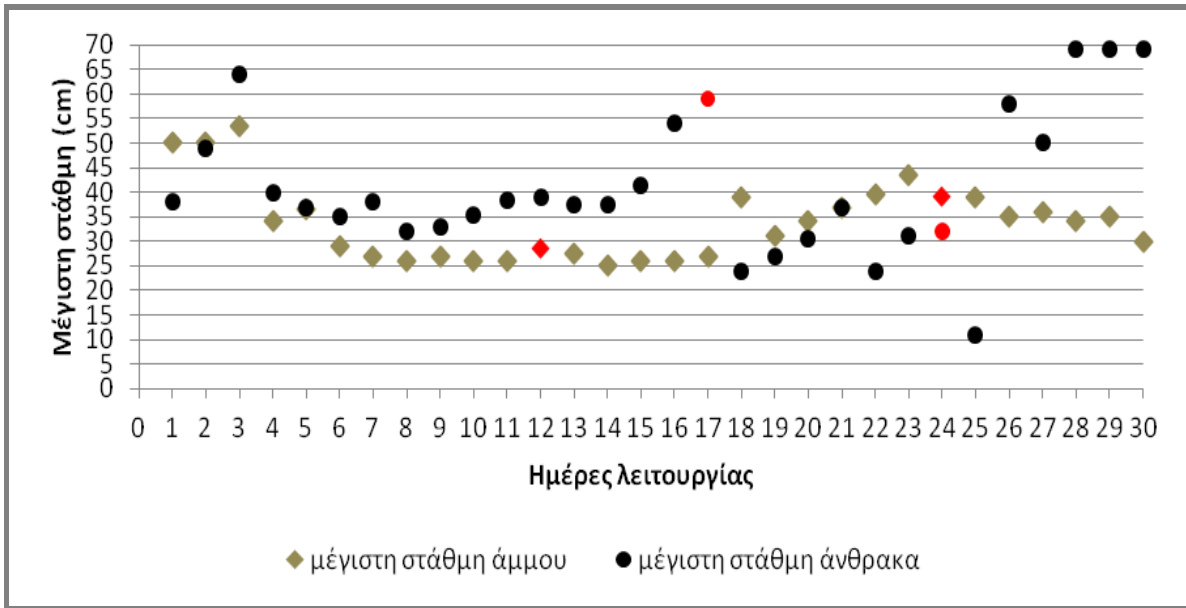


**Σχήμα 4.23:** LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.24:** Αμμωνιακό άζωτο ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας α΄ κύκλου πειραμάτων)

Στο Σχήμα 4.25 φαίνεται η μέγιστη στάθμη του φίλτρου άμμου και του φίλτρου άνθρακα τις ημέρες λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού. Τα κόκκινα σημεία είναι οι ημέρες που πραγματοποιήθηκε έκπλυση του αντίστοιχου φίλτρου. Η έκπλυση γινόταν είτε λόγω υπερχείλισης του συστήματος, είτε λόγω αλλαγής του χρώματος στο φίλτρο της άμμου, είτε προκειμένου να συλλεχθούν δείγματα για αναλύσεις μικροοργανικών ενώσεων. Στο φίλτρο άμμου απαιτούνταν έκπλυση σταθερά ανά 12 ημέρες. Αντίθετα, στο φίλτρο άνθρακα, όσο αυξάνονταν οι ημέρες λειτουργίας του συστήματος, απαιτούνταν έκπλυση όλο και συχνότερα (αρχικά στις 17 ημέρες λειτουργίας, έπειτα στις 24 και τέλος στις 30). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο άνθρακας προσροφά στην επιφάνειά του τους ρύπους, σε αντίθεση με την άμμο που απλά τους συγκρατεί. Προφανώς, το χειροκίνητο πλύσιμο δεν ενεργοποιεί εκ νέου τον άνθρακα, αλλά απομακρύνει μόνο τους ρύπους που είχαν συγκρατηθεί από τους πόρους του φίλτρου του.



**Σχήμα 4.25:** Μέγιστη στάθμη άμμου και άνθρακα τις ημέρες λειτουργίας του συστήματος (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

#### 4.2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων με βιβλιογραφικά στοιχεία και τα όρια της νομοθεσίας

Η μοναδική βιβλιογραφική αναφορά που περιλαμβάνει σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού με τα ίδια στάδια επεξεργασίας είναι αυτή της Χαρχούση Δ. (2014). Στον Πίνακα 4.5 γίνεται η σύγκριση μεταξύ των βιβλιογραφικών τιμών και των τιμών που προέκυψαν από το παρόν πείραμα.

Από τον Πίνακα 4.5, προκύπτει ότι η αγωγιμότητα έχει αυξητική τάση στα στάδια επεξεργασίας Α, Β, Γ, Δ. Βέβαια, οι τιμές στα στάδια αυτά δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους.

Η θολότητα φαίνεται να κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα, τόσο στα αρχικά λύματα, όσο και μετά την καθίζηση. Αντίθετα, το φίλτρο άμμου φαίνεται να έχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση της θολότητας στο πείραμα της Χαρχούση Δ. (2014). Αυτό οφείλεται στη φύση των λυμάτων, δεδομένου ότι στα δυο αυτά πειράματα χρησιμοποιήθηκε άμμος ίδιας σύστασης και κοκκομετρίας. Η Χαρχούση Δ. (2014) χρησιμοποίησε λύματα από τις ροές του νιπτήρα και του μπάνιου, ενώ στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκαν λύματα που περιείχαν γκρίζο νερό από νιπτήρα, μπάνιο και πλυντήριο ρούχων. Πιθανότατα τα στερεά που προκαλούν τη θολότητα έχουν μικρότερο μέγεθος όταν προέρχονται από το πλυντήριο ρούχων, σε σχέση με αυτά που προέρχονται από τον νιπτήρα και το μπάνιο. Τέτοια στερεά δεν προέρχονται μόνο από τα υφάσματα των ρούχων και τους λεκέδες τους, αλλά και από τη φύση των απορρυπαντικών που χρησιμοποιούνται στα πλυντήρια ρούχων, τα οποία διαφέρουν ως προς τη φύση τους από τα υπόλοιπα είδη σαπουνιών.

Όμοια με τη θολότητα, το ίδιο ισχύει και για τα αιωρούμενα στερεά (ολικά και πτητικά), το COD (ολικό και διαλυτό) και τα LAS. Με εξαίρεση τα LAS, στις υπόλοιπες ποιοτικές παραμέτρους που προαναφέρθηκαν (στερεά και COD), ενώ ο εισερχόμενος φόρτος των δύο συστημάτων είναι περίπου ίδιος, η συγκράτησή τους μέσω του φίλτρου της άμμου

είναι πολύ μικρότερη στην περίπτωση του παρόντος πειράματος (λύματα από νιπτήρα, μπάνιο, πλυντήριο ρούχων).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το φίλτρο GAC προσροφά περισσότερες ενώσεις στην περίπτωση μίγματος λυμάτων που προέρχονται από το νιπτήρα, το μπάνιο και το πλυντήριο ρούχων, σε σχέση με το μίγμα που περιέχει λύματα μόνο από τον νιπτήρα και το μπάνιο. Έτσι, στο Σχήμα 4.25 δικαιολογείται το γεγονός ότι το φίλτρο ενεργού άνθρακα υπερχειλίζει συχνότερα από το φίλτρο άμμου, και συγκεκριμένα 2 φορές σε 30 ημέρες λειτουργίας. Αντίθετα, τα φίλτρα άμμου δεν υπερχειλίζουν ποτέ στις 30 ημέρες λειτουργίας του συστήματος.

Σε ότι αφορά στις μικροοργανικές ενώσεις, οι NP, NP1EO και NP2EO, τα αποτελέσματα κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα. Αντίθετα, στην περίπτωση των TCS και BPA, οι συγκεντρώσεις του πειράματος της Χαρχούση Δ. (2014), είναι αυξημένες σε σύγκριση με το παρόν πείραμα. Πιθανότατα αυτό οφείλεται στα προϊόντα που περιέχουν αυτούς τους ενδοκρινικούς διαταρράκτες. Σύμφωνα με την Αξιομακάρου Μ. (2012), η TCS περιέχεται σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας (π.χ. οδοντόκρεμες και σαπούνια), ενώ η BPA περιέχεται σε πλαστικά μπουκάλια. Συνεπώς, είναι αναμενόμενο η συγκέντρωσή τους να είναι μεγαλύτερη στα λύματα που προέρχονται αποκλειστικά από το μπάνιο και τον νιπτήρα, σε σχέση με τα λύματα που είναι αραιωμένα από το γκρίζο νερό του πλυντηρίου.

Τέλος, η έκπλυση στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού της Χαρχούση Δ. (2014) πραγματοποιήθηκε αρχικά 2 φορές στο φίλτρο άμμου ανά τέσσερις ημέρες και ακολούθως 2 φορές στο φίλτρο ενεργού άνθρακα επίσης ανά τέσσερις ημέρες. Τις τελευταίες 14 ημέρες λειτουργίας του συστήματός της δεν χρειάστηκε έκπλυση ούτε στην άμμο, ούτε στον άνθρακα. Και στα δυο συστήματα η έκπλυση της άμμου φαίνεται να επηρεάζεται αρκετά από το πόσο «βεβαρυμένα» είναι τα ανεπεξέργαστα λύματα. Προφανώς, τα λύματα της Χαρχούση Δ. ήταν πιο «βεβαρυμένα» στην αρχή των πειραμάτων της, οπότε η άμμος και ο άνθρακας απαιτούσαν πιο συχνή έκπλυση. Αντίθετα, τα λύματα του παρόντος πειράματος δεν έχουν τόσο μεγάλες διακυμάνσεις ως προς τη σύσταση. Οι μεγάλες διακυμάνσεις στη σύσταση των λυμάτων της Χαρχούση Δ. (2014) επαληθεύονται από τις υψηλές τυπικές αποκλίσεις των αποτελεσμάτων της, σε σχέση με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Ενδεικτικά, η τυπική απόκλιση στην θολότητα, τα TSS και COD<sub>5</sub> της Χαρχούση Δ. στα ανεπεξέργαστα λύματα ήταν αντίστοιχα 52,3 (NTU), 53 (mg/L) και 121 (mg/L), ενώ στα ανεπεξέργαστα λύματα του παρόντος πειράματος είναι 22,7 (NTU), 17,6 (mg/L) και 72,6 (mg/L), αντίστοιχα. Αυτή η διαφορά στη συχνότητα έκπλυσης οφείλεται στο γεγονός ότι τα ανεπεξέργαστα λύματα του παρόντος πειράματος περιείχαν γκρίζο νερό από το πλυντήριο ρούχων, οπότε ήταν πιο αραιωμένα από αυτά που περιείχαν γκρίζο νερό μόνο από τον νιπτήρα και το μπάνιο.

Σε ότι αφορά στην τήρηση των ορίων της νομοθεσίας στο επεξεργασμένο γκρίζο νερό στην έξοδο του συστήματος, σημειώθηκαν στον Πίνακα 4.6 η τιμή των TSS που είναι μικρότερη από το 80% των τιμών των δειγμάτων και η τιμή της θολότητας που είναι μικρότερη από το 50% των τιμών των δειγμάτων. Οι τιμές αυτές συγκρίθηκαν με τα όρια της ΚΥΑ 145116. Επίσης, με αυτές τις τιμές της ΚΥΑ συγκρίθηκαν οι τιμές της συγκέντρωσης των μετάλλων στην έξοδο του συστήματος. Ομοίως για την αιθοξυλιωμένη εννεύλοφαινόλη.



Έτσι, προκύπτει ότι, όσον αφορά στα στερεά και στη θολότητα, το γκρίζο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί μόνο για περιορισμένη άρδευση. Τα μέταλλα και η ΝΡ είναι στα επιτρεπτά όρια για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού.

**Πίνακας 4.5:** Σύγκριση βιβλιογραφικών δεδομένων και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

| Αναφορά            | Στάδιο Επεξ/σίας | Αγωγιμότητα (μS/cm) | Θολότητα (NTU) | TSS (mg/L) | VSS (mg/L) | COD <sub>t</sub> (mg/L) | COD <sub>s</sub> (mg/L) | LAS (mg/L) | NP (μg/L) | NP1EO (μg/L) | NP2EO (μg/L) | TCS (μg/L) | BPA (μg/L) |
|--------------------|------------------|---------------------|----------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|
| Παρούσα εργασία    | Είσοδος          | 463                 | 71,2           | 74,1       | 63,6       | 347                     | 192                     | 75         |           |              |              |            |            |
|                    | Καθίζηση         | 482                 | 53,7           | 52,9       | 47,9       | 315                     | 153                     | 58         | 8,88      | 0,565        | 0,601        | 0,327      | 0,079      |
|                    | Φ. Άμμου         | 491                 | 43,5           | 42,2       | 37,7       | 261                     | 143                     | 48         | 11,2      | 0,434        | 0,173        | 0,229      | 0,032      |
|                    | GAC              | 526                 | 10,4           | 12,4       | 12,3       | 29,7                    | <15                     | <2         | 0,582     | 0,095        | 0,079        | 0,027      | <0,003     |
| Χαρχούση Δ. (2014) | Είσοδος          | 326                 | 80,8           | 70,2       | 59,3       | 337                     | 167                     | 55         | 11,5      | 0,503        | 0,571        | 1,11       | 0,097      |
|                    | Καθίζηση         | 333                 | 63,4           | 54,5       | 49,2       | 309                     | 150                     | 49         | 12,9      | 0,641        | 0,533        | 0,850      | 0,258      |
|                    | Φ. Άμμου         | 339                 | 35,5           | 29,0       | 27,8       | 231                     | 132                     | 34         | 11,2      | 0,534        | 0,734        | 1,22       | 0,381      |
|                    | GAC              | 381                 | 11,4           | 10,9       | 10,7       | 28,4                    | <15                     | <2         | 1,16      | 0,081        | 0,302        | 0,038      | 0,005      |

**Πίνακας 4.6:** Σύγκριση ορίων νομοθεσίας και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας α' κύκλου πειραμάτων)

|           | TSS (mg/L)    | Θολότητα (NTU) | Cr (μg/L)    | Zn (mg/L)    | Cu (μg/L)    | NP (μg/L)    |
|-----------|---------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | 80% δειγμάτων | 50% δειγμάτων  | Μέγιστη τιμή | Μέγιστη τιμή | Μέγιστη τιμή | Μέγιστη τιμή |
| Πείραμα   | 14,4          | 10,9           | < 2,5        | 0,23         | 8,6          | 0,739        |
| Νομοθεσία | ≤ 35          | -              | 100          | 2            | 200          | 2            |

### 4.3 Αποτελέσματα β' κύκλου πειραμάτων

#### 4.3.1 Αποτελέσματα των jar tests

Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν 7 jar tests. Οι θολότητες του ανεπεξέργαστου γκριζου νερού που μετρήθηκαν ήταν:

(α) 39,2 (NTU)

(β) 52,6 (NTU)

(γ) 62,3 (NTU)

(δ) 72,1 (NTU)

(ε) 76,5 (NTU)

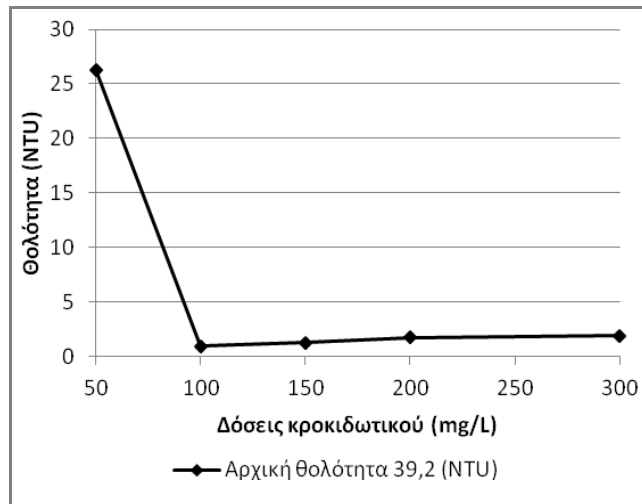
(στ) 86,6 (NTU)

(ζ) 101 (NTU)

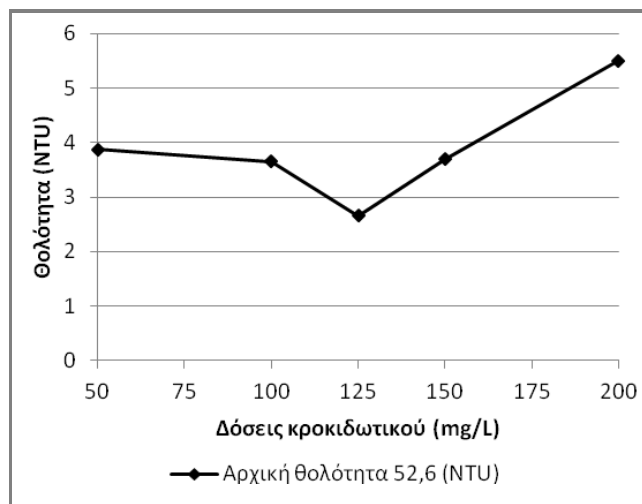
Οι δόσεις κροκιδωτικού που χρησιμοποιήθηκαν είναι διαφορετικές για κάθε τιμή αρχικής θολότητας. Αυτό έγινε με στόχο την πύκνωση του αριθμού των δυνατών δόσεων κροκιδωτικού γύρω από τη βέλτιστη δόση. Η τελική τιμή θολότητας στα κροκιδωμένα λύματα, ανάλογα με την αρχική τιμή θολότητας των ανεπεξέργαστων λυμάτων και τη δόση του κροκιδωτικού, φαίνονται στον Πίνακα 4.7 και στα Σχήματα 4.26 ως 4.32.

**Πίνακας 4.7:** Αποτελέσματα jar test για κάθε τιμή αρχικής θολότητας

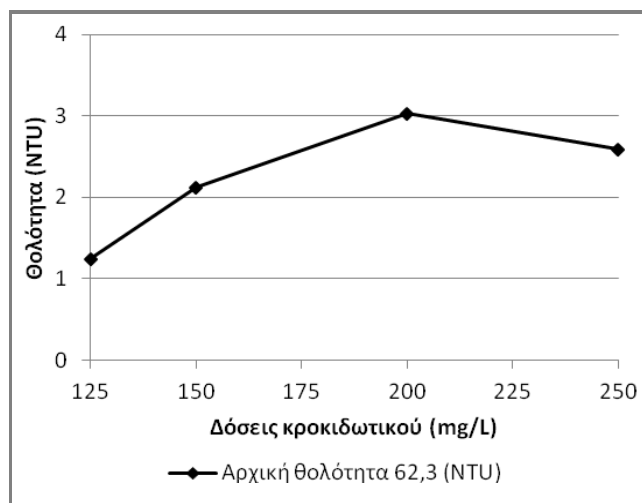
| Δόση<br>κροκιδωτικού<br>(mg/L) | Αρχική Θολότητα (NTU) |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                | 39,2                  | 52,6 | 62,3 | 72,1 | 76,5 | 86,6 | 101  |
| 50                             | 26,3                  | 3,87 |      |      |      |      |      |
| 100                            | 0,945                 | 3,65 |      | 7,50 | 14,5 |      |      |
| 125                            |                       | 2,66 | 1,25 |      | 1,58 |      |      |
| 150                            | 1,27                  | 3,70 | 2,12 |      | 1,29 |      |      |
| 200                            | 1,74                  | 5,50 | 3,03 | 4,57 | 1,03 | 5,23 | 4,69 |
| 250                            |                       |      | 2,59 | 4,04 | 0,64 |      |      |
| 300                            | 1,90                  |      |      | 4,12 |      | 10,9 |      |
| 350                            |                       |      |      | 5,99 |      | 12,5 | 5,94 |
| 400                            |                       |      |      |      |      | 5,80 |      |
| 500                            | 3,68                  |      |      |      |      | 5,62 | 4,53 |
| 600                            |                       |      |      |      |      |      | 4,08 |
| 650                            |                       |      |      |      |      |      | 4,35 |



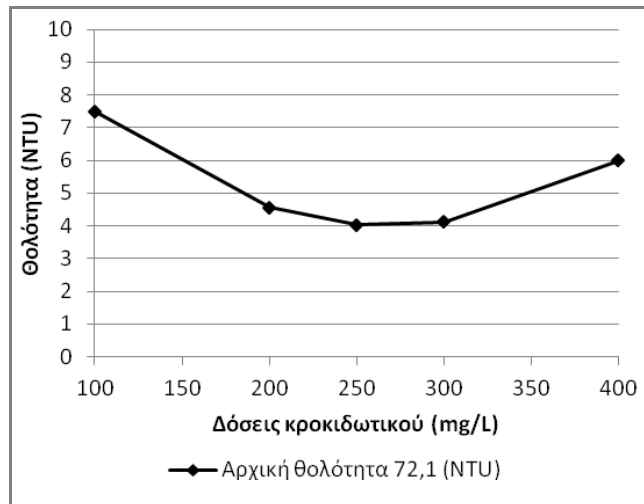
**Σχήμα 4.26:** Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 39,2 (NTU)



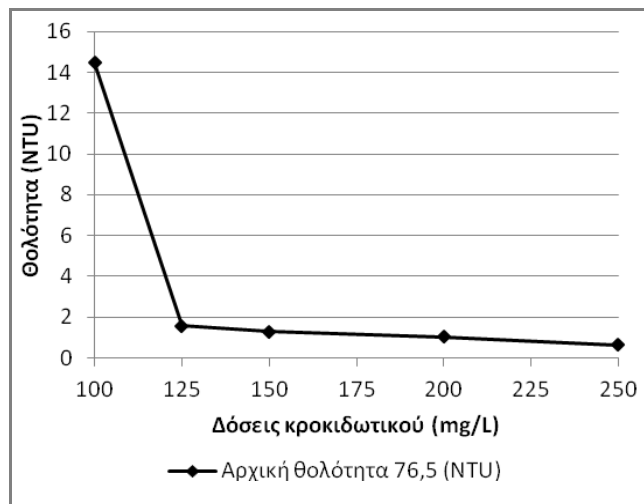
**Σχήμα 4.27:** Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 52,6 (NTU)



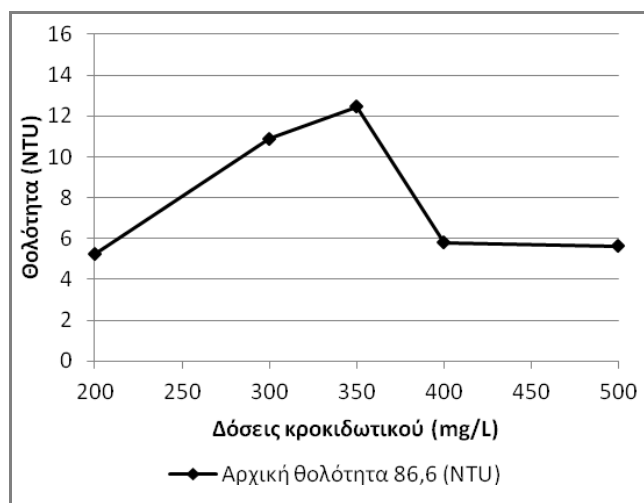
**Σχήμα 4.28:** Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 62,3 (NTU)



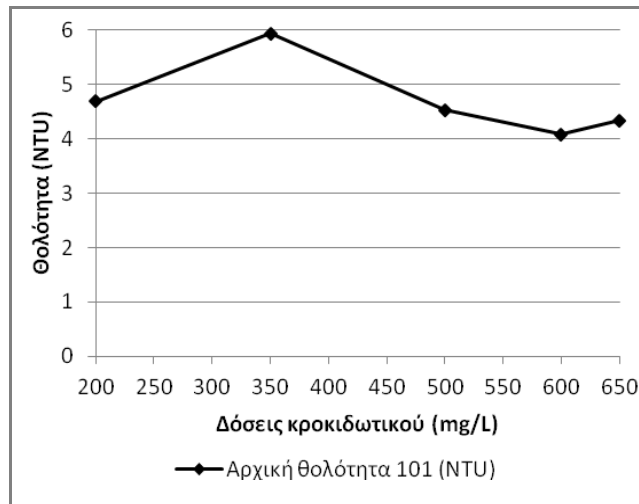
**Σχήμα 4.29:** Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 72,1 (NTU)



**Σχήμα 4.30:** Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 76,5 (NTU)



**Σχήμα 4.31:** Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 86,6 (NTU)



**Σχήμα 4.32:** Τιμή θολότητας για διάφορες δόσεις κροκιδωτικού, για θολότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων 101 (NTU)

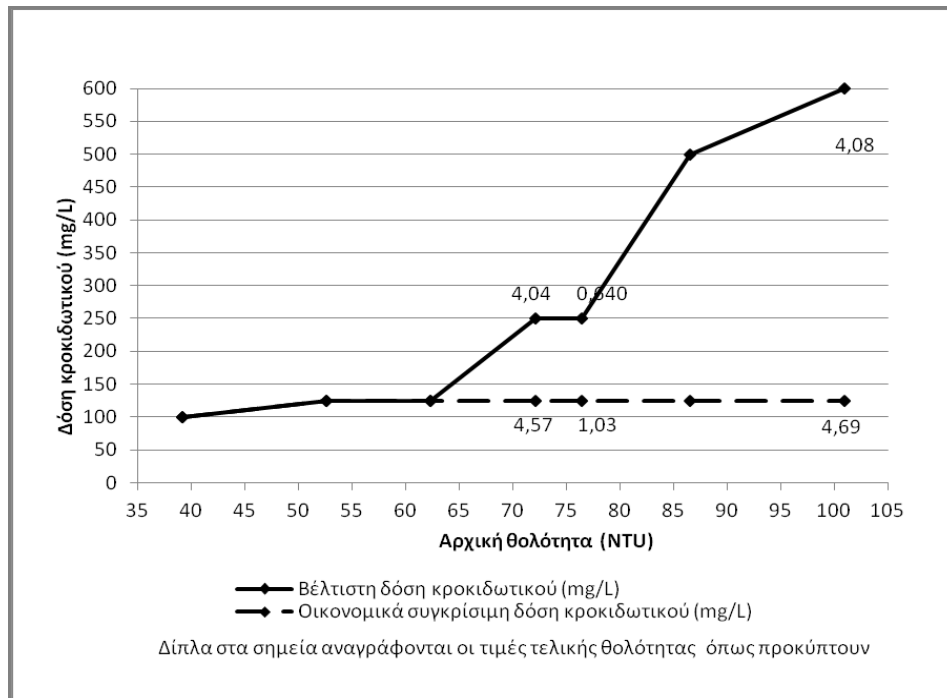
Στον Πίνακα 4.7 έχουν σημειωθεί με μπλε χρώμα οι ελάχιστες τιμές θολότητας που προέκυψαν για κάθε τιμή αρχικής θολότητας. Από τον Πίνακα 4.7 προκύπτει ότι για κάθε τιμή θολότητας ανεπεξέργαστων λυμάτων, εκτός από την ελάχιστη τιμή θολότητας (βέλτιστη δόση), υπάρχει μια ομάδα τιμών θολότητας που έχουν εξίσου χαμηλή τιμή και αντιστοιχούν σε μικρότερη δόση κροκιδωτικού. Με το παραπάνω σκεπτικό διαμορφώθηκε το Σχήμα 4.33.

Από το Σχήμα 4.33 προκύπτει ότι όσο αυξάνεται η θολότητα, υπάρχει η τάση να αυξάνεται η απαιτούμενη βέλτιστη δόση κροκιδωτικού. Παρόλα αυτά, για τιμές αρχικής θολότητας μεγαλύτερες από 50 (NTU), ικανοποιητικές τιμές τελικής θολότητας φαίνεται να δίνει και η δόση των 125 (mg/L). Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εξοικονόμηση στην ποσότητα κροκιδωτικού που απαιτείται.

Επομένως, για τιμές θολότητας μεταξύ 40 (NTU) και 55 (NTU) βέλτιστη δόση είναι τα 100 (mg/L) θειικό αργίλιο, ενώ για τιμές θολότητας ανεπεξέργαστων λυμάτων από 55 (NTU) μέχρι 100 (NTU), βέλτιστη δόση κροκιδωτικού μπορούν να θεωρηθούν τα 125 (mg/L).

Ως ικανοποιητικές τιμές θολότητας κροκιδωμένων λυμάτων θεωρούνται οι τιμές θολότητας του Πίνακα 4.7 που είναι μικρότερες από τη μέση θολότητα που προέκυψε στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού του πρώτου κύκλου πειραμάτων. Η μέση θολότητα στα επεξεργασμένα λύματα του α' κύκλου πειραμάτων ήταν 10,4 (NTU). Συνεπώς, οποιαδήποτε δόση κροκιδωτικού επιφέρει τελική θολότητα μικρότερη από 10,4 (NTU), μπορεί να θεωρηθεί επίσης αποτελεσματική.

Σημειώνεται, βέβαια, ότι στο παρόν πείραμα χρησιμοποιήθηκαν οι βέλτιστες δόσεις κροκιδωτικού και όχι η οικονομικά βέλτιστη δόση των 125 (mg/L).



**Σχήμα 4.33:** Βέλτιστη και οικονομικά βέλτιστη δόση κροκιδωτικού

#### 4.3.2 Ποιοτικές παράμετροι στα στάδια του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού (κροκίδωση, καθίζηση, φίλτρο άμμου, φίλτρο ενεργού άνθρακα)

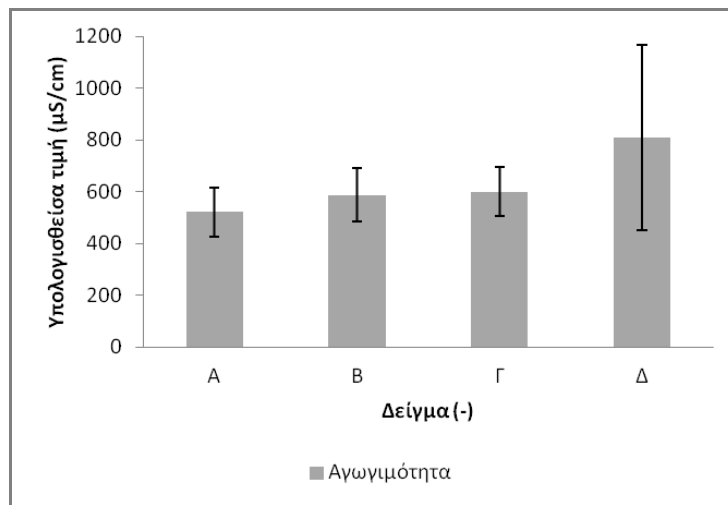
Στον Πίνακα 4.8 φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μέτρηση των γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού (δεύτερος κύκλος πειραμάτων). Επίσης, στα Σχήματα 4.34-4.37 φαίνονται τα διαγράμματα με τις παραμέτρους αυτές.

**Πίνακας 4.8:** Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του β' κύκλου πειραμάτων

| Στάδιο επεξεργασίας | Αγωγιμότητα (μS/cm) | Θολότητα (NTU) | TSS (mg/L)  | VSS (mg/L)  |
|---------------------|---------------------|----------------|-------------|-------------|
| A                   | 522 ± 94,5          | 58,9 ± 24,6    | 70,5 ± 21,0 | 58,6 ± 17,0 |
| B                   | 587 ± 104           | 12,4 ± 5,19    | 26,4 ± 7,46 | 20,9 ± 6,38 |
| Γ                   | 599 ± 95,2          | 2,88 ± 1,91    | 4,00 ± 1,92 | 3,74 ± 2,05 |
| Δ                   | 810 ± 359           | 1,07 ± 0,672   | 2,17 ± 1,47 | 2,13 ± 1,43 |

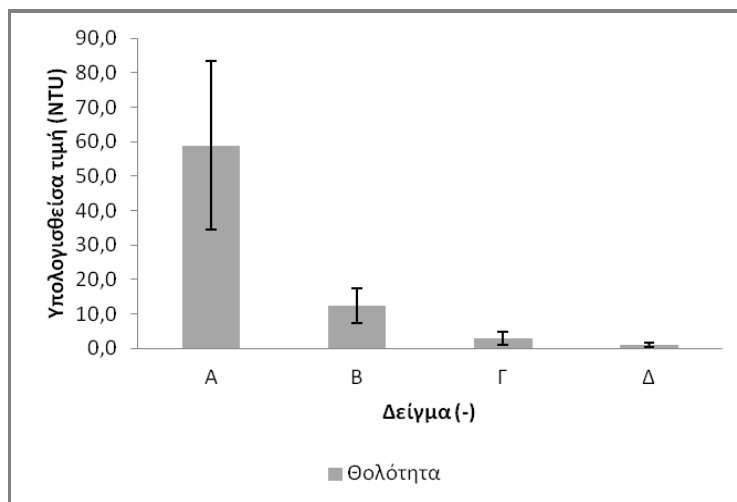
Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.8 και στο Σχήμα 4.34, οι τιμές της αγωγιμότητας αυξάνονται όσο τα λύματα κατευθύνονται προς της έξοδο του συστήματος επεξεργασίας. Οι μέσες τιμές της αγωγιμότητας, όμως, με εξαίρεση το στάδιο Δ, δεν

διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Η μέγιστη αύξηση της αγωγιμότητας πραγματοποιείται λόγω του φίλτρου ενεργού άνθρακα, δηλαδή από το στάδιο Γ στο στάδιο Δ.



**Σχήμα 4.34:** Τιμές της αγωγιμότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

Σε ότι αφορά στην θολότητα, μειώνεται σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος, με τη μέγιστη απομάκρυνσή της να επιτυγχάνεται λόγω της κροκίδωσης (στάδιο B). Συγκεκριμένα, με την κροκίδωση επιτυγχάνεται 79% μείωση της θολοτητας από τα ανεπεξέργαστα λύματα. Η τελική της τιμή, 1,07 (NTU), είναι σύμφωνη με τα όρια που θέτει η ελληνική νομοθεσία περί επαναχρησιμοποίησης λυμάτων.

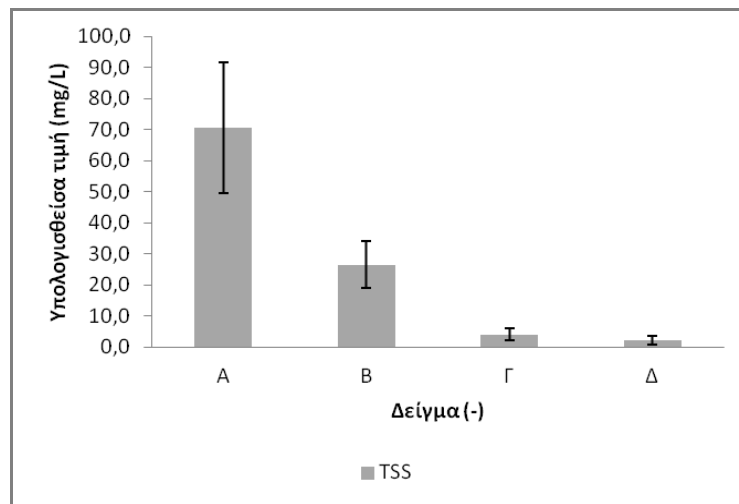


**Σχήμα 4.35:** Τιμές της θολότητας για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

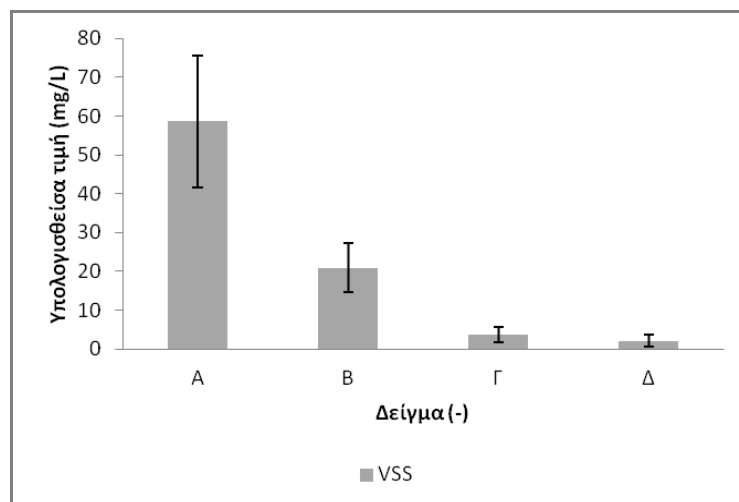
Τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά μειώνονται σε κάθε στάδιο επεξεργασίας και απομακρύνονται στο μεγαλύτερο μέρος τους (πάνω από 50%) λόγω κροκίδωσης. Πιο συγκεκριμένα, η κροκίδωση επιτυγχάνει απομάκρυνση  $(70,5-26,4)=44,1$  (mg/L) TSS, από τα οποία τα  $(58,6-20,9)=37,7$  (mg/L) είναι πτητικά. Αυτό σημαίνει ότι μέσω της



κροκίδωσης, επιτυγχάνεται απομάκρυνση TSS 63%, από τα οποία τα 86% είναι πτητικά. Αντίστοιχα, το φίλτρο άμμου απομακρύνει  $(26,4-4,00)=22,4$  (mg/L) TSS από τα οποία τα  $(20,9-3,74)=17,16$  (mg/L) είναι VSS. Δηλαδή, από τα στερεά που απομακρύνει η άμμος, τα 77% είναι πτητικά. Επίσης, παρόμοια, από τα 1,83 (mg/L) TSS που προσροφά και συγκρατεί ο άνθρακας, τα 1,61 (mg/L) είναι πτητικά.



**Σχήμα 4.36:** Τιμές των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)



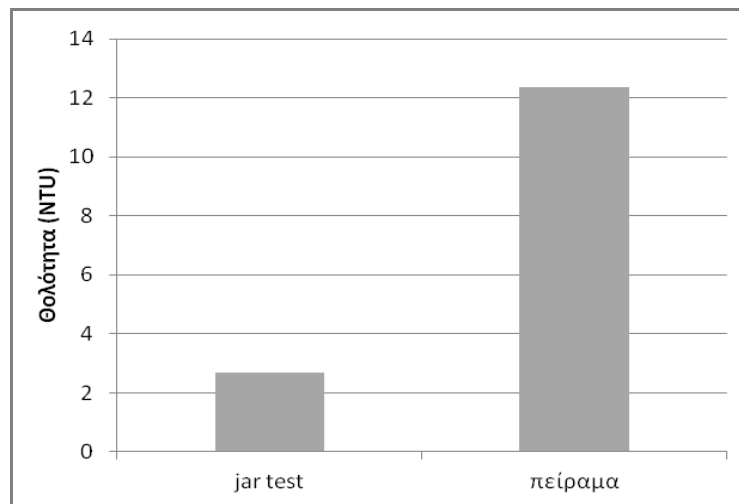
**Σχήμα 4.37:** Τιμές των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

Στο Σχήμα 4.38 γίνεται σύγκριση μεταξύ της μέσης τιμής θολότητας του jar test και της μέσης τιμής θολότητας του πειράματος. Η μέση τιμή θολότητας του jar test, 2,69 (NTU), προέκυψε μόνο από τις τιμές θολότητας των βέλτιστων δόσεων του Πίνακα 4.1, επειδή στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν οι βέλτιστες δόσεις κροκιδωτικού. Η μέση τιμή θολότητας του πειράματος, 12,4 (NTU), προέκυψε από το στάδιο B του πειράματος.

Η αποτελεσματικότητα που έχει η κροκίδωση στο jar test και στη δεξαμενή κροκίδωσης (στάδιο B) σε ότι αφορά στη θολότητα δεν είναι η ίδια. Η θολότητα του πειράματος είναι

τέσσερις με πέντε φορές μεγαλύτερη από την θολότητα που έπρεπε να επιτευχθεί, σύμφωνα με το jar test. Πιθανές αιτιολογίες αυτού του φαινομένου είναι:

- (α) η επίδραση που έχει ο αναδευτήρας στον μεγάλο όγκο τετραγωνικής κάτοψης της δεξαμενής κροκίδωσης είναι περιορισμένη, σε σχέση με τον μικρό όγκο κυκλικής κάτοψης στα δοχεία ζέσεως του jar test.
- (β) υπάρχει διαφορά στην ταχύτητα περιστροφής των αναδευτήρων στις δυο περιπτώσεις, κυρίως λόγω πρακτικών αδυναμιών να υλοποιηθούν στη δεξαμενή κροκίδωσης οι ίδιες στροφές με το jar test.



**Σχήμα 4.38:** Σύγκριση αποτελεσματικότητας κροκίδωσης jar test και πειράματος

Συνεπώς, αντί για τις βέλτιστες δόσεις στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, όντως, η δόση εκείνη για την οποία υπάρχουν επαρκή αποτελέσματα στον Πίνακα 4.7 και επιτυγχάνει θολότητα μικρότερη από 12 (NTU), όση δηλαδή επιτυγχάνεται μετά την κροκίδωση στο πείραμα. Τελικά, η προτεινόμενη δόση θειικού αργιλίου είναι 125 (mg/L).

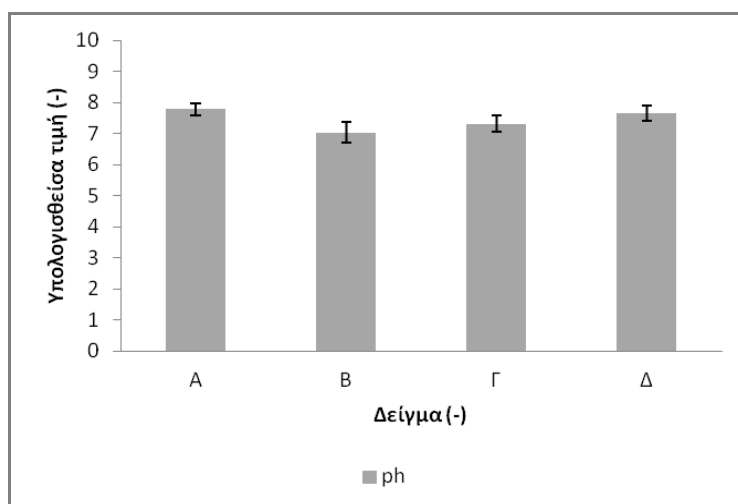
Σε ότι αφορά στο εκτιμώμενο κόστος του κροκιδωτικού, στο εμπόριο πωλείται διάλυμα  $Al_2(SO_4)_3$  περιεκτικότητας 46% κατά βάρος σε θειικό αργίλιο, που κοστίζει 160€ ο τόνος. Επομένως, για τη δόση των 125 (mg/L), προκύπτουν  $125(mg/L)/0,46 = 271$  (mg διαλύματος/ $m^3$  γκρίζου νερού). Για κόστος 160 (€/τόνο), προκύπτουν  $271$  (mg/ $m^3$ )\*160(€/τόνο)=0,04 (€/m<sup>3</sup> γκρίζου νερού). Επομένως, για μια τετραμελή οικογένεια με μέση παραγωγή γκρίζου νερού 98,1 (L/p.e./d), το ετήσιο κόστος των χημικών είναι συνολικά 6 €.

**Πίνακας 4.9:** Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του β' κύκλου πειραμάτων

| Στάδιο επεξεργασίας | pH (-)     | COD <sub>t</sub> (mg/L) | COD <sub>s</sub> (mg/L) | LAS (mg/L) |
|---------------------|------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| A                   | 7,8 ± 0,19 | 364 ± 84,6              | 175 ± 22,6              | 84 ± 32    |
| B                   | 7,0 ± 0,33 | 136 ± 21,2              | 104 ± 15,2              | 29 ± 18    |
| Γ                   | 7,3 ± 0,27 | 105 ± 19,1              | 95,5 ± 17,0             | 19 ± 17    |
| Δ                   | 7,7 ± 0,23 | < 15                    | < 15                    | 1,2 ± 1,1  |

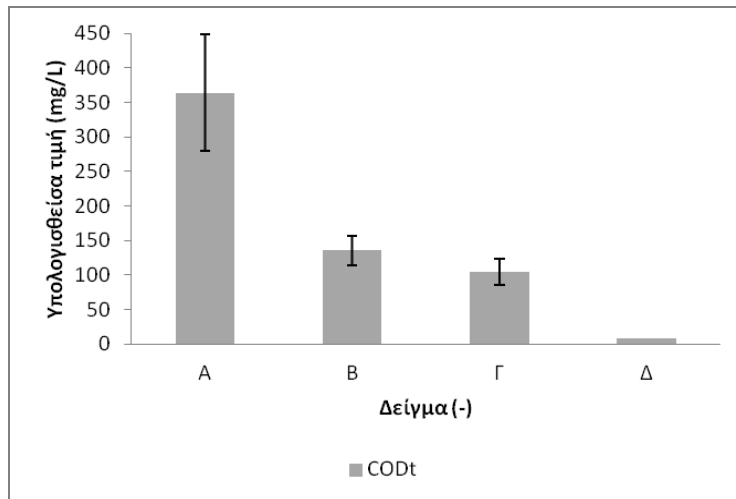
Σε ότι αφορά στις χημικές παραμέτρους του γκρίζου νερού, αυτές φαίνονται στον Πίνακα 4.9 και στα Σχήματα 4.39-4.42. Τα COD<sub>t</sub>, COD<sub>s</sub> και LAS μειώνονται σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος, με τη μέγιστη μείωση να παρατηρείται μετά την κροκίδωση (στάδιο B).

Στον Πίνακα 4.9 και στο Σχήμα 4.39, φαίνεται ότι οι τιμές του pH στα ανεπεξέργαστα λύματα τείνουν προς τις βασικές τιμές pH. Μετά την κροκίδωση, οι τιμές του είναι ουδέτερες, ενώ στα φίλτρα άμμου και άνθρακα αυξάνονται ελάχιστα. Τελικά, στην έξοδο οι τιμές του pH είναι ίδιες με τις αρχικές κατά μέσο όρο.

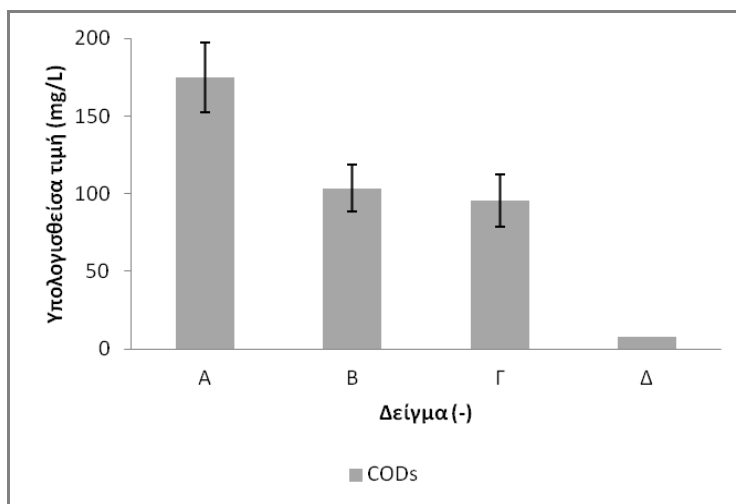


**Σχήμα 4.39:** Τιμές του pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

Το ολικό COD απομακρύνεται κατά 63% λόγω της κροκίδωσης, ενώ το διαλυτό COD απομακρύνεται κατά 41%. Φαίνεται, δηλαδή, ότι η κροκίδωση δεν είναι τόσο αποτελεσματική στο διαλυτό COD, όσο είναι στο ολικό.



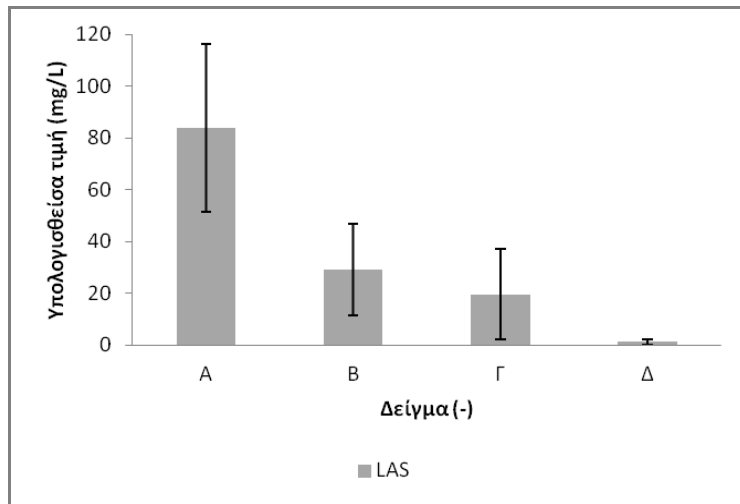
**Σχήμα 4.40:** Τιμές του ολικού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.41:** Τιμές του διαλυτού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

Επίσης, η κροκίδωση απομακρύνει  $(364-136)=228$  (mg/L) ολικό COD, από το οποίο τα  $(175-104)=71$  (mg/L) είναι διαλυτό. Δηλαδή, από το COD που απομακρύνεται, το 31% είναι διαλυτό. Ομοίως, από τα 31 (mg/L) ολικό COD που απομακρύνονται μέσω του φίλτρου άμμου, τα 8,5 (mg/L), δηλαδή το 27%, είναι διαλυτό.

Στο Σχήμα 4.42 και στον Πίνακα 4.9 φαίνεται ότι τα LAS απομακρύνονται κατά 65% στο στάδιο της κροκίδωσης.



**Σχήμα 4.42:** Τιμές των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

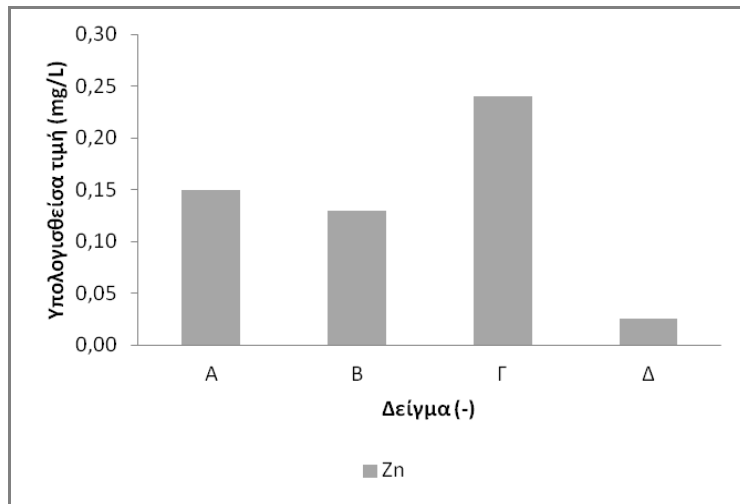
Στο Πίνακα 4.10 και στα Σχήματα 4.43 και 4.44 φαίνονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων (χρωμίου, ψευδαργύρου και καδμίου) σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του γκρίζου νερού. Δεν φαίνεται να υπάρχει πτωτική τάση στη συγκέντρωση των μετάλλων μέσα στο σύστημα επεξεργασίας.

**Πίνακας 4.10:** Βαρέα μέταλλα γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του συστήματος του β' κύκλου πειραμάτων

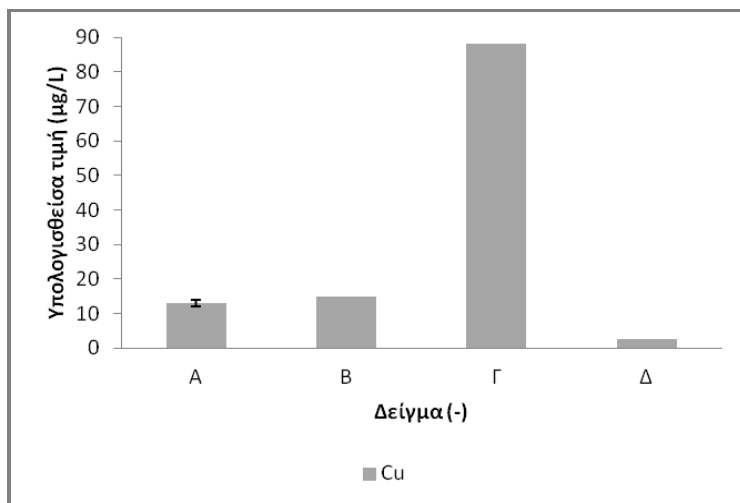
| Στάδιο επεξεργασίας | Cr (μg/L) | Zn (mg/L) | Cu (μg/L) |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| A                   | < 2,5     | 0,15      | 13        |
| B                   | < 2,5     | 0,13      | 15        |
| Γ                   | < 2,5     | 0,24      | 88        |
| Δ                   | < 2,5     | <0,050    | < 5,0     |

Σημειώνεται ότι η δειγματοληψία ήταν μοναδική, συνεπώς δεν έγινε στατιστική επεξεργασία για να προκύψει μέση τιμή και τυπική απόκλιση.

Για τα μέταλλα, οι συγκεντρώσεις σε όλα τα στάδια επεξεργασίας είναι χαμηλές και συνεπώς, η εξαγωγή κάποιου συμπεράσματος είναι εξαιρετικά επισφαλής. Στο στάδιο επεξεργασίας Γ (μετά το φίλτρο ενεργού άνθρακα), η τιμή του χαλκού είναι αυξημένη, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην επαφή του επεξεργασμένου γκρίζου νερού με κάποιο μεταλλικό εξάρτημα του συστήματος επεξεργασίας.

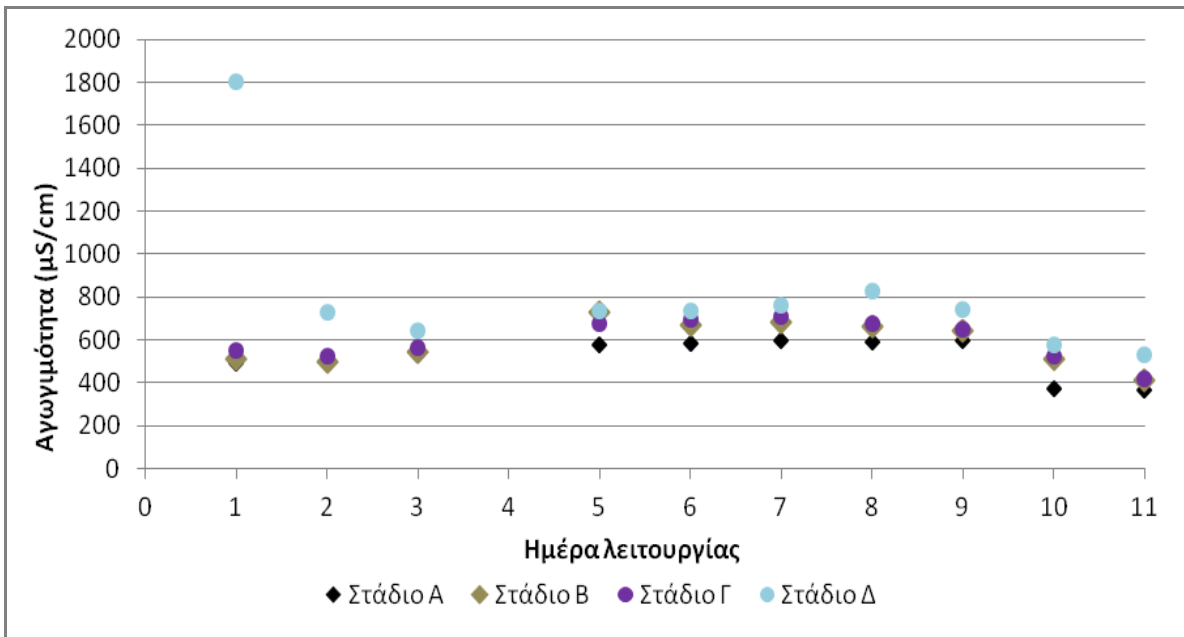


**Σχήμα 4.43:** Τιμές του ψευδαργύρου για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

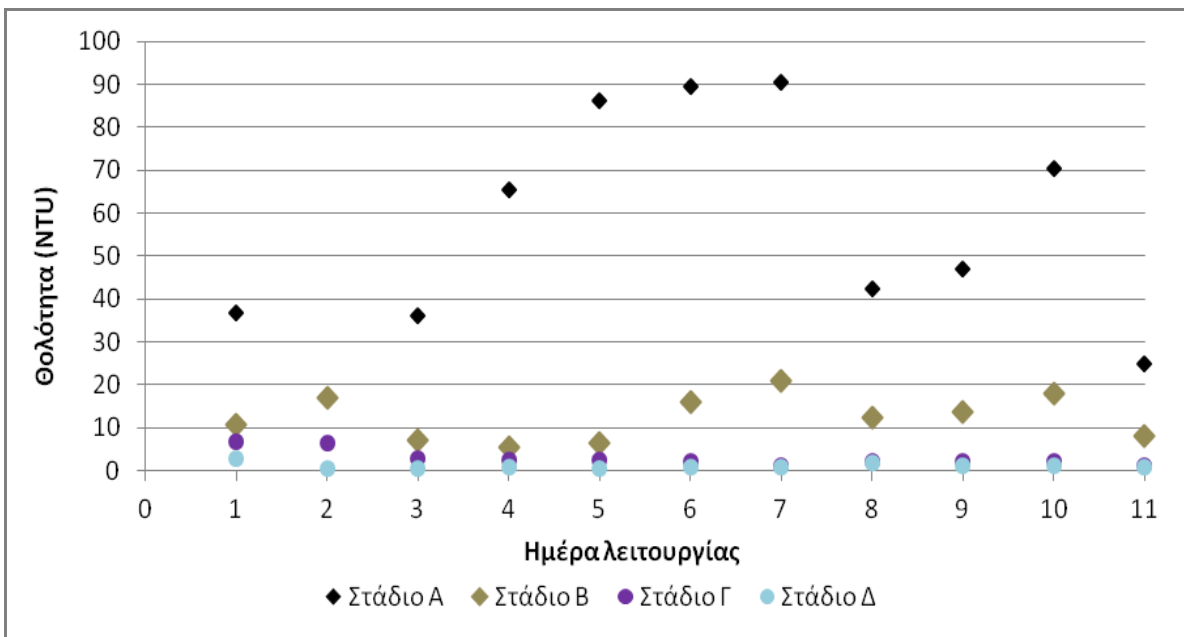


**Σχήμα 4.44:** Τιμές του χαλκού για κάθε στάδιο επεξεργασίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

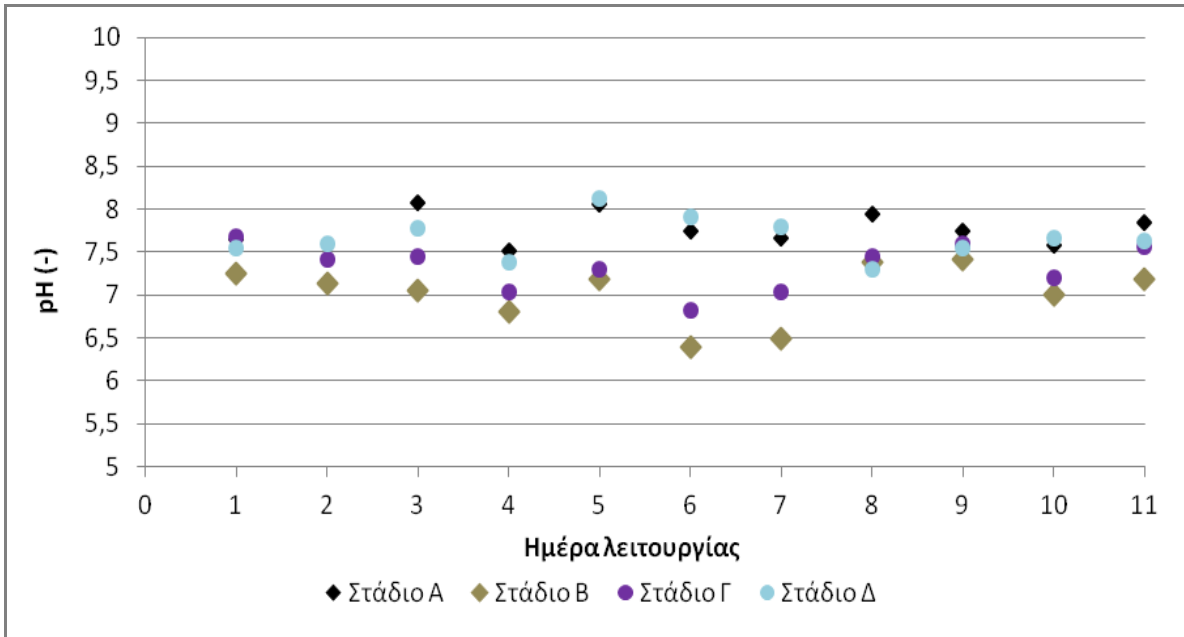
Στα Σχήματα 4.45-4.52 παρουσιάζονται, για την κάθε ποιοτική παράμετρο, οι τιμές της παραμέτρου στα στάδια επεξεργασίας A, B, Γ και Δ, κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού. Οι τιμές της αγωγιμότητας στα A, B, Γ, Δ είναι πολύ κοντά μεταξύ τους κάθε ημέρα λειτουργίας. Επίσης, οι τιμές των συγκεντρώσεων του αμμωνιακού αζώτου στα στάδια A, B, Γ, Δ, αποκλίνουν όλο και περισσότερο μεταξύ τους με την πάροδο των ημερών λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας.



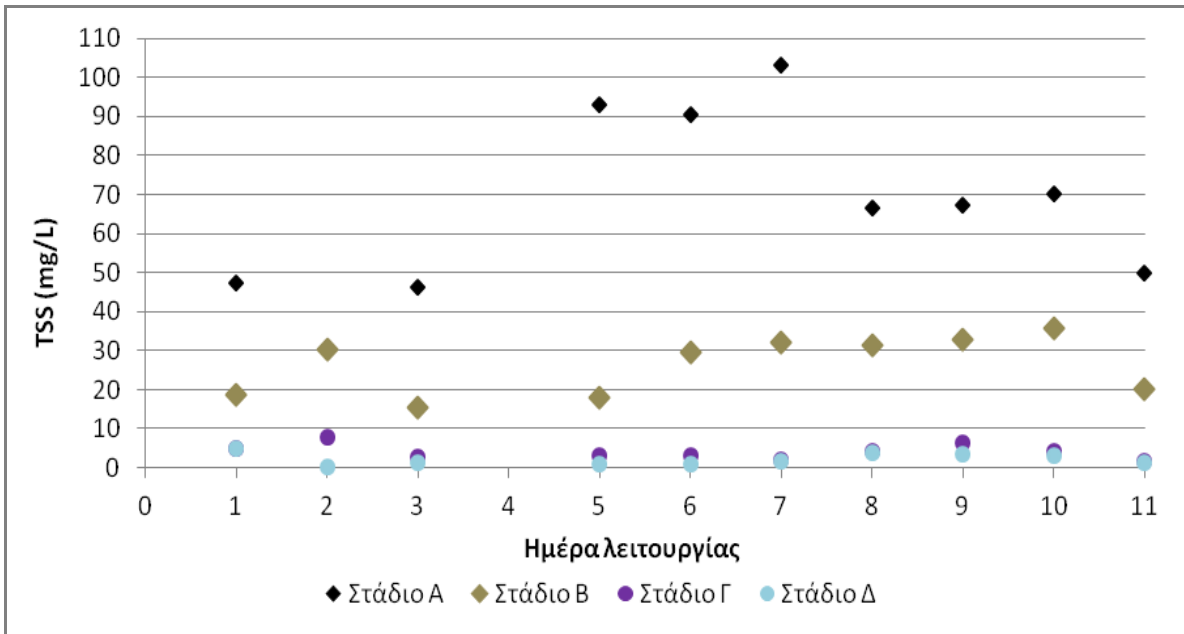
**Σχήμα 4.45:** Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.46:** Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

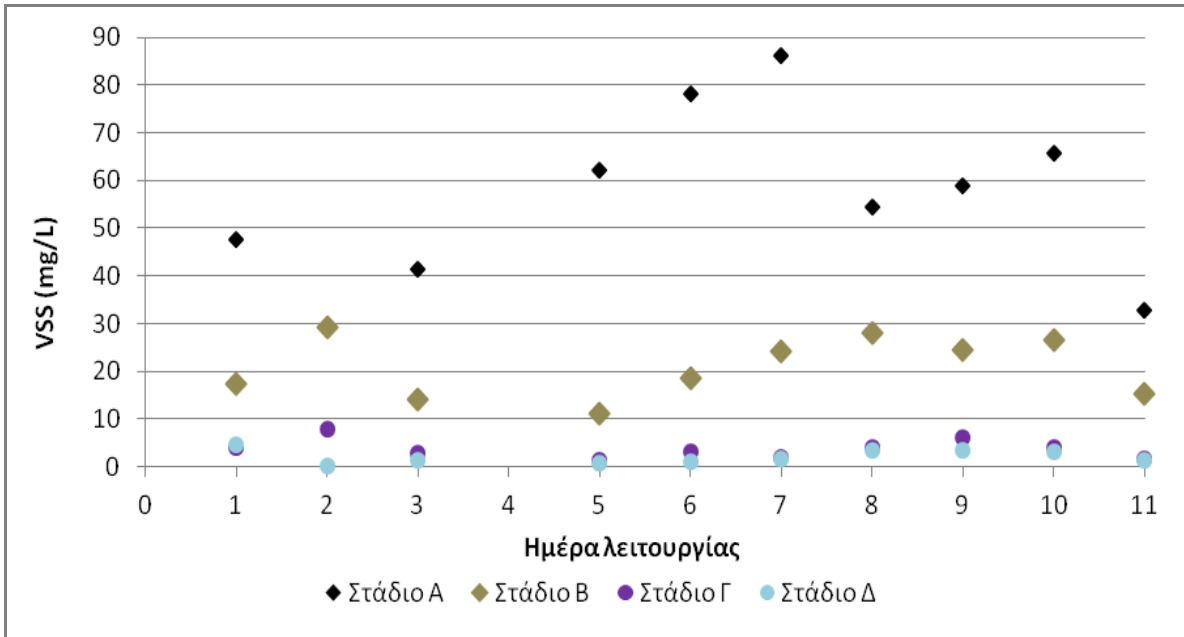


**Σχήμα 4.47:** pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

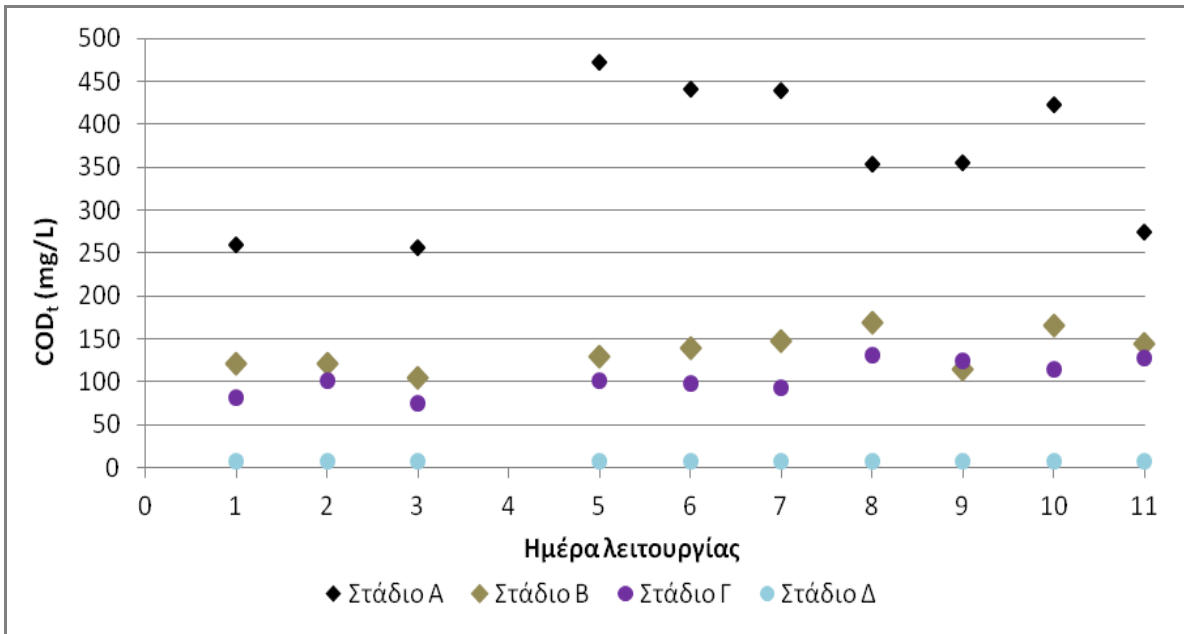


**Σχήμα 4.48:** TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

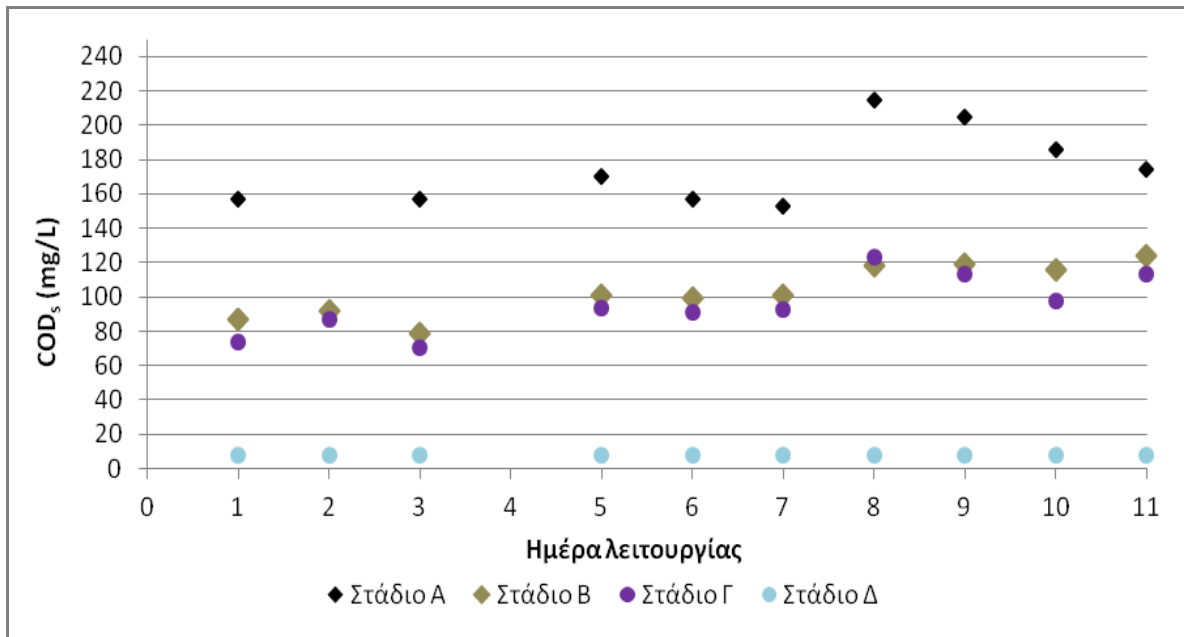




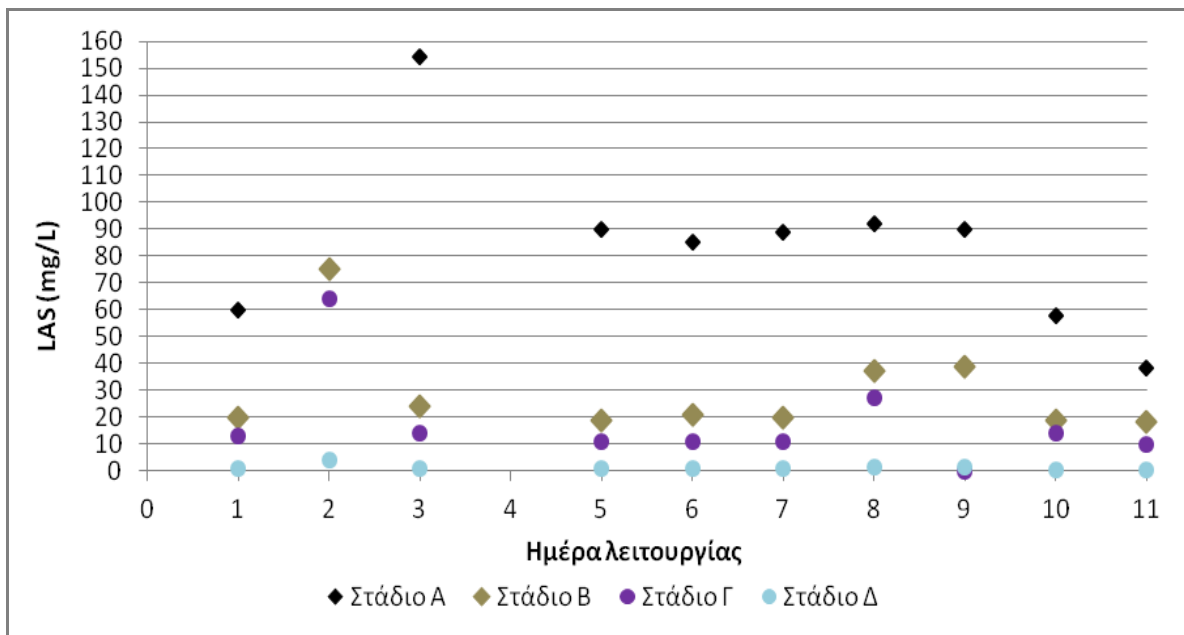
**Σχήμα 4.49:** VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)



**Σχήμα 4.50:** Ολικό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

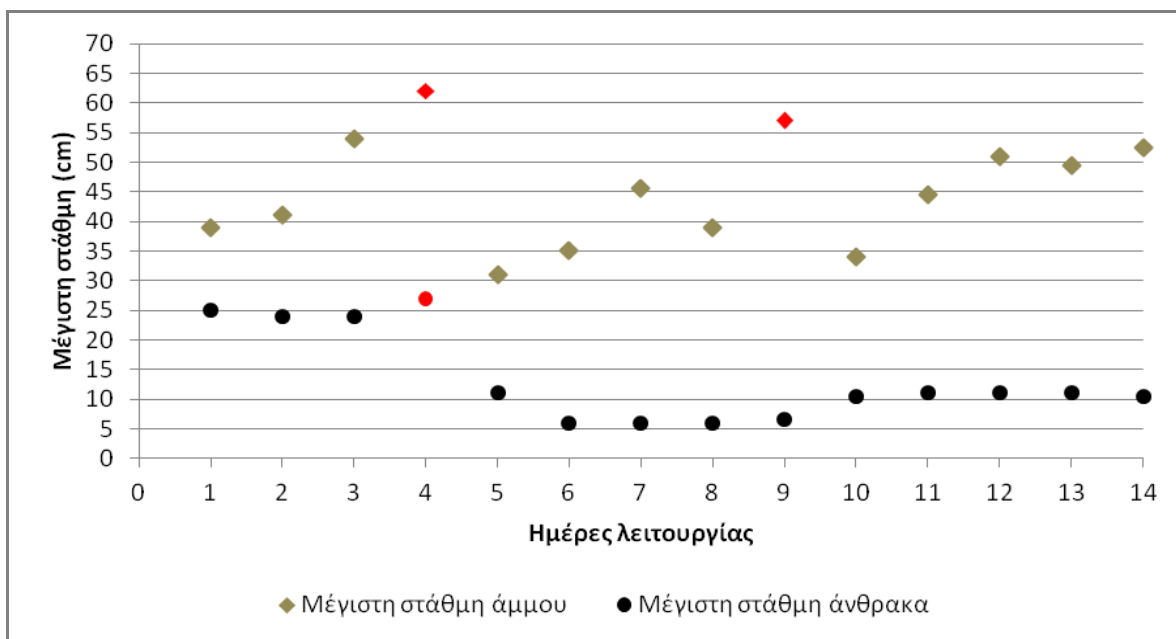


**Σχήμα 4.51:** Διαλυτό COD ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)



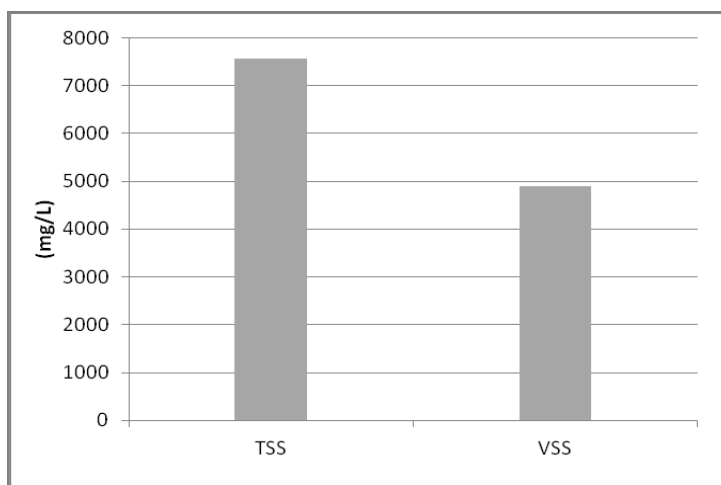
**Σχήμα 4.52:** LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

Στο Σχήμα 4.53 φαίνεται η μέγιστη στάθμη του φίλτρου άμμου και του φίλτρου άνθρακα τις ημέρες λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού. Τα κόκκινα σημεία είναι οι ημέρες που πραγματοποιήθηκε έκπλυση του αντίστοιχου φίλτρου. Η έκπλυση έγινε λόγω υπερχείλισης του συστήματος και πραγματοποιούνταν στο φίλτρο άμμου ανά περίπου 5 ημέρες. Αντίθετα, το φίλτρο άνθρακα πρακτικά δεν χρειάστηκε έκπλυση λόγω υπερχείλισης.



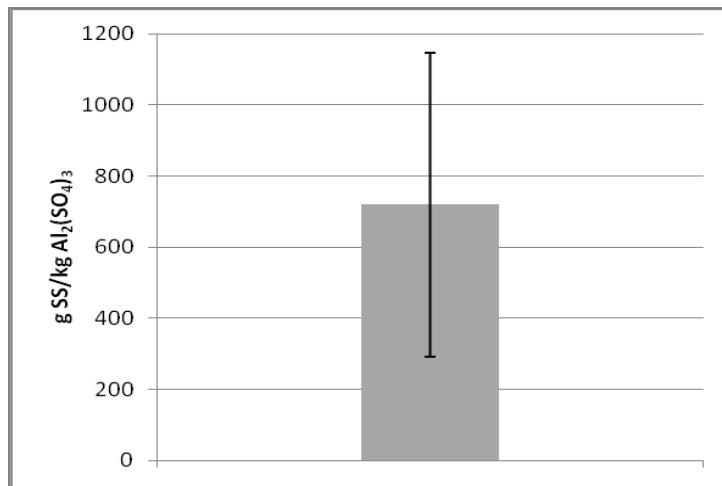
**Σχήμα 4.53:** Μέγιστη στάθμη άμμου και άνθρακα τις ημέρες λειτουργίας του χημικού συστήματος (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

Επιπλέον, στο σύστημα επεξεργασίας με κροκίδωση, έγιναν μετρήσεις της συγκέντρωσης των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στην ιλύ του νεκρού όγκου της δεξαμενής καθίζησης. Ο νεκρός όγκος της δεξαμενής καθίζησης εκκενώθηκε από τα υπερκείμενα της ιλύος λύματα και αφού η ιλύς συλλέχθηκε και αναλύθηκε, προέκυψαν τα αποτελέσματα του Σχήματος 4.54. Επίσης, μετρήθηκε ότι η στάθμη της ιλύος μετά από 9 ημέρες λειτουργίας του συστήματος ήταν 850 (mL). Για συγκέντρωση στερεών 7565 (mg/L) προκύπτει ότι η παραγόμενη λάσπη είναι 6,43 (g) στις 9 ημέρες. Με άλλα λόγια, σε ετήσια βάση, η παραγόμενη λάσπη εκτιμάται σε 34,5 (L), με μάζα στερεών 261 (g).



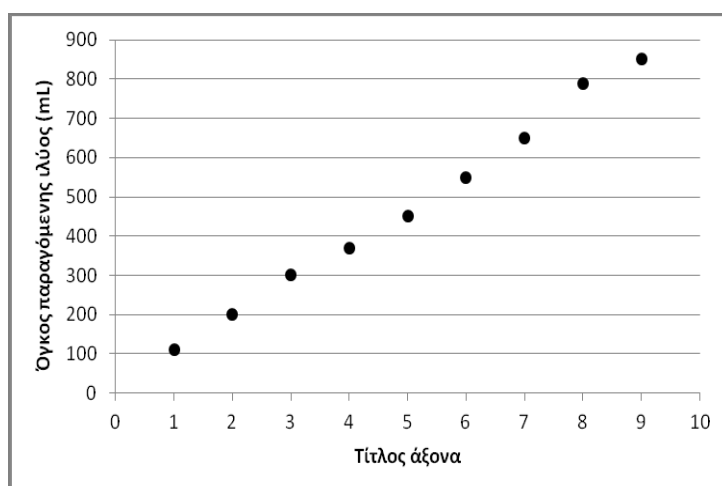
**Σχήμα 4.54:** Συγκέντρωση ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στην ιλύ

Ακόμη, για την κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού, υπολογίσθηκε η μάζα στερεών που παράγεται ανά (kg) θειικού αργιλίου. Στους υπολογισμούς λήφθηκε υπόψη η συγκέντρωση της ιλύος σε στερεά, που είναι 7565 (mg SS/L ιλύος), η εκάστοτε δόση κροκιδωτικού, ο όγκος του γκρίζου νερού του συστήματος, που είναι 7 (L) και ο όγκος της ημερήσιας παραγόμενης ιλύος. Συνεπώς, προέκυψε το Σχήμα 4.55, στο οποίο φαίνεται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της μάζας στερεών που παράγονται ανά κιλό κροκιδωτικού. Διευκρινιστικά, η μέση τιμή που προέκυψε είναι 720 (gr SS/kg  $Al_2(SO_4)_3$ ).



**Σχήμα 4. 55:** Μάζα στερεών που παράγονται ανά (kg) κροκιδωτικού

Επίσης, στο Σχήμα 4.56 φαίνεται η αύξηση του όγκου της ιλύος ανά ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας. Η μέση αύξηση της ιλύος είναι 95 (mL/d) και η ημερήσια παραγωγή της λάσπης φαίνεται να είναι σταθερή, για το συγκεκριμένο σύστημα επεξεργασίας και για τις βέλτιστες δόσεις κροκιδωτικού.



**Σχήμα 4.56:** Παραγωγή ιλύος στη διάρκεια λειτουργίας του σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων

#### 4.3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων με βιβλιογραφικά στοιχεία και τα όρια της νομοθεσίας

Στη βιβλιογραφία δεν βρέθηκε χημικό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που να δέχεται ακριβώς τις ίδιες ροές γκρίζου νερού, δηλαδή από μπάνιο, νιπτήρα και πλυντήριο ρούχων. Βρέθηκαν, όμως, δύο συστήματα με τα ίδια στάδια επεξεργασίας που δέχονται γκρίζο νερού διαφορετικής σύστασης. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων γίνεται στον Πίνακα 4.11. Είναι προφανές ότι η σύσταση του γκρίζου νερού παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στα χαρακτηριστικά του ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού, όσο και στην αποτελεσματικότητα των σταδίων επεξεργασία του.

Σε ότι αφορά στην τήρηση των ορίων της νομοθεσίας στο επεξεργασμένο γκρίζο νερό στην έξοδο του συστήματος, σημειώθηκαν στον Πίνακα 4.12 η τιμή των TSS που είναι μικρότερη από το 80% των τιμών των δειγμάτων και η τιμή της θολότητας που είναι μικρότερη από το 50% των τιμών των δειγμάτων. Οι τιμές αυτές συγκρίθηκαν με τα όρια της ΚΥΑ 145116. Επίσης, με της τιμές της ίδιας ΚΥΑ συγκρίθηκαν οι τιμές της συγκέντρωσης των μετάλλων στην έξοδο του συστήματος.

Έτσι, προέκυψε ότι, όσον αφορά στα στερεά και στη θολότητα, το γκρίζο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για απεριόριστη άρδευση. Τα μέταλλα είναι, επίσης, στα επιτρεπτά όρια.

**Πίνακας 4.11:** Σύγκριση βιβλιογραφικών δεδομένων και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

| Αναφορά                    | Στάδιο Επεξ/σίας | pH (-) | COD <sub>t</sub> (mg/L) | TSS (mg/L) |
|----------------------------|------------------|--------|-------------------------|------------|
| Παρούσα εργασία            | Είσοδος          | 7,8    | 364                     | 70,5       |
|                            | Κροκίδωση        | 7,0    | 136                     | 26,4       |
|                            | Φ. Άμμου         | 7,3    | 105                     | 4,00       |
|                            | GAC              | 7,7    | < 15                    | 2,17       |
| Antonopoulou et al. (2011) | Είσοδος          | 7,23   | 792                     | 316        |
|                            | Κροκίδωση        | 4,85   | 163                     | 37         |
|                            | Φ. Άμμου         | 5,91   | 156                     | 22         |
|                            | GAC              | 7,21   | 28                      | 11         |
| Sostar Turk et al. (2005)  | Είσοδος          | 9,6    | 280                     |            |
|                            | Κροκίδωση        | 7,9    | 180                     |            |
|                            | GAC              | 6,8    | 20                      |            |

**Πίνακας 4.12:** Σύγκριση ορίων νομοθεσίας και πειραματικών αποτελεσμάτων (σύστημα επεξεργασίας β' κύκλου πειραμάτων)

|           | TSS<br>(mg/L) | Θολότητα<br>(NTU) | Cr<br>(μg/L) | Zn<br>(mg/L) | Cu<br>(μg/L) |
|-----------|---------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
|           | 80% δειγμάτων | 50% δειγμάτων     | Μέγιστη τιμή | Μέγιστη τιμή | Μέγιστη τιμή |
| Πείραμα   | 3,36          | 0,86              | < 2,5        | < 0,050      | < 5,0        |
| Νομοθεσία | ≤ 10          | ≤ 2               | 100          | 2            | 200          |

#### 4.4 Σύγκριση των συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού

Στο παρόν Κεφάλαιο γίνεται σύγκριση στην αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας των παρακάτω συστημάτων:

- (α) σύστημα που περιλαμβάνει καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα, με σύσταση γκρίζου νερού από τον νιπτήρα και το μπάνιο. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας παρουσιάσθηκαν από την Χαρχούση Δ. (2014). Στα Σχήματα 4.55-4.61 ονοματίζεται Φ1.
- (β) το σύστημα της παρούσας εργασίας, που περιλαμβάνει καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα, με σύσταση γκρίζου νερού από τον νιπτήρα, το μπάνιο και το πλυντήριο ρούχων. Στα Σχήματα 4.55-4.61 ονοματίζεται Φ2.
- (γ) το σύστημα της παρούσας εργασίας, που περιλαμβάνει κροκίδωση με θειικό αργίλιο-καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα, με σύσταση γκρίζου νερού από τον νιπτήρα, το μπάνιο και το πλυντήριο ρούχων. Στα Σχήματα 4.56-4.62 ονοματίζεται Χ.

Στον Πίνακα 4.13 και στα Σχήματα 4.58-4.64 φαίνεται η επί τοις εκατό απομάκρυνση κάθε ποιοτικής παραμέτρου του γκρίζου νερού, για κάθε στάδιο επεξεργασίας και για κάθε σύστημα επεξεργασίας.

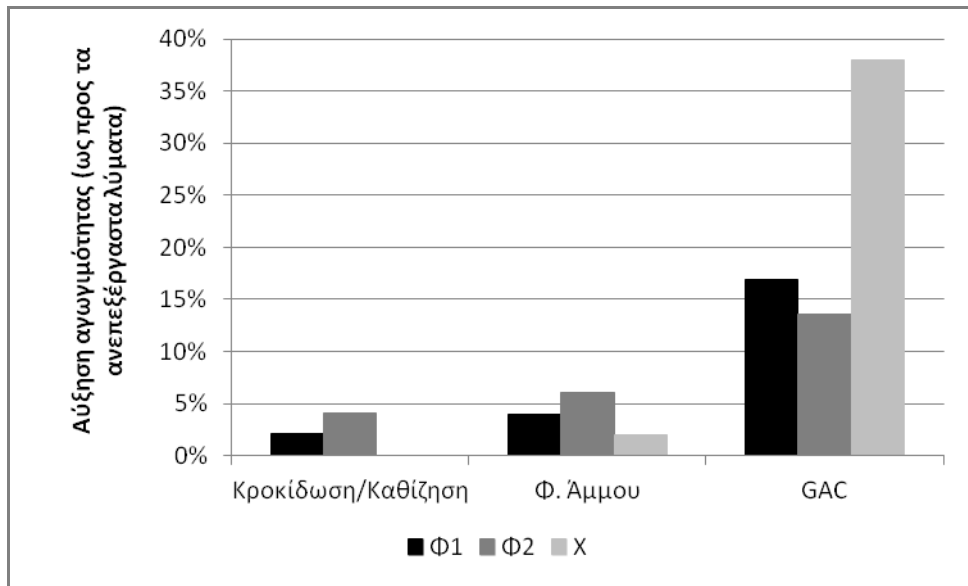
Στο Σχήμα 4.58 φαίνεται ότι το φίλτρο του κοκκώδους ενεργού άνθρακα επιτυγχάνει απότομη αύξηση της αγωγιμότητας, ανεξαρτήτως συστήματος και σύστασης γκρίζου νερού.

Στο Σχήμα 4.59 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μείωση της θολότητας ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας. Τα συστήματα Φ1 και Φ2 επιτυγχάνουν ίδια επίπεδα μείωσης της θολότητας, ανεξαρτήτως σύστασης λυμάτων. Η μείωση της θολότητας είναι πιο ομαλή για το γκρίζο νερό που περιέχει τις ροές νιπτήρα-μπάνιου, σε σχέση με αυτό που περιέχει λύματα και από το πλυντήριο ρούχων. Η κροκίδωση από την αρχή επιτυγχάνει επίπεδα θολότητας ίδια με αυτά στην έξοδο των δύο άλλων συστημάτων. Στο σύστημα Χ η άμμος παίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση της θολότητας, αφού μετά την έξοδο από το φίλτρο άμμου, η θολότητα δεν ελαττώνεται περαιτέρω σε μεγάλο βαθμό. Έτσι, η θολότητα που προκαλείται από τους ρύπους στο γκρίζο νερό απομακρύνεται αποτελεσματικά μέσω της κροκίδωσης, αφενός μεν με τη συσσωμάτωσή τους σε καθιζήσιμες κροκίδες, αφετέρου δε μέσω της συγκράτησής των μη καθιζήσιμων κροκίδων από το φίλτρο της άμμου.

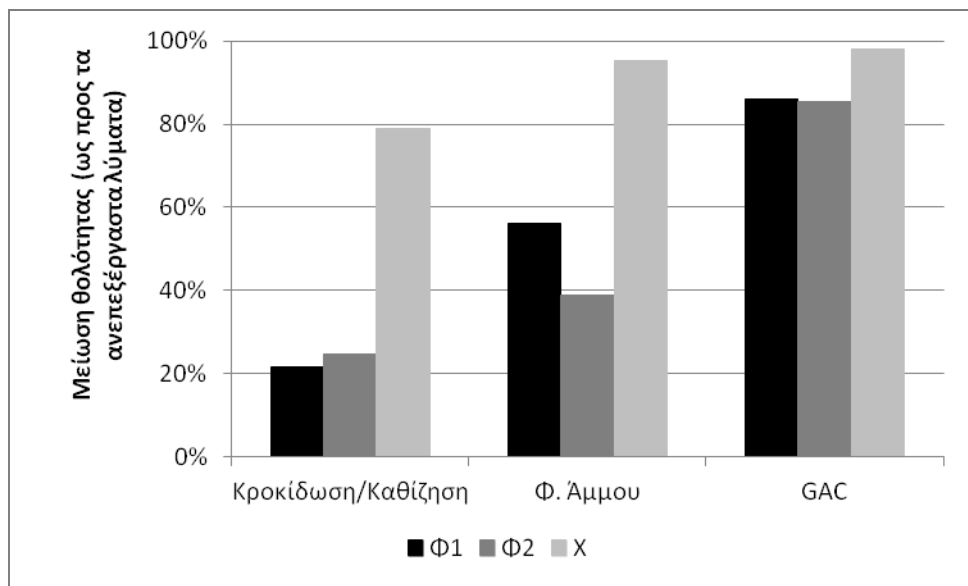
**Πίνακας 4.13:** Επί τοις εκατό απομάκρυνση κάθε ποιοτικής παραμέτρου του γκρίζου νερού, για κάθε στάδιο επεξεργασίας και για κάθε σύστημα επεξεργασίας

| Σύστημα                                       |                    | Αγωγιμότητα<br>( $\mu\text{S/cm}$ ) | Θολότητα<br>(NTU) | TSS<br>(mg/L) | VSS<br>(mg/L) | COD <sub>t</sub><br>(mg/L) | COD <sub>s</sub><br>(mg/L) | LAS<br>(mg/L) |
|---|--------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------|
| Φ1 (νιπτήρας,<br>μπάνιο)                      | Καθίζηση           | 2,1%                                | 22%               | 22%           | 17%           | 8%                         | 10%                        | 11%           |
|   | Φίλτρο Άμμου       | 4,0%                                | 56%               | 59%           | 53%           | 31%                        | 21%                        | 38%           |
|   | Φίλτρο Άνθρακα     | 17%                                 | 86%               | 84%           | 82%           | 92%                        | 94%                        | 98%           |
| Φ2 (νιπτήρας,<br>μπάνιο, πλυντήριο<br>ρούχων) | Καθίζηση           | 4,1%                                | 25%               | 29%           | 25%           | 9%                         | 21%                        | 23%           |
|   | Φίλτρο Άμμου       | 6,0%                                | 39%               | 43%           | 41%           | 25%                        | 26%                        | 36%           |
|   | Φίλτρο Άνθρακα     | 14%                                 | 85%               | 83%           | 81%           | 91%                        | 94%                        | 97%           |
| Χ (νιπτήρας, μπάνιο,<br>πλυντήριο ρούχων)     | Κροκίδωση-Καθίζηση | 0,0%                                | 79%               | 62%           | 64%           | 63%                        | 41%                        | 65%           |
|   | Φίλτρο Άμμου       | 2,0%                                | 95%               | 94%           | 94%           | 71%                        | 45%                        | 77%           |
|   | Φίλτρο Άνθρακα     | 38%                                 | 98%               | 97%           | 96%           | 98%                        | 96%                        | 99%           |



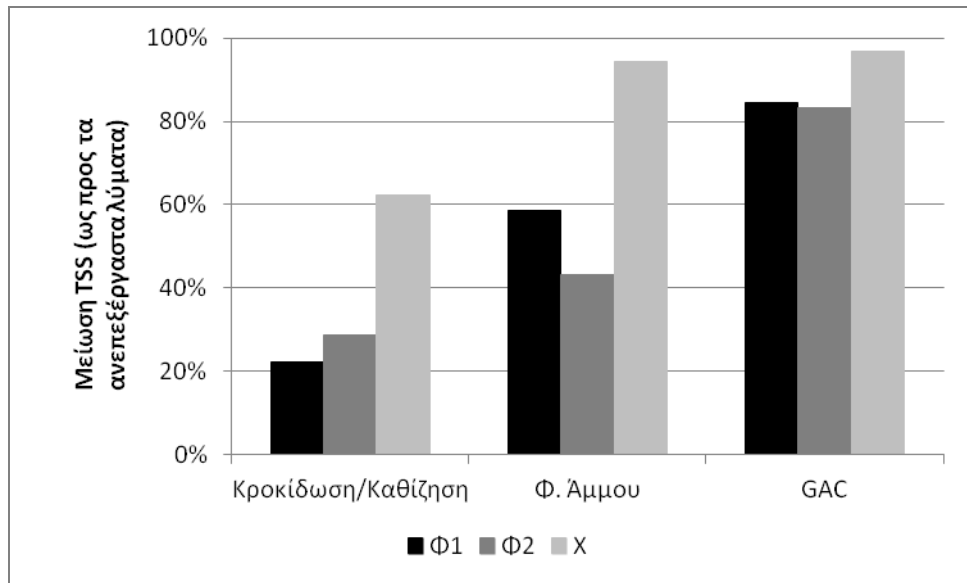


**Σχήμα 4.57:** Ποσοστιαία αύξηση αγωγιμότητας ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας

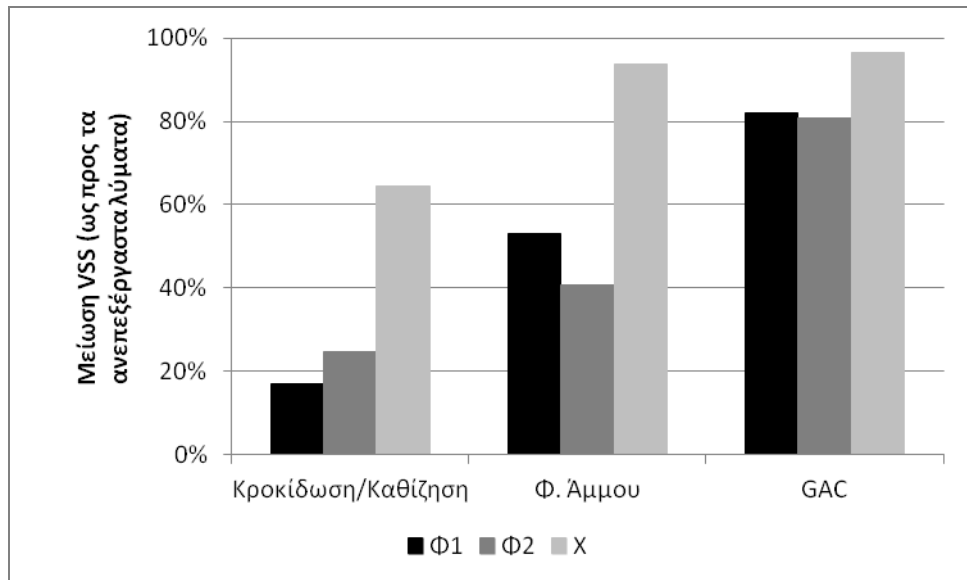


**Σχήμα 4.58:** Ποσοστιαία μείωση θολότητας ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας

Στο σύστημα επεξεργασίας Φ1 η μείωση των ολικών αιωρούμενων στερεών είναι σταθερή διαμέσου των φίλτρων (Σχήμα 4.58). Στο σύστημα Φ2, καθοριστικός είναι ο ρόλος του φίλτρου ενεργού άνθρακα, ενώ στο σύστημα που περιλαμβάνει και κροκίδωση, η παρουσία της άμμου είναι ουσιώδης, αφού αυτή ουσιαστικά απομακρύνει το 20% των SS που δεν απομακρύνθηκαν με την κροκίδωση.



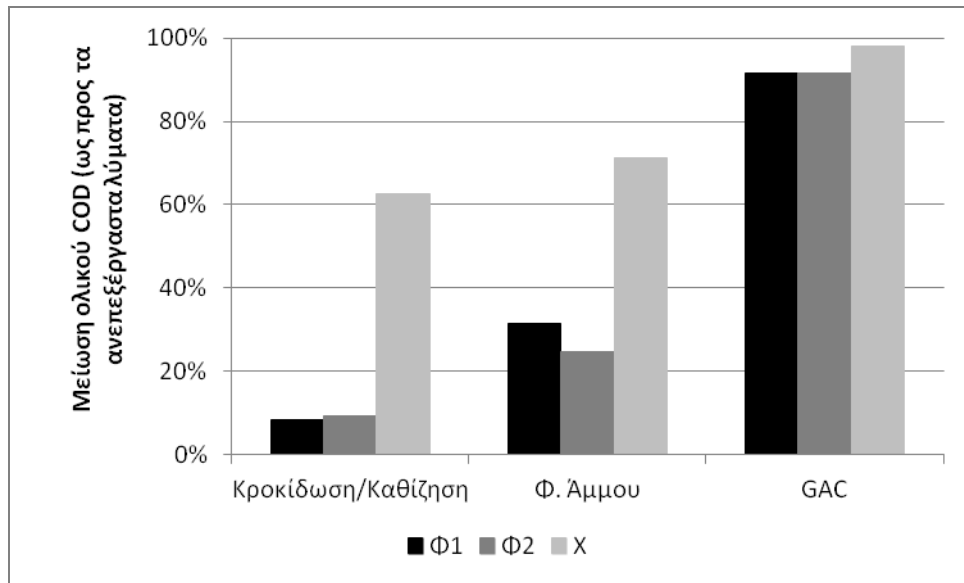
**Σχήμα 4.59:** Ποσοστιαία μείωση TSS ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας



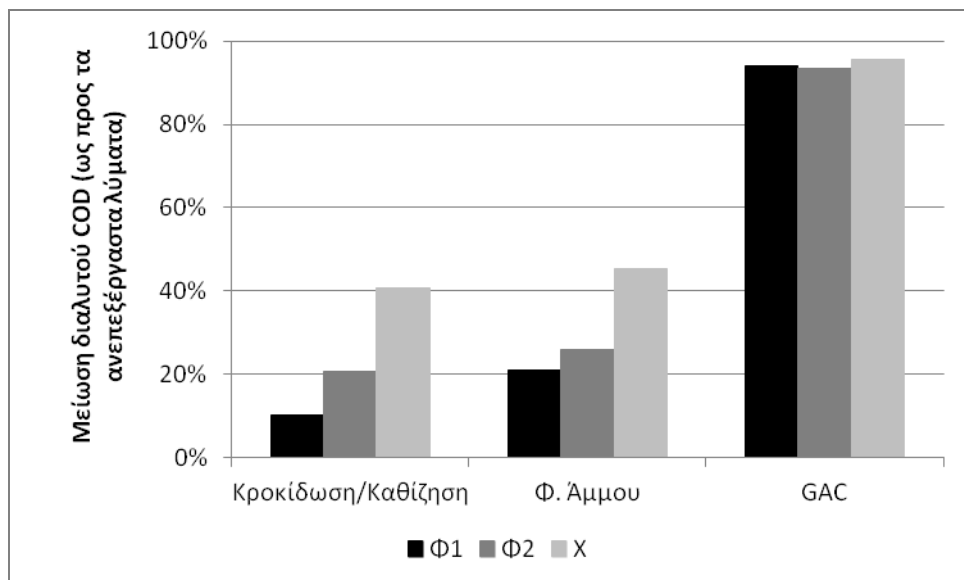
**Σχήμα 4.60:** Ποσοστιαία μείωση VSS ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας

Η εικόνα της απομάκρυνσης των πτητικών αιωρούμενων στερεών (Σχήμα 4.59) είναι σχεδόν ίδια με αυτή των ολικών αιωρούμενων στερεών.

Στα συστήματα Φ1 και Φ2, για την απομάκρυνση  $COD_t$  και  $COD_s$ , σημαντικός είναι ο ρόλος του GAC. Το φίλτρο άμμου δεν απομακρύνει αποτελεσματικά το COD (ολικό ή διαλυτό). Η προσθήκη του σταδίου της κροκίδωσης, βέβαια, απομακρύνει το 60% του ολικού και το 40% του διαλυτού COD, όταν χωρίς κροκίδωση η απομάκρυνσή τους από το στάδιο της καθίζησης ήταν μόλις 10% και 20% αντίστοιχα, για το σύστημα Φ2. Αυτά φαίνονται στα Σχήματα 4.60 και 4.61.



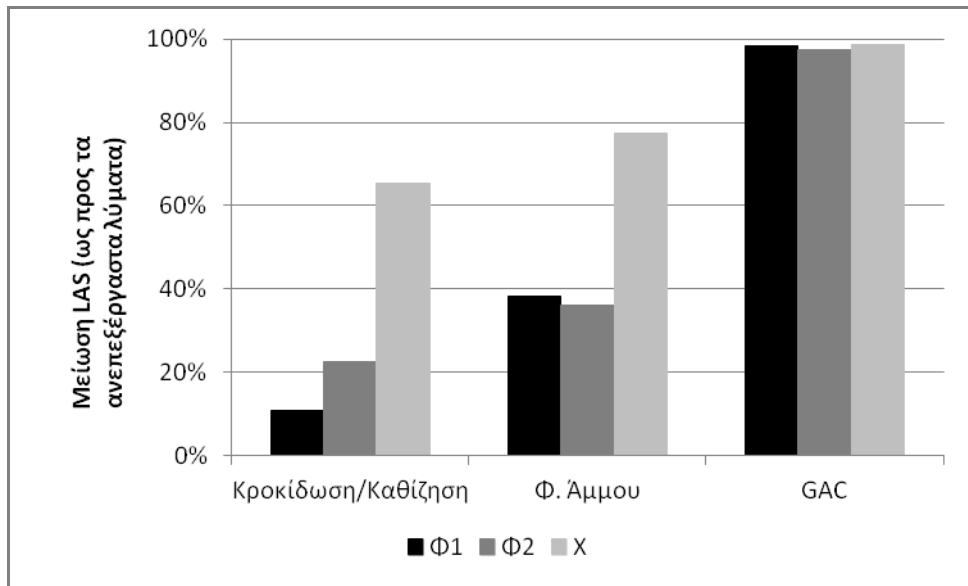
**Σχήμα 4.61:** Ποσοστιαία μείωση ολικού COD ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας



**Σχήμα 4.62:** Ποσοστιαία μείωση διαλυτού COD ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας

Στο Σχήμα 4.63 φαίνεται ότι η μείωση των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων είναι σταδιακή στα συστήματα επεξεργασίας Φ1 και Φ2. Συγκεκριμένα, όμως, η ύπαρξη λυμάτων από το πλυντήριο ρούχων καθιστά την αποτελεσματικότητα της καθίζησης μεγαλύτερη, αφού η απομάκρυνση των LAS μέσω της καθίζησης είναι περίπου 22%, ενώ χωρίς τη ροή του πλυντηρίου ρούχων είναι μόλις 10%. Η κροκίδωση επιτυγχάνει απευθείας μείωση των LAS κατά 65%.

Αυτό σημαίνει ότι επιτυγχάνεται απομάκρυνση των LAS 6,5 φορές παραπάνω από το σύστημα που περιέχει τις ροές νιπτήρα και μπάνιου (Φ1) και 3 φορές παραπάνω από το σύστημα που περιέχει και τις τρεις ροές (Φ2). Σε κάθε περίπτωση, ο ρόλος του άνθρακα είναι καθοριστικός, αφού αυτός συντελεί στη μέγιστη μείωση των ανιονικών τασιενεργών στην έξοδο των συστημάτων επεξεργασίας.



**Σχήμα 4.63:** Ποσοστιαία μείωση LAS ανά σύστημα και στάδιο επεξεργασίας

## 5. Συμπεράσματα

---

### 5.1 Συμπεράσματα από την επεξεργασία γκρίζου νερού

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας δύο διαφορετικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού, μέσω της μέτρησης των ποιοτικών παραμέτρων γκρίζου νερού που αποτελούσε μίγμα των ροών του νιπτήρα, του μπάνιου και του πλυντηρίου ρούχων. Πραγματοποιήθηκαν δύο κύκλοι πειραμάτων. Στον πρώτο κύκλο, το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού αποτελούνταν διαδοχικά από δεξαμενή καθίζησης, φίλτρο άμμου και φίλτρο κοκκώδους ενεργού άνθρακα. Στο δεύτερο κύκλο πειραμάτων, το σύστημα αποτελούνταν διαδοχικά από δεξαμενή κροκιδωσης, όπου χρησιμοποιήθηκε θειικό αργίλιο ( $Al_2(SO_4)_3$ ) ως κροκιδωτικό, δεξαμενή καθίζησης, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά της επεξεργασίας γκρίζου νερού στο σύστημα της Χαρχούση Δ. (2014), το οποίο ήταν όμοιο με αυτό του πρώτου κύκλου πειραμάτων, αλλά επεξεργαζόταν μίγμα λυμάτων που προερχόταν αποκλειστικά από τις ροές του νιπτήρα και του μπάνιου.

Σε ότι αφορά στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα, η απολύμανση είναι απαραίτητη, ώστε να μπορεί να γίνει επαναχρησιμοποίηση του επεξεργασμένου γκρίζου νερού για περιορισμένη άρδευση, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία περί επαναχρησιμοποίησης λυμάτων (ΚΥΑ 145116/2011). Ειδικότερα, από την επεξεργασία σε αυτό το σύστημα, προέκυψε θολότητα 10,9 (NTU) για το 50% των δειγμάτων και συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) 14,4 (mg/L) για το 80% των δειγμάτων, όταν η νομοθεσία δεν θέτει κάποιο όριο για τη θολότητα, ενώ για τα TSS θέτει ως όριο τα 35 (mg/L). Επίσης, η συγκέντρωση ολικού COD ( $COD_t$ ) στην έξοδο του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού είναι 29,7 (mg/L), ενώ η συγκέντρωση διαλυτού COD ( $COD_s$ ) είναι χαμηλότερη από το ανιχνεύσιμο όριο των 15 (mg/L). Σημειώνεται ότι ο ρόλος του κοκκώδους ενεργού άνθρακα είναι ο καθοριστικότερος στο σύστημα για την απομάκρυνση της θολότητας, των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS), πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS), ολικού και διαλυτού COD, ανιονικών τασιενεργών (LAS), εννεύλοφαινόλης (NP), μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης (NP1EO), δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης (NP2EO), δισφαινόλης (TCS) και τρικλοζάνης (BPA).

Το μίγμα λυμάτων που περιέχει και τη ροή του πλυντηρίου ρούχων έχει σημαντικά αυξημένη συγκέντρωση ανιονικών τασιενεργών (LAS) σε σύγκριση με το μίγμα λυμάτων που περιέχει μόνο τις ροές από τον νιπτήρα και το μπάνιο. Πιο συγκεκριμένα, η ροή του πλυντηρίου ρούχων προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης των LAS κατά 36% στα ανεπεξέργαστα λύματα, όταν η συγκέντρωση στο μίγμα γκρίζου νερού από τον νιπτήρα και το μπάνιο είναι 55 (mg/L). Παρόλα αυτά, στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο κοκκώδους ενεργού άνθρακα, δεν υπάρχει ιδιαίτερη διαφορά στα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δύο διαφορετικών τύπων γκρίζου νερού. Αν συγκριθούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του γκρίζου νερού που περιέχει μόνο τις ροές του νιπτήρα και του μπάνιου, με αυτά του γκρίζου νερού που περιέχει και τη ροή του πλυντηρίου ρούχων, διαπιστώνεται ότι στο πρώτο επιτυγχάνεται

μεγαλύτερη μείωση στη συγκέντρωση των υπό ανάλυση ουσιών μέσω του φίλτρου άμμου, με εξαίρεση το διαλυτό COD.

Η επεξεργασία μίγματος λυμάτων που περιέχει τις ροές του νιπτήρα, του μπάνιου και του πλυντηρίου ρούχων, μέσω συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλαμβάνει κροκίδωση με  $Al_2(SO_4)_3$ , καθίζηση, φίλτρανση μέσω άμμου και κοκκώδους ενεργού άνθρακα, καθιστά τα λύματα επαναχρησιμοποιήσιμα για απεριόριστη άρδευση, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία περί επαναχρησιμοποίησης λυμάτων. Έτσι, στην έξοδο του συστήματος, η θολότητα είναι 0,86 (NTU) για το 50% των δειγμάτων, ενώ η νομοθεσία θέτει ως όριο τα 2 (NTU), και η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών είναι 3,36 (mg/L) για το 80% των δειγμάτων, όταν το ανώτερο, κατά τη νομοθεσία, όριο είναι 10 (mg/L). Επιπλέον, με βάση οριακές τιμές που έχουν τεθεί διεθνώς (στην Αυστραλία και σε χώρες της Ασίας), το επεξεργασμένο γκρίζο νερό που προκύπτει από το σύστημα επεξεργασίας με κροκίδωση μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στο καζανάκι, για καθαρισμό της τουαλέτας. Τόσο στην περίπτωση της ελληνικής νομοθεσίας, όσο και στη νομοθεσία άλλων κρατών, απαραίτητη είναι η απολύμανση, προτού τα επεξεργασμένα λύματα διατεθούν προς οποιαδήποτε χρήση. Επιπρόσθετα, οι συγκεντρώσεις του ολικού και διαλυτού COD στην έξοδο του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού είναι χαμηλότερες από το ανιχνεύσιμο όριο των 15 (mg/L). Σε αυτό το σύστημα επεξεργασίας, προκειμένου να ευρευθεί η βέλτιστη δόση κροκιδωτικού, έγινε μια σειρά από jar tests, από τα οποία προέκυψε βέλτιστη συνιστώμενη δόση θειικού αργιλίου 125 (mg/L). Για τη δόση αυτή, για μια τετραμελή οικογένεια που καταναλώνει κατά μέσο άτομο 98,1 (L/άτομο/ημέρα) και για διάλυμα  $Al_2(SO_4)_3$  περιεκτικότητας 46% κ.β. σε θειικό αργίλιο κόστους 160 (€/τόνο), το μέσο ετήσιο κόστος χημικών ανέρχεται σε 6 €. Όσον αφορά στην επεξεργασία του μίγματος γκρίζου νερού, σημειώνεται ότι μέσω του συστήματος κροκίδωσης – διύλισης σε αμμόφιλτρο, επιτυγχάνεται πάνω από 50% απομάκρυνση της θολότητας, των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών (TSS, VSS), του ολικού COD και των ανιονικών τασιενεργών (LAS), εξαιτίας μιας σειράς διεργασιών (αποσταθεροποίησης και συσσωμάτωσης των κολλοειδών στερεών και παγίδευσής τους στο αμμόφιλτρο). Αν και τα επεξεργασμένα λύματα έχουν μικρότερο ρυπαντικό φορτίο, η προσθήκη του σταδίου της κροκίδωσης προκαλεί συχνότερη έμφραξη του φίλτρου άμμου, επομένως απαιτείται πιο συχνή έκπλυση του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού, σε σχέση με το σύστημα που δεν περιελάμβανε το στάδιο της κροκίδωσης.

Τέλος, οι συγκεντρώσεις των μετάλλων σε όλα τα στάδια επεξεργασίας των δύο διαφορετικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού είναι εξαιρετικά χαμηλές σε σχέση με τα όρια που ορίζει η νομοθεσία.

## 5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το σύστημα και να γίνει πιο ευέλικτο ως προς τις διάφορες ροές λυμάτων που ίσως χρειασθεί να επεξεργασθεί, προτείνονται τα παρακάτω θέματα προς διερεύνηση:

(α) έλεγχος αν πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις της νομοθεσίας (όχι μόνο στερεά και θολότητα) για αστική χρήση του επεξεργασμένου γκρίζου νερού, όπως αυτό προέκυψε από το σύστημα επεξεργασίας με κροκίδωση.

- (β) αύξηση του ύψους των φίλτρων
- (γ) απολύμανση στην έξοδο
- (δ) επεξεργασία γκρίζου νερού που περιλαμβάνει λύματα από την κουζίνα
- (ε) χρήση φίλτρων με κοκκομετρική διαβάθμιση

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

---

- Ανδρεαδάκης Α.Δ., *Επεξεργασία Νερού Βασικές Αρχές και Διεργασίες*, Έκδοση Α, 300 σελίδες, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2008
- Ανδρεαδάκης Α.Δ., *Σημειώσεις, Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας και Διάθεσης Αστικών Αποβλήτων*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσιών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 1986
- Αξιομακάρου Μ., *Διερεύνηση της Επίδρασης των Χαρακτηριστικών των Λυμάτων στην Απομάκρυνση Μικροοργανικών Ενώσεων κατά τη Χλωρίωση Επεξεργασμένων Λυμάτων*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013
- Ανδρεαδάκης Α., *Σημειώσεις, Υγειονομική Τεχνολογία, Επεξεργασία Λυμάτων – Βασικές Αρχές και Διεργασίες*, Ακαδημαϊκό έτος 2011-2012
- Θανόπουλος Ι., Κ. Γκούμας, και Π. Δούβλης, Ταξινόμηση αποδοτικότητας έργων εκμετάλλευσης επιφανειακών υδάτων: Εφαρμογή στη Θεσσαλία, Εισήγηση, 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων με Διεθνή Συμμετοχή, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος και Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας, 2008 (<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teelar/EKDILWSEIS/damConference/eisigiseis/4.4.pdf>)
- Κόκκολη Α., *Απομάκρυνση Βαρέων Μετάλλων από Υγρά Απόβλητα και Επίδραση Υποκαταστάτων σε Συνδυασμένες Διεργασίες Προσρόφησης και Διήθησης*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2012
- ΚΥΑ 145116, Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011
- Μιμίκου, Μ.Α., και Ε.Α. Μπαλτάς, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 4, 297 σελίδες, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2006
- Νουτσόπουλος, Κ., *Σημειώσεις του μαθήματος Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Μικρής Κλίμακας*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010
- Ομπετσανοφ Ι., Ι. Κουμαντάκης και Σ. Σταματάκη, Καρστικές Πηγές στην Ελλάδα • Αποτύπωση και Αξιολόγηση με τη Χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών, *Τεχνικά Χρονικά*, Τεύχος 2, 2004 ([http://portal.tee.gr/portal/page/portal/PUBLICATIONS/BYMONTHLY\\_PUBLICATIONS/dimiania\\_2004/pub2/stamatakikoumantakis-obechanof.pdf](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/PUBLICATIONS/BYMONTHLY_PUBLICATIONS/dimiania_2004/pub2/stamatakikoumantakis-obechanof.pdf))
- Πολυμένης Σ.Α., *Οργανική Χημεία για τους μαθητές των λυκείων και τους υποψήφιους των Α.Ε.Ι.*, Αθήνα, 1977
- Χαρχούση Δ., *Χαρακτηρισμός και Επεξεργασία Γκρίζου Νερού*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, 2014
- Abu Ghunmi, L., Zeeman G., Fayyad M., and Van Lier, J., *Grey Water Treatment Systems: A Review*, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2011, (<http://www.tandfonline.com/loi/best20>)



- Ahn, K.-H., Song, J.-H., and Cha, H.-Y., Application of tubular ceramic membranes for reuse of wastewater from buildings, *Water Sci. Technol.*, Volume 38, Issues 4-5, pages 373-382, 1998
- Akunna, J., and Shepherd, W., Comparison of RBC and SBR systems for the treatment of sewage from small communities, *Water and Environmental Journal*, Volume 15, pages 147-151, 2001
- Allen L., Christian-Smith J., & Palaniappan M., Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management, *Pacific Institute*, Oakland, California, 2010 ([http://www.pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2013/02/greywater\\_overview3.pdf](http://www.pacinst.org/wp-content/uploads/sites/21/2013/02/greywater_overview3.pdf))
- Alqam, M., Jamrah, A., Al-Hafith, B., Al-Zubi, R., Al-Shamari, N., Fresh and Hardened Properties of Sustainable Concrete Using Recycled Household Greywater, *Arab J. Sci. Eng.*, Volume 39, pages 1701-1708, 2014
- Antonopoulou, G., Kirkou, A., Stasinakis, A.S, Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods, *Science of the Total Environment*, Volumes 454-455, pages 426-432, 2013
- AWWARF, Residential end uses of water, Denver, CO, USA: American Water Works Association Research Foundation, 1999
- Benetto, E., Nguyen, D., Lohmann, T., Schmitt, B., Schosseler, P., Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment, *Science of The Total Environment*, Volume 407, Issue 5, pages 1506-1516, 2009
- Bino, M. J., Greywater reuse for sustainable water demand management, *Proc. of the International Water Demand Management Conference*, Amman, Jordan, 2004
- Birks, R., Biological Aerated Filters and Membranes for Greywater Treatment, *Msc thesis, Cranfield University*, 1998
- Borin, M., Cossu, R., Lavagnolo, M. C. and Gandini, M., Phytotreatment of greywater with yellow water addition from an aesthetic approach, *Proc. of the International Conference On-Site wastewater treatment and recycling*, Murdoch University, Western Australia, 2004
- Brewer, D., Brown, R., and Stanfield, G., Rainwater and greywater in buildings: project report and case studies, BSRIA Ltd., *Bracknell*, UK, Report 13285/1, 2000
- Casanova, L. M. , Gerba, C.P., Karpiscak, M., Chemical and microbial characterization of household graywater, *Journal of Environmental Science and Health*, Volume A36, Issue 4, pages 395-401, 2001
- Chaillou K., Gerente C., Andres Y. and Wolbert D., Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse, *Water, Air and Soil Pollution*, Volume 215, pages 31-42, 2011
- Christova – Boal, D., R. E. Eden and S. McFarlane, An investigation into greywater reuse for urban residential properties, *Desalination*, Volume 106, Issues 1-3, pages 391-397, 1996

- CMHC (Canada Mortgage and Housing Corporation), Final assessment of conservation Co-op's greywater system, *CHMC, Technical Series 02-100*, Ottawa, Canada, 2002
- Dallas, S., and Ho, G., Subsurface flow reedbeds using alternative media for the treatment of domestic grey water in Monteverde, Costa Rica, Central America, *Water Sci. Technol.*, Volume 51, Issue 10, pages 119-128, 2005
- Dallas, S., and Ho, G., Subsurface flow reedbeds using alternative media for the treatment of domestic grey water in Monteverde, Costa Rica, Central America, *Water Sci. Technol.*, Volume 51, Issue 10, pages 119-128, 2004
- Dallas, S., Scheffe, B., and Ho, G., Reedbeds for greywater treatment – case study in Santa Elene – Monteverde, Costa Rica, Central America, *Ecol. Eng.*, Volume 23, pages 55-61, 2004
- Elmitwalli, T.A. and Otterpohl, R., Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor, *Water Research*, Volume 41, Issue 6, pages 1379-1387, 2007
- Eriksson, E., K. Auffarth, M. Henze and A. Ledin, Characteristics of grey wastewater, *Urban Water*, Volume 4, Issue 1, pages 85-104, 2002
- Errikson E. and Donner, Metals in greywater: Sources, presence and removal efficiencies, *Desalination*, Volume 248, Issues 1-3, pages 271-278, 2009
- Ernst M., Sperlich A., Zheng X., Gan Y., Hu J., Zhao X., Wang J. and Jekel M., An integrated wastewater treatment and reuse concept for the Olympic Park 2008, Beijing, *Desalination*, Volume 202, Issues 1-3, pages 293-301, 2006
- Fittschen, I., and Niemczynowicz, J., Experiences with dry sanitation and greywater treatment in the ecovillage Toarp, *Water Sci. Technol.*, Volume 35, Issue 9, pages 161-170, 1997
- Frazer – Williams, R., Avery, L., Jeffrey, P., Shirley-Smith, C., Liu, S., and Jefferson, B., Constructed wetlands for urban greywater recycling, *Proc. Of the First conference on sustainable urban wastewater treatment and reuse*, Nicosia, Cyprus, 2005
- Friedler E., Quality of Individual Domestic Greywater Streams and its Implication for On-Site Treatment and Reuse Possibilities, *Environmental Technology*, Volume 25, pages 997-1008, 2004
- Friedler, E., Kovalio, R., and Galil, N., On-site grey water treatment and reuse in multi-storey buildings, *Water Sci. Technol.*, Volume 51, Issue 10, pages 187-194, 2005
- Friedler, E., Kovalio, R., and Ben-Zvi, A., Comparative study of the microbiological quality of grey water treated by three on-site treatment systems, *Environmental Technology*, Volume 27, pages 653-663, 2006
- Gardner, T., and Millar, G., The Performance of a Greywater System at the Healthy Home in South East Queensland – Three years of Data, *Proc. of On-site '03 Conference: Future Directions for On-Site Systems, Best Management Practice*, Armidale, Australia, 2003
- Gross A., Wiel-Shafran A., Bondarenko N. and Ronen Z., Reliability of small commercial greywater-treatment systems: a case study, *In Proceedings of the International*

- Conference Protection and Restoration of the Environment VIII*, Chania Crete, page 8, 2006
- Gross, A., Shmueli, O., Ronen, Z., and Raveh, E., Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) – a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households, *Chemosphere*, Volume 66, Issue 5, pages 916-923, 2007
- Gunther, F., Wastewater treatment by greywater separation: outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden, *Ecol. Eng.*, Volume 15, pages 139-146, 2000
- Hernandez, L., Zeeman, G., Temmink, H., and Buisman, C., Characterization and biological treatment of grey water, *Water Sci. Technol.*, Volume 56, pages 193-200, 2007
- Hernandez, L., Zeeman, G., Temmink, H., Marques, A., and Buisman, C., Comparison of three systems for biological grey water treatment, *Paper presented at IWA Conference on Sanitation Challenges*, Wageningen, The Netherlands, 2008
- Holden, B., and Ward, M., An overview of domestic and commercial re-use of water, *Paper presented at the IQPC conference on water recycling an effluent reuse*, Cophthone Effingham Park, London, England, 1999
- Hypes, W., Batten, C. E., and Wilkins, J. R., Processing of combined domestic bath and laundry waste waters for reuse as commode flushing water, *Technical Note D-7937*, NASA, Langley research centre, Hampton, USA, 1975
- Imura, M., Sato, Y., Inamory, Y., and Sudo, R., Development of a high efficiency household biofilm reactor, *Water Sci. Technol.*, Volume 31, Issue 9, pages 163-171, 1995
- Itayama, T., Kiji, M., Suetsugu, A., Tanaka, N., Saito, T., Iwami, N., Mizuochi, M., and Inamori, Y., On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic gray water, *Water Sci. Technol.*, Volume 53, Issue 9, pages 193-201, 2004
- Jamrah A., Al Fytasi A., Prathapan S. and Al Harasi A., Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman, *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 137, Issue 1-3, pages 315-327, 2008
- Jefferson B., Burgess J.E., Pichon A., Harkness J. and Judd S., Nutrinet addition to enhance biological treatment of greywater, *Water Research*, Volume 35, Issue 11, pages 2702-2710, 2001
- Jefferson B., Palmer A., Jeffrey P., Stuetz R. and Judd S., Grey water characterization and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse, *Water Science and Technology*, Volume 50, pages 157-164, 2004
- Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., and Judd, S., Technologies for domestic wastewater recycling, *Urban Water*, Volume 1, pages 285-292, 1999
- Kleven, M., Analysis of greywater heat recovery system in residential building, *Msc thesis, Norwegian University of Science and Technology*, 2012
- Koutsoyiannis, D., *Lecture notes on Water Resources Management - Part 1*, Department of Water Resources, Hydraulic and Maritime Engineering – National Technical University of Athens, 2007 (<http://www.itia.ntua.gr/getfile/762/9/documents/2007WRMWaterAndAgriculture.pdf>)

- Laine, A.T., Technologies for Greywater Recycling in Buildings, *PhD thesis, Cranfield University, 2001*
- Lesjean, B., and Gnirss, R., Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and HRT, *Desalination*, Volume 199, pages 432-434, 2006
- Lettinga, G., van Velsin, A., Hobma, S., De Zeeuw, W., and Klapwijk, A., Use of upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological treatment, especially for anaerobic treatment, *Biotechnology and Bioengineering*, Volume 22, pages 699-734, 1980
- Li, Z., Gulyas, H., Jahn, M., Gajurel, D., and Otterpohl, R., Grey water treatment by constructed wetlands in combination with TiO<sub>2</sub> – based photocatalytic oxidation for suburban and rural areas without sewer system, *Water Sci. Technol.*, Volume 48, Issues 11-12, pages 101-106, 2003
- Lin, C.-J., Lo, S.-L., Kuo, C.-Y., and Wu, C.-H., Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminium electrodes for on-site domestic greywater reuse, *Journal of Environmental Engineering*, Volume 131, Issue 3, pages 491-495, 2005
- Liu, R., Huang, H., Chen, L., Wen, X., and Qian, Y., Operational performance of a submerged membrane bioreactor for reclamation of bath waste water, *Process Biochem*, Volume 40, Issue 1, pages 125-130, 2005
- Llamas, M.R., and Custodio, E., Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities, Dordrecht, Holland, Balkema Publishing Co, page 47, 2003
- Lodge, B., Membrane fouling during domestic water recycling, *EngD thesis, Cranfield University, UK, 2003*
- Magnus Hustad Kleven, Analysis of Grey-water Heat Recovery System in Residential Buildings, *Master Thesis, Analysis of greywater heat recovery system in residential buildings, Norwegian University of Science and Technology, 2012*
- Melin, T., Jefferson, B., Bixio, D., Thoeye, C., De Wilde, W., De Koning, J., Van Der Graaf, J., and Wintgens, T., Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse, *Desalination*, Volume 187, pages 271-282, 2006
- Nghiem, L., Oschmann, N., and Schafer, A., Fouling in grey water recycling by direct ultrafiltration, *Desalination*, Volume 187, Issues 1-3, pages 183-290, 2006
- Nolde, E., Grey water reuse systems for toilet flushing in multistory buildings over ten years experience in Berlin, *Urban Water*, Volume 1, pages 275-284, 1999
- Noutsopoulos C., Mamais D., Mpouras T., Kokkinidou D., Samaras V., Antoniou K., and Gioldasi M., The role of activated carbon and disinfection on the removal of endocrine disrupting chemicals and non-steroidal anti-inflammatory drugs from wastewater, *Environmental Technology*, Volume 35, Issue 6, pages 698-708, 2014
- Olsson, E., Karlgren L., and Tullander V., Household Wastewater, *The Swedish Nation Institute for Building Research, Stockholm, Sweden, 1968*
- Ottoson, J., Stenström, T.A., Faecal contamination of greywater and associated microbial risks, *Water Research*, Volume 37, Issue 3, pages 645–655, 2003

- Palmquist, H., Hanæus, J., Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households, *Science of the Total Environment*, Volume 348, pages 151-163, 2005
- Parsons, S.A., Bedel, C., and Jefferson, B., Chemical vs biological treatment of domestic greywater, *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Gothenburg Symposium on Chemical Treatment*, Istanbul, 2000
- Penn R., Hadari M., Freidler E., Evaluation of the effects of greywater reuse on domestic wastewater quality and quantity, *Urban Water Journal*, Volume 9, Issue 3, pages 137-148, 2012
- Pidou, M., Fayyaz Ali Memon, Tom Stephenson, Bruce Jefferson, Paul Jeffrey, Greywater recycling: A review of Treatment options and applications, *Institution of Civil Engineers. Proceedings. Engineering Sustainability*, Volume 160, pages 119-131, 2007
- Prathapar, S.A., Ahmed, M., Al Adawi, S., and Al Sidiari, S., Design, construction and evaluation of an ablution water treatment unit in Oman : a case study, *International Journal of Environmental Studies*, Volume 63, Issue 3, pages 283-292, 2006
- Ramon, G., Green, M., Semiat, R., and Dosortez, C., Low strength grey water characterization and treatment by direct membrane filtration, *Desalination*, Volume 170, pages 241-250, 2004
- Santala, E., Uotila, J., Zaitsev, G., Alasiurua, R., Tikka, R., and Tengvall, J., Microbiological grey water treatment and recycling in an apartment building, *Proc. Of the 2<sup>nd</sup> International Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*, Milan Italy, 1998
- Schäfer, A.I., Nghiem, L.D., Oschmann N., Bisphenol A retention in the direct ultrafiltration of greywater, *Journal of Membrane Science*, Volume 283, pages 233-243, 2006
- Selcuk H., Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes, *Elsevier*, Volume 64, pages 217-222, 2005
- Schonborn, A., Zust, B., and Underwood, E., Long term performance of the sand-plant-filter Schattweid (Switzerland), *Water Sci. Technol.*, Volume 35, Issue 5, pages 307-314, 1997
- Shin, H., Lee, S., Seo, S., Kim, G., Lim, K., and Song, J., Pilot-scale SBR and MF operation for the removal of organic compounds from grey water, *Water Sci. Technol.*, Volume 38, Issue 6, pages 79-88, 1998
- Shretha, R., Haberl, R., and Laber, J., Constructed wetlands technology transfer to Nepal, *Water Sci. Technol.*, Volume 43, pages 345-350, 2001(a)
- Shretha, R., Haberl, R., and Laber, J., Manandhar, R., and Mader, J., Application of constructed wetlands for wastewater treatment in Nepal, *Water Sci. Technol.*, Volume 44, pages 381-386, 2001(b)
- Sostar-Turk, S., Ptrinic, I., and Simonic, M., Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 44, Issue 2, pages 185-196, 2005
- Tajima A., The behavior of the pathogenic microbes in the treated wastewater reuse system and the establishment of the new technical standard for the reuse of treated

wastewater, *Proceedings of the IWA Specialty Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability*, 2005

Vinneras B., Palmquist H., Balmer P. and Johnsson H., The characteristics of household and biodegradable solid waste – A proposal for new Swedish design values, *Urban Water Journal*, Volume 3, Issue 1, pages 3-11

Ward, M., Treatment of domestic greywater using biological and membrane separation techniques, *PhD thesis, Cranfield University*, 2000

Winward, G., Avery, L., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., and Jefferson, B., A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse, *Ecological Engineering*, Volume 32, pages 187-197, 2008

Zeeman, G., Kujawa, K., de Mes, T., Hernandez, L., de Graff, M., Abu Ghunmi, L., Mels, A., Meulman, B., Temmink, H., Buisman, C., van Lier, J., and Lettinga, G., Anaerobic treatment as a core technology for energy, nutrients and water recovery from source-separated domestic waste (water), *Water Sci. Technol.*, Volume 57, pages 1207-1212, 2008

*Ιστοσελίδες*

[das.utah.gov](http://das.utah.gov)

[www.aqua2use.com](http://www.aqua2use.com)

[www.azdeq.gov](http://www.azdeq.gov)

[www.dep.state.fl.us](http://www.dep.state.fl.us)

[www.dwc-water.com](http://www.dwc-water.com)

[www.ecoplay.nl](http://www.ecoplay.nl)

[www.enviro-friendly.com](http://www.enviro-friendly.com)

[www.fbr.de](http://www.fbr.de) ([http://www.fbr.de/fileadmin/user\\_upload/files/Englische\\_Seite/H201\\_fbr-information\\_Sheet\\_Greywater-Recycling\\_neu.pdf](http://www.fbr.de/fileadmin/user_upload/files/Englische_Seite/H201_fbr-information_Sheet_Greywater-Recycling_neu.pdf))

[www.greyter.com](http://www.greyter.com)

[www.hansgrohe.com](http://www.hansgrohe.com)

[www.hcd.ca.gov](http://www.hcd.ca.gov)

[www.hc-sc.gc.ca](http://www.hc-sc.gc.ca)

[www.mlsi.gov.cy](http://www.mlsi.gov.cy) ([http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/2F9CC737D53852A8C2257AC40052B6DB/\\$file/Nikelio%20&%20Kadmio.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dli.nsf/All/2F9CC737D53852A8C2257AC40052B6DB/$file/Nikelio%20&%20Kadmio.pdf))

[www.nuvaleproducts.com](http://www.nuvaleproducts.com)

[www.oregon.gov](http://www.oregon.gov)

[www.pub.gov.sg](http://www.pub.gov.sg)

[www.public.health.wa.gov.au/](http://www.public.health.wa.gov.au/) (Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia)

[www.statistics.gr \(http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A0802/PressReleases/A0802\\_SFA10\\_DT\\_AN\\_00\\_2011\\_08\\_F\\_GR.pdf\)](http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/A0802/PressReleases/A0802_SFA10_DT_AN_00_2011_08_F_GR.pdf)

[www.yourhome.gov.au \(http://www.yourhome.gov.au/water/wastewater-reuse\)](http://www.yourhome.gov.au/water/wastewater-reuse)

[www.watersavertech.com](http://www.watersavertech.com)