



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ – ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

*Εργαστηριακή προσομοίωση επεξεργασίας γκρίζου νερού μέσω
κροκίδωσης και δύλισης σε φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα*

Μεταπτυχιακή εργασία : Γαλάνη Ανδριανή

Επιβλέπων : Νουτσόπουλος Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ – ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

*Εργαστηριακή προσομοίωση επεξεργασίας γκρίζου νερού μέσω
κροκίδωσης και διύλισης σε φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα*

Μεταπτυχιακή εργασία : Γαλάνη Ανδριανή

Επιβλέπων : Νουτσόπουλος Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής 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 © Γαλάνη Ανδριανή, 2015.

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 αυτή την εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου, στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για την αμέριστη βοήθεια και υποστήριξη του, καθώς και τη συνεχή θεωρητική και πρακτική του καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Κουρή για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στο πειραματικό κομμάτι της εργασίας και την πραγματοποίηση των αναλύσεων των βαρέων μετάλλων, καθώς και τον κ. Ιωάννη Μαντζιάρα, για τις συμβουλές του σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας και την πραγματοποίηση των jar test. Ευχαριστώ θερμά τις υποψήφιες διδάκτορες Ελένη Κουμάκη και Κορνηλία Αντωνίου, για τη διεξαγωγή των αναλύσεων με στόχο τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των μικροοργανικών ενώσεων και του BOD₅ αντίστοιχα. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τη Μενδρινού Παναγιώτα που μου έδωσε τις πρώτες κατευθυντήριες γραμμές για τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού και τις αναλύσεις των δειγμάτων. Ευχαριστώ επίσης όλους τους εργαζόμενους στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας για το άριστο κλίμα συνεργασίας και τη βοήθειά τους.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου για τη συνεχή στήριξη που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα.

Περίληψη

Κύριο αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός φυσικοχημικού συστήματος γκρίζου νερού αποτελούμενου κατά σειρά από μονάδες κροκίδωσης, καθίζησης, και διύλισης σε φίλτρο άμμου και ενεργού άνθρακα. Ως γκρίζο νερό χαρακτηρίζονται τα οικιακά υγρά απόβλητα, με την εξαίρεση της ροής που καταλήγει στην τουαλέτα, η οποία ονομάζεται μαύρο νερό. Συνεπώς, το γκρίζο νερό περιέχει ροές από το μπάνιο, το νιπτήρα, το πλυντήριο ρούχων και την κουζίνα, αν και σε αρκετές βιβλιογραφικές πηγές τα λύματα από την κουζίνα εξαιρούνται λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε λίπη, έλαια και οργανικές ενώσεις.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4 κύκλοι πειραμάτων. Στους πρώτους 3 κύκλους, το σύστημα αποτελούνταν από δεξαμενή κροκίδωσης, δεξαμενή καθίζησης, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα, ενώ χρησιμοποιήθηκαν μείγματα γκρίζου νερού διαφορετικής σύστασης. Στον 4^ο κύκλο πειραμάτων, αφαιρέθηκε η δεξαμενή καθίζησης και πραγματοποιούνταν απευθείας διύλιση του κροκιδωμένου μείγματος γκρίζου νερού σε φίλτρο άμμου και στη συνέχεια σε φίλτρο ενεργού άνθρακα. Σημειώνεται ότι το κροκιδωτικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το θειικό αργίλιο ($Al_2(SO_4)_3$). Οι παράμετροι που εξετάστηκαν σε κάθε στάδιο επεξεργασίας ήταν ορισμένα ποιοτικά και χημικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού και συγκεκριμένα η θολότητα, η αγωγιμότητα, τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (TSS και VSS αντίστοιχα), το pH, το ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (CODt και CODs αντίστοιχα) και οι ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS). Επίσης, μετρήθηκαν και οι συγκεντρώσεις ορισμένων μικροοργανικών ενώσεων και συγκεκριμένα της εννεύλοφαινόλης (NP), της μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης (NP1EO), της δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης (NP2EO), της δισφαινόλης (BPA) και της τρικλοζάνης (TCS). Τέλος, έγινε υπολογισμός της παραγόμενης ιλύος του κάθε συστήματος και καταγραφή της συχνότητας έκπλυσης των φίλτρων.

Στον 1^ο πειραματικό κύκλο, έγινε επεξεργασία μείγματος γκρίζου νερού με ροές από το νιπτήρα, τη μπανιέρα και το πλυντήριο ρούχων. Στο 2^ο και 3^ο κύκλο, στο παραπάνω μείγμα προστέθηκε και η ροή της κουζίνας (με διαφορετική αναλογία στο καθένα), ενώ στον 4^ο, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα της απευθείας διύλισης με επεξεργαζόμενο μείγμα αυτό του

2^ο κύκλου. Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα πειράματα, διαπιστώθηκε ότι και οι τελικές εκροές των εξεταζόμενων συστημάτων πληρούν τις προϋποθέσεις για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, καθώς και για περιαστική και αστική χρήση, σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 145116/2011, αφού πρώτα υποστούν περαιτέρω επεξεργασία σε σύστημα απολύμανσης. Σημειώνεται επίσης ότι η ποιότητα τους είναι κατάλληλη και για οικιακή χρήση (π.χ. στο καζανάκι της τουαλέτας), σύμφωνα με τη διεθνή νομοθεσία.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για αυτά τα συστήματα συγκρίθηκαν με αποτελέσματα προγενέστερων συστημάτων, στα οποία δε γινόταν κροκίδωση. Από τη σύγκριση αυτή, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η κροκίδωση αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για τη μείωση της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερού, ανεξάρτητα από το αν το επόμενο στάδιο επεξεργασίας είναι η καθίζηση ή η διύλιση μέσω φίλτρων. Όσον αφορά και στις δύο μορφές του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) (σωματιδιακό και διαλυτό), στα συστήματα χωρίς κροκίδωση, μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στην απομάκρυνσή του έχει ο ενεργός άνθρακας (GAC). Αντιθέτως, στα υπόλοιπα εξεταζόμενα συστήματα, το σωματιδιακό COD απομακρύνεται κυρίως μέσω της καθίζησης. Παρόμοιο συμπέρασμα εξάχθηκε και για την απομάκρυνση των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS). Σημειώνεται επίσης, ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου γκρίζου νερού των συστημάτων χωρίς κροκίδωση, το καθιστούν κατάλληλο μόνο για περιορισμένη άρδευση.

Η σύγκριση των συστημάτων ως προς την παραγωγή ιλύος και τη συχνότητα έκπλυσης των φίλτρων έδειξε ότι με την προσθήκη της ροής του πλυντηρίου ρούχων και κυρίως της κουζίνας, αυξάνεται η ημερήσια παραγόμενη ιλύς, καθώς και το ποσοστό των πτητικών αιωρούμενων στερεών (VSS) σε αυτή. Επίσης, αυξάνεται και η συχνότητα έμφραξης του φίλτρου της άμμου, με αποτέλεσμα να απαιτούνται σημαντικές ποσότητες νερού για την έκπλυση του. Ταυτόχρονα, η προσθήκη της κουζίνας επιβαρύνει ιδιαίτερα και το φίλτρο του ενεργού άνθρακα, με αποτέλεσμα να απαιτείται συχνή αντικατάστασή του και να αυξάνεται το λειτουργικό κόστος του συστήματος.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκε και χαρακτηρισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών δειγμάτων γκρίζου νερού προερχόμενων από τα υγρά απόβλητα της

χρήσης πλυντηρίου πιάτων, καθώς και δειγμάτων γκρίζου νερού από μια οικία στην Κρήτη. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων φάνηκε ότι η ροή του πλυντηρίου πιάτων έχει υψηλή αγωγιμότητα, σημαντική περιεκτικότητα σε φώσφορο (εξαιτίας των απορρυπαντικών που χρησιμοποιούνται) και υψηλή συγκέντρωση σε ολικά διαλυτά στερεά (TS), καθώς και ιδιαίτερα βασικό pH. Το μεικτό γκρίζο νερό είχε σημαντικές συγκεντρώσεις σε αμμωνιακό άζωτο και σε ορισμένα βαρέα μέταλλα, η παρουσία των οποίων οφείλεται πιθανότατα στα υλικά σωληνώσεων της οικίας από την οποία προήλθαν τα δείγματα.

Abstract

The main object of this master thesis was the evaluation of the effectiveness of a complex (physical and chemical) greywater treatment system, that consisted of four consecutive stages : coagulation, settling and filtration through sand and activated carbon. The term greywater refers to the household wastewater, with the exclusion of the wastewater which ends up in the toilet and is characterized as blackwater. Therefore, greywater is a mixture of wastewater which is produced in bathtubs, showers, hand basins, laundry machines, dishwashers and kitchen sinks, although in several bibliography sources the kitchen sink wastewater is excluded because of its high concentrations of organic load, fat and grease.

For the above stated purpose, four experimental cycles were carried out in total. In the first three, the system included a coagulation tank, a settling tank and sand and activated carbon filters. In the 4th cycle, the settling was removed and the coagulated greywater was directly filtrated. It has to be added that Alum ($Al_2(SO_4)_3$) was the flocculation agent that was used. The parameters that were determined in every treatment stage were some general quantitative and chemical characteristics such as conductivity, turbidity, total suspended solids (TSS) and volatile suspended solids (VSS), total COD (COD_t), soluble COD (COD_s), anionic surfactants (LAS) and pH. The concentration of some endocrine disrupting chemicals was also determined such as nonylphenol (NP), nonylphenol monoethoxylates (NP1EO), nonylphenol diethoxylates (NP2EO), triclosan (TCS) and bisphanol-A (BPA). The daily amount of the produced sludge and the frequency of the washing of the filters were also recorded.

In the 1st cycle of experiments, the mixture of greywater for treatment consisted of wastewater that had been produced in hand basins, bathtubs and laundry machines. In the next two cycles, the greywater that was treated was the above stated mixture with the inclusion of the kitchen sink wastewater (in different ratios). In the 4th cycle, the system of the direct filtration was used and the mixture of greywater for treatment was the same as in the 2nd cycle. The results showed that the treated effluent of these systems was in accordance with Greece's legislation for wastewater reuse (K.Y.A. 145116/2011) and could be used for

restricted and unrestricted irrigation, as well as for urban use. However, these systems were unable to remove the pathogens found in them and a disinfection stage is mandatory.

The results from these experiments were compared with the results from previous greywater treatment systems that did not have a coagulation stage. From this comparison it is concluded that coagulation of the greywater can remove more efficiently the suspended solids and turbidity from the greywater, regardless of whether the next stage is settling or filtration. In the systems that did not include a coagulation stage, both forms of COD (particulate and soluble) were mainly removed because of the GAC filter. It has to be noted that the treated effluent from these systems can only be reused in restricted irrigation, as stated in the greek legislation for wastewater reuse. In contrast, in all the other systems that were examined, the particulate COD was mostly removed with settling, as was the case with the anionic surfactants (LAS).

The comparison between the systems concerning the sludge production and the frequency of the sandfilter washing showed that with the inclusion of the wastewater from the laundry machine and mainly from the kitchen sink, the daily sludge production is increased, as well as the percentage of the VSS in it. Moreover, the frequency of the clogging of the sandfilter is also increased which leads to the use of substantial amounts of water for its washing. At the same time, the inclusion of the kitchen sink wastewater heavily impacts the activated carbon filter and in effect, the demand for its replacement is frequent.

A secondary objective of this thesis was the characterization of the quality of the grey water that is generated in a dish washing machine and in a household in Crete. The analyses showed that the untreated dishwashing greywater is rich in total diluted solids (TS) and phosphorus and has high conductivity and ph. This is the result of the type of the detergents used. The mixed greywater had a substantial concentration of ammonium and several heavy metals that probably originate from the materials of the pipes in that residence.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	iii
Περίληψη	iv
Abstract	vii
Κατάλογος πινάκων	xiii
Κατάλογος σχημάτων	xvii
1. Εισαγωγή	1
2. Γκρίζο νερό (ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά - συστήματα επεξεργασίας - νομοθεσία)	3
2.1 Ποσοτικά χαρακτηριστικά	3
2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά	6
2.2.1 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά	6
2.2.2 Χημικά χαρακτηριστικά	9
2.2.3 Μικροβιολογικές παράμετροι (δείκτες παθογένειας)	18
2.3 Συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού	20
2.3.1 Απλές μέθοδοι επεξεργασίας	20
2.3.2 Φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας	21

2.3.3	Βιολογικές μέθοδοι.....	21
2.3.4	Εκτεταμένα συστήματα	22
2.3.5	Χημικά συστήματα	22
2.4	Επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού	23
3.	Πειραματικό πρωτόκολλο και εργαστηριακές μέθοδοι.....	30
3.1	Περιγραφή του εργαστηριακού συστήματος επεξεργασίας του γκρίζου νερού	30
3.1.1	Σύσταση των προς επεξεργασία λυμάτων	30
3.1.2	Περιγραφή του συστήματος επεξεργασίας.....	31
3.1.3	Περιγραφή 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	34
3.1.4	Περιγραφή 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	35
3.1.5	Περιγραφή 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	35
3.1.6	Περιγραφή 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	35
3.2	Πειραματικό πρωτόκολλο της διαδικασίας των jar test και της κροκίδωσης.....	36
3.3	Εργαστηριακές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων	37
3.3.1	Προσδιορισμός στερεών (TS, TSS, VSS)	37
3.3.2	Προσδιορισμός χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD)	39

3.3.3	Προσδιορισμός βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD ₅)	40
3.3.4	Προσδιορισμός ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS)	40
3.3.5	Προσδιορισμός θολότητας, pH και αγωγιμότητας	41
3.3.6	Προσδιορισμός μικροοργανικών ενώσεων	41
3.3.7	Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων	43
3.3.8	Προσδιορισμός αμμωνιακού (NH ₄ -N), νιτρικού (NO ₃ -N) και νιτρώδους (NO ₂ -N) αζώτου	44
3.3.9	Προσδιορισμός ολικού κατά Kjeldahl αζώτου (TKN)	45
3.3.10	Προσδιορισμός ολικού (TP) και διαλυτού (PO ₄ -P) φωσφόρου	45
4.	Παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων	47
4.1	Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των jar test	47
4.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	49
4.3	Παρουσίαση αποτελεσμάτων 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	61
4.4	Παρουσίαση αποτελεσμάτων 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	73
4.5	Παρουσίαση αποτελεσμάτων 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	85
4.6	Σύγκριση συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού	98
4.6.1	Αγωγιμότητα	99

4.6.2	Θολότητα	101
4.6.3	Ολικά αιωρούμενα και πτητικά στερεά (TSS και VSS αντίστοιχα).....	104
4.6.4	Ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD _t και COD _s αντίστοιχα).....	111
4.6.5	Ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS).....	118
4.6.6	pH.....	122
4.6.7	Παραγόμενη ιλύς	124
4.6.8	Συχνότητα έκπλυσης φίλτρων	125
4.6.9	Σύγκριση των αποτελεσμάτων των συστημάτων με τα ελληνικά νομοθετικά όρια	126
4.7	Χαρακτηρισμός γκρίζου νερού από πλυντήριο πιάτων και ποικίλες πηγές.....	127
5.	Συμπεράσματα.....	136
	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	140

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1 Μέση παροχή γκρίζου νερού και μεικτών λυμάτων στη βιβλιογραφία.....	4
Πίνακας 2.2 Επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού	5
Πίνακας 2.3 Επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού από το νιπτήρα και το νεροχύτη	5
Πίνακας 2.4 Κυριότεροι ρύποι στο γκρίζο νερό ανάλογα με τη ροή (Schafer et al., 2006)	6
Πίνακας 2.5 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)	7
Πίνακας 2.6 Χημικές ιδιότητες ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)	12
Πίνακας 2.7 Χημικές ιδιότητες ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση) (συνέχεια).....	14
Πίνακας 2.8 Βαρέα μέταλλα στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό (μέση τιμή±τυπική απόκλιση)	16
Πίνακας 2.9 Μικροοργανικές ενώσεις στο ανεπεξέργαστο μικτό γκρίζο νερό (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)	17
Πίνακας 2.10 Μικροβιολογικές παράμετροι στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό	19
Πίνακας 2.11 Φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές παράμετροι για την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού στη Γερμανία (www.fbr.com)	24
Πίνακας 2.12 Όρια στις Η.Π.Α. για την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού στο αστικό περιβάλλον (www.epa.gov)	25

Πίνακας 2.13 Όρια για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού σε διάφορες χώρες (Pidou et al., 2007)	26
Πίνακας 2.14 Επιτρεπόμενες χρήσεις και όρια ποιοτικών παραμέτρων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116)	28
Πίνακας 2.15 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116)	29
Πίνακας 3.1 Ποσοστά συμμετοχής κάθε ροής στο οικιακό γκρίζο νερό	30
Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά στηλών	32
Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά άμμου	32
Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά ενεργού άνθρακα	32
Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα jar test	48
Πίνακας 4.2 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στον 1 ^ο πειραματικό κύκλο	49
Πίνακας 4.3 Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού στα στάδια Α και Δ του συστήματος του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	54
Πίνακας 4.4 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 1 ^ο κύκλο πειραμάτων	60
Πίνακας 4.5 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στο 2 ^ο πειραματικό κύκλο	61

Πίνακας 4.6 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 2 ^ο κύκλο πειραμάτων	72
Πίνακας 4.7 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στον 3 ^ο πειραματικό κύκλο	73
Πίνακας 4.8 Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού στα στάδια Α και Δ του συστήματος του 3ου κύκλου πειραμάτων.....	78
Πίνακας 4.9 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 3 ^ο κύκλο πειραμάτων	84
Πίνακας 4.10 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στον 4 ^ο πειραματικό κύκλο	85
Πίνακας 4.11 Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού στα στάδια Α και Δ του συστήματος του 4ου κύκλου πειραμάτων.....	91
Πίνακας 4.12 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 4 ^ο κύκλο πειραμάτων	97
Πίνακας 4.13 Ημερήσια παραγωγή ιλύος στα εξεταζόμενα φυσικοχημικά συστήματα.....	124
Πίνακας 4.14 Συγκέντρωση ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στην ιλύ των εξεταζόμενων φυσικοχημικών συστημάτων.....	125
Πίνακας 4.15 Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων σε σχέση με τη συχνότητα έκπλυσης των φίλτρων λόγω υπερχειλίσης.....	126
Πίνακας 4.16 Σύγκριση ορίων νομοθεσίας για απεριόριστη άρδευση και εκροής εξεταζόμενων συστημάτων.....	127

Πίνακας 4.17 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά διαφόρων ροών γκρίζου νερού	127
Πίνακας 4.18 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μεμονωμένων ροών γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d).....	128
Πίνακας 4.19 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε διάφορες ροές του γκρίζου νερού	129
Πίνακας 4.20 Βαρέα μέταλλα στο μεικτό γκρίζο νερό σε μονάδες βάρους (μg ή mg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d).....	129
Πίνακας 4.21 Χημικές ιδιότητες μεμονωμένων ροών γκρίζου νερού.....	131
Πίνακας 4.22 Χημικές ιδιότητες μεμονωμένων ροών γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (mg ή g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)	132
Πίνακας 4.23 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μεικτού γκρίζου νερού.....	133
Πίνακας 4.24 Βαρέα μέταλλα στο μεικτό γκρίζο νερό.....	134
Πίνακας 4.25 Χημικές ιδιότητες μεικτού γκρίζου νερού	135

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 3.1 Εγκατάσταση επεξεργασίας γκρίζου νερού (Πάνω αριστερά : δεξαμενή καθίζησης· Πάνω κέντρο : φίλτρο άμμου· Πάνω δεξιά : φίλτρο ενεργού άνθρακα· Κάτω κέντρο : δεξαμενή κροκίδωσης.....	31
Σχήμα 3.2 Έξοδος συστήματος επεξεργασίας	34
Σχήμα 3.3 Συσκευή jar test	36
Σχήμα 3.4 Προσδιορισμός στερεών : φούρνος 103 °C, ξηραντήρας, φούρνος 550 °C και ζυγός ακριβείας (από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω)	38
Σχήμα 3.5 Προσδιορισμός COD : συσκευή αντλίας κενού, χωνευτής, φασματοφωτόμετρο, αντιδραστήρια (από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω)	39
Σχήμα 3.6 Αντιδραστήρια προσδιορισμού ανιονικών τασιενεργών της Hach.....	40
Σχήμα 3.7 Θολόμετρο, pH-μετρο και αγωγιμόμετρο	41
Σχήμα 3.8 Αέριος χρωματογράφος Agilent 7890A συζευγμένος με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C.....	43
Σχήμα 3.9 Φούρνος γραφίτη AAS Perkin Elmer 3110/HGA600 και AAS φλόγας Perkin Elmer Analyst 200 (από αριστερά προς τα δεξιά).....	44
Σχήμα 3.10 Αντιδραστήρια της Hach για τη μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου (αριστερά) και του νιτρικού αζώτου (δεξιά)	45
Σχήμα 4.1 Βέλτιστη και οικονομικά βέλτιστη δόση κροκιδωτικού (Μενδρινού Π., 2014)....	48
Σχήμα 4.2 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων ..	50

Σχήμα 4.3 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	50
Σχήμα 4.4 Μέση τιμή των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων .	51
Σχήμα 4.5 Μέση τιμή των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων .	51
Σχήμα 4.6 Μέση τιμή του ολικού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	52
Σχήμα 4.7 Μέση τιμή του διαλυτού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	52
Σχήμα 4.8 Μέση τιμή των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων .	53
Σχήμα 4.9 Μέση τιμή pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	53
Σχήμα 4.10 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	55
Σχήμα 4.11 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	55
Σχήμα 4.12 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	56
Σχήμα 4.13 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	56
Σχήμα 4.14 COD _t ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	57

Σχήμα 4.15 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	57
Σχήμα 4.16 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	58
Σχήμα 4.17 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	58
Σχήμα 4.18 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (1 ^{ος} κύκλος πειραμάτων)	59
Σχήμα 4.19 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	62
Σχήμα 4.20 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	63
Σχήμα 4.21 Μέση τιμή των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	63
Σχήμα 4.22 Μέση τιμή των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	64
Σχήμα 4.23 Μέση τιμή του COD _t για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	64
Σχήμα 4.24 Μέση τιμή του CODs για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	65
Σχήμα 4.25 Μέση τιμή των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων	65
Σχήμα 4.26 Μέση τιμή του pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων ..	66

Σχήμα 4.27 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	67
Σχήμα 4.28 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	67
Σχήμα 4.29 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	68
Σχήμα 4.30 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	68
Σχήμα 4.31 CODt ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	69
Σχήμα 4.32 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	69
Σχήμα 4.33 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	70
Σχήμα 4.34 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	70
Σχήμα 4.35 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (2 ^{ος} κύκλος πειραμάτων).....	71
Σχήμα 4.36 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου.....	74
Σχήμα 4.37 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου.....	74
Σχήμα 4.38 Μέση τιμή των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου.....	75

Σχήμα 4.39 Μέση τιμή των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου	75
Σχήμα 4.40 Μέση τιμή του CODt για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου	76
Σχήμα 4.41 Μέση τιμή του CODs για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου.....	76
Σχήμα 4.42 Μέση τιμή των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου.....	77
Σχήμα 4.43 Μέση τιμή του pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3 ^{ου} κύκλου	77
Σχήμα 4.44 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	78
Σχήμα 4.45 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	79
Σχήμα 4.46 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	79
Σχήμα 4.47 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	80
Σχήμα 4.48 CODt ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	80
Σχήμα 4.49 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	81
Σχήμα 4.50 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	81

Σχήμα 4.51 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	82
Σχήμα 4.52 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (3 ^{ος} κύκλος πειραμάτων).....	82
Σχήμα 4.53 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου	86
Σχήμα 4.54 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου	87
Σχήμα 4.55 Μέση τιμή pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου.....	87
Σχήμα 4.56 Μέση τιμή TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου.....	88
Σχήμα 4.57 Μέση τιμή VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου	88
Σχήμα 4.58 Μέση τιμή CODt για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου.....	89
Σχήμα 4.59 Μέση τιμή CODs για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου	90
Σχήμα 4.60 Μέση τιμή LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4 ^{ου} κύκλου.....	90
Σχήμα 4.61 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (4 ^{ος} κύκλος πειραμάτων).....	92
Σχήμα 4.62 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	92
Σχήμα 4.63 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων).....	93

Σχήμα 4.64 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	93
Σχήμα 4.65 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	94
Σχήμα 4.66 CODt ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	94
Σχήμα 4.67 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	95
Σχήμα 4.68 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	95
Σχήμα 4.69 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4 ^{ου} κύκλου πειραμάτων)	96
Σχήμα 4.70 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Α.....	99
Σχήμα 4.71 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Β	100
Σχήμα 4.72 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Γ	100
Σχήμα 4.73 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Δ	100
Σχήμα 4.74 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Α	101

Σχήμα 4.75 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Β.....	102
Σχήμα 4.76 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Γ	102
Σχήμα 4.77 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Δ.....	102
Σχήμα 4.78 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση της θολότητας .	103
Σχήμα 4.79 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση της θολότητας.....	103
Σχήμα 4.80 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Α.....	105
Σχήμα 4.81 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Β	105
Σχήμα 4.82 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Γ	106
Σχήμα 4.83 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Δ	106
Σχήμα 4.84 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση των TSS.....	107
Σχήμα 4.85 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση των TSS.....	107

Σχήμα 4.86 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο Α	108
Σχήμα 4.87 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο Β.....	108
Σχήμα 4.88 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο Γ	109
Σχήμα 4.89 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο Δ.....	109
Σχήμα 4.90 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση των VSS	110
Σχήμα 4.91 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση των VSS	110
Σχήμα 4.92 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο Α	112
Σχήμα 4.93 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο Α.....	112
Σχήμα 4.94 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο Β	113
Σχήμα 4.95 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο Β.....	113
Σχήμα 4.96 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο Γ	114

Σχήμα 4.97 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο Γ	114
Σχήμα 4.98 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο Δ	115
Σχήμα 4.99 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο Δ	115
Σχήμα 4.100 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση του CODt	116
Σχήμα 4.101 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση του CODs	117
Σχήμα 4.102 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση του CODt.....	117
Σχήμα 4.103 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση του CODs	118
Σχήμα 4.104 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα LAS στο σημείο Α	119
Σχήμα 4.105 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα LAS στο σημείο Β	119
Σχήμα 4.106 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα LAS στο σημείο Γ.....	120
Σχήμα 4.107 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα LAS στο σημείο Δ	120
Σχήμα 4.108 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση των LAS	121

Σχήμα 4.109 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση των LAS	121
Σχήμα 4.110 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το pH στο σημείο Α.....	122
Σχήμα 4.111 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το pH στο σημείο Β.....	123
Σχήμα 4.112 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το pH στο σημείο Γ	123
Σχήμα 4.113 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το pH στο σημείο Δ.....	124
Σχήμα 4.114 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε ροής στο οικιακό γκρίζο νερό	130

1. Εισαγωγή

Το νερό αποτελεί τον σημαντικότερο φυσικό πόρο για τη διατήρηση της ζωής. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχει παρουσιαστεί μια σημαντική μείωση της διαθέσιμης ποσότητας του, κυρίως λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Συνεπώς, υπάρχει μια αυξανόμενη απαίτηση για την εύρεση εναλλακτικών πηγών νερού σε χρήσεις που δεν απαιτούν την ποιότητα του πόσιμου, με σημαντικότερη την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων για αγροτική, βιομηχανική ή/και αστική χρήση.

Τα υγρά αστικά απόβλητα διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : το «μαύρο νερό», δηλαδή τα λύματα από τη λεκάνη της τουαλέτας και το «γκρίζο νερό», τα λύματα δηλαδή, που προέρχονται από τη μπανιέρα, το νιπτήρα, το πλυντήριο ρούχων, το νεροχύτη και το πλυντήριο πιάτων, αν και οι δύο τελευταίες ροές συχνά εξαιρούνται λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε λίπη και έλαια (Eriksson et al., 2002).

Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη βαρύτητα έχει δοθεί στην ανακύκλωση κυρίως του γκριζου νερού, καθώς έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε παθογόνους ρύπους (Eriksson et al, 2001), με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνολογίες, που έχουν ως στόχο τη βελτιστοποίηση της επεξεργασίας του.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε, σε πρώτο στάδιο, η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας επεξεργασίας μείγματος γκριζου νερού που προέρχεται από την μπανιέρα, το πλυντήριο ρούχων και το νιπτήρα, με κροκίδωση, καθίζηση και διύλιση από φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα. Το ίδιο σύστημα χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την επεξεργασία μείγματος γκριζου νερού που περιείχε περίπου το 30% και το 100% της ποσότητας γκριζου νερού που προέρχεται από το νεροχύτη της κουζίνας. Το μίγμα με το 1/3 της συνολικής ποσότητας της κουζίνας υπέστη επεξεργασία και με ένα σύστημα κροκίδωσης και απευθείας διύλισης από φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα. Τέλος, πραγματοποιήθηκε χαρακτηρισμός γκριζου νερού προερχόμενου από πλυντήριο πιάτων, καθώς και λυμάτων από την είσοδο ενός εγκατεστημένου οικιακού συστήματος γκριζου νερού. Για τον προσδιορισμό της απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου μετά από κάθε στάδιο επεξεργασίας

πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις που αφορούσαν ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού.

Οι αναλύσεις αυτές, όπως και τα πειράματα επεξεργασίας, πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει τα παρακάτω κεφάλαια :

1. Το παρόν κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας
2. Το κεφάλαιο 2, στο οποίο γίνεται βιβλιογραφική αναφορά στα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού, καθώς και σε συστήματα επεξεργασίας του. Τέλος, αναφέρεται το θεσμικό πλαίσιο επαναχρησιμοποίησης του στην Ελλάδα και διεθνώς.
3. Το κεφάλαιο 3, στο οποίο περιγράφονται τα συστήματα επεξεργασίας του γκρίζου νερού που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραμάτων, καθώς και οι εργαστηριακές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού.
4. Το κεφάλαιο 4, που περιλαμβάνει όλα τα αποτελέσματα των τεσσάρων πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με αυτές παλαιότερων πειραματικών εργασιών για το γκρίζο νερό. Επιπροσθέτως, περιλαμβάνει και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το χαρακτηρισμό δειγμάτων από πλυντήριο πιάτων, καθώς και από μια οικία, στην οποία υπάρχει ήδη ένα εγκατεστημένο βιολογικό σύστημα επεξεργασίας.
5. Το κεφάλαιο 5, που περιλαμβάνει τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των πειραμάτων και τη σύγκριση των συστημάτων.

2. Γκρίζο νερό (ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά - συστήματα επεξεργασίας - νομοθεσία)

2.1 Ποσοτικά χαρακτηριστικά

Στη βιβλιογραφία, αναφέρεται ότι το γκρίζο νερό αποτελεί το 60 – 80% των οικιακών αστικών αποβλήτων (Antonopoulou et al, 2013), με τη μεγαλύτερη ποσότητα να προέρχεται από τη μπανιέρα και το νεροχύτη. Το ποσοστό αυτό μεταβάλλεται συνεχώς και εξαρτάται κυρίως από την εποχή και την κοινωνικοπολιτική κατάσταση της κάθε περιοχής.

Το γκρίζο νερό έχει τις ακόλουθες πηγές :

- Νιπτήρας (πλύσιμο χεριών, πλύσιμο δοντιών, ξύρισμα)
- Μπανιέρα
- Πλυντήριο ρούχων
- Κουζίνα (πλύσιμο πιάτων, πλύσιμο φρούτων και λαχανικών, προετοιμασία φαγητού, πλύσιμο χεριών)
- Πλυντήριο πιάτων

Το γκρίζο νερό που προέρχεται από τη μπανιέρα και το νιπτήρα χαρακτηρίζεται και ως ασθενές γκρίζο νερό, διότι είναι το λιγότερο βεβαρυσμένο σε ρυπαντικό φορτίο και αποτελεί περίπου το 60% του συνολικού γκρίζου νερού. Για αυτό το λόγο άλλωστε είναι και το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο σε εφαρμογές.

Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται ορισμένα βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με την περιεκτικότητα των μεικτών λυμάτων σε γκρίζο νερό, καθώς και με τη μέση ημερήσια παραγωγή γκρίζου νερού σε λίτρα ανά ισοδύναμο κάτοικο.

Στον πίνακα 2.2 καταγράφεται η συνεισφορά κάθε πηγής γκρίζου νερού στη συνολική παροχή και σημειώνεται και η χώρα που πραγματοποιήθηκε το πείραμα για λόγους σύγκρισης. Από τις μελέτες των Χαρχούση Δ. (2014) και Antonopoulou et al. (2013) προκύπτει ότι ακόμα και μέσα στην ίδια χώρα, τα ποσοστά κάθε ροής στο γκρίζο νερό

μπορεί να μεταβάλλονται ανάλογα με την εποχή και την πόλη. Τα αποτελέσματα των μελετών στο Ισραήλ και στο Ομάν είναι παρόμοια με αυτά των Antonopoulou et al (2013), όπου πρώτη ροή είναι η μπανιέρα και ακολουθεί ο νεροχύτης. Αντιθέτως, στις Η.Π.Α., η ροή με τη μεγαλύτερη συνεισφορά είναι το πλυντήριο ρούχων και ακολουθεί ο νιπτήρας.

Στον πίνακα 2.3 γίνεται μια παρουσίαση της επιμέρους σύστασης των ροών που αποτελούν το γκρίζο νερό του νεροχύτη και του νιπτήρα. Τα δεδομένα αυτά προέκυψαν από τη διπλωματική της Χαρχούση Δ. (2014).

Πίνακας 2.1 Μέση παροχή γκρίζου νερού και μεικτών λυμάτων στη βιβλιογραφία

Αναφορά	Γκρίζο νερό (L/p/d)	Μικτά λύματα (L/p/d)	Ποσοστό γκρίζου νερού στα μικτά λύματα
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%
Friedler et al. (2011)	100,4	138,1	-
Χαρχούση Δ. (2014)	98,1 ± 29,5	135 ± 31,6	73%
AWWARF (1999)	185	239	77%
www.yourhome.gov.au	101	121	84%

Πίνακας 2.2 Επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού

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

Πίνακας 2.3 Επιμέρους σύσταση του γκρίζου νερού από το νιπτήρα και το νεροχύτη

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

2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά

2.2.1 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά

Στα γενικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού περιλαμβάνονται οι ακόλουθες παράμετροι :

- Στερεά (ολικά (TS), ολικά αιωρούμενα (TSS) και πτητικά αιωρούμενα (VSS))
- Θολότητα
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα

ενώ, ανάλογα με τη προέλευσή του, στο γκρίζο νερό μπορούν να βρεθούν και οι ρύποι που περιλαμβάνονται στον πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4 Κυριότεροι ρύποι στο γκρίζο νερό ανάλογα με τη ροή (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

Η παρουσία στερεών στο γκρίζο νερό μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη άμμου και αργίλου από τα ρούχα ή από το πλύσιμο φρούτων και λαχανικών (Eriksson et al, 2002), καθώς και σε ζεόλιθο από τα απορρυπαντικά. Η θολότητα οφείλεται στην παρουσία ανόργανων και οργανικών κολλοειδών στερεών, μέσα στους οποίους συμπεριλαμβάνονται και μικροοργανισμοί, ενώ η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται στην παρουσία ιόντων (Ανδρεαδάκης Α.,2008).

Στον πίνακα 2.5 καταγράφονται βιβλιογραφικά στοιχεία σχετικά με τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού ως μείγμα, αλλά και των επιμέρους πηγών του.

Πίνακας 2.5 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστου γκριζου νερού (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Πηγή γκριζου	Αναφορά	TS (mg/L)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Θολότητα (NTU)
Μπανιέρα	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)	-	89,0 ± 113	-	-	-
	Friedler et al. (2004)	1 090 ± 440	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	-	-
Κουζίνα	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 – 1300)	-	-	298
	Friedler et al. (2004)	1 272 ± 1020	625 ± 518	459 ± 370	-	-
Τύπου Α	Χαρχούση Δ. (2014)	649 ± 151	168 ± 70,3	155 ± 63,4	-	-
	Antonopoulou et al. (2013)	2 209 ± 1 067	542 ± 179	-	1958 ± 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	-
Ποικίλες πηγές	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 – 1140)	(22 – >200)

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

2.2.2 Χημικά χαρακτηριστικά

Στα χημικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού περιλαμβάνονται παράμετροι όπως : το pH, το χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD), το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅), τα ανιονικά τασιενεργά (LAS), ο ολικός φώσφορος (TP), το αμμωνιακό άζωτο (NH₄-N), το ολικό άζωτο (TN) και το ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN). Στις χημικές ενώσεις που μπορεί να βρεθούν στο γκρίζο νερό περιλαμβάνονται επίσης, βαρέα μέταλλα, και μικροοργανικές ενώσεις (ενδοκρινικοί διαταράκτες).

Στο γκρίζο νερό, το pH είναι αρκετά αλκαλικό και κυμαίνεται από 5,9-10, με τις χαμηλότερες τιμές να εμφανίζονται στη ροή του πλυντηρίου ρούχων λόγω της σύστασης των απορρυπαντικών (Li et al, 2009). Σημειώνεται, ότι η τιμή του pH στο γκρίζο νερό επηρεάζεται και από το pH του νερού στο δίκτυο.

Τα ανιονικά τασιενεργά (LAS) είναι χημικές συνθετικές ουσίες, οι οποίες μπορούν να μειώσουν την επιφανειακή τάση των υγρών και χρησιμοποιούνται σε καθαριστικά για τη δέσμευση των λιπών και τη δημιουργία αφρού.

Σύμφωνα με αρκετές βιβλιογραφικές πηγές (Metcalf and Eddy, 1991, Franta et al., 1994, Beardsley and Coffey, 1985), η περιεκτικότητα του γκρίζου νερού σε άζωτο και φώσφορο είναι μικρή, και μάλιστα κυμαίνεται σε παρόμοιες συγκεντρώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι η μεγαλύτερη ποσότητα αμμωνίας απομακρύνεται στην τουαλέτα, ενώ ο φώσφορος βρίσκεται κυρίως στα απορρυπαντικά πλυντηρίου ρούχων.

Στα βαρέα μέταλλα που μπορούν να βρεθούν στο γκρίζο νερό περιλαμβάνονται :

- το κάδμιο (Cd)
- ο μόλυβδος (Pb)
- το χρώμιο (Cr)
- το νικέλιο (Ni)
- ο υδράργυρος (Hg)
- ο ψευδάργυρος (Zn)

- και ο χαλκός (Cu)

Οι πιθανές πηγές προέλευσης τους μπορεί να είναι οι σωλήνες ύδρευσης, σερβίτσια, κοσμήματα, νομίσματα, ακόμα και σφραγίσματα δοντιών (Eriksson et Donner, 2009) και σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό. Πιο συγκεκριμένα, το κάδμιο έχει χαρακτηριστεί ως καρκινογόνο και συσσωρεύεται στα νεφρά. Ο μόλυβδος προκαλεί βλάβες στον εγκέφαλο και στο νευρομυϊκό, κυκλοφορικό και πεπτικό σύστημα. Το τρισθενές χρώμιο επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, όπως δερματικά εξανθήματα, ενώ το εξασθενές έχει κατηγορηθεί ακόμα και για καρκινογενέσεις. Το νικέλιο έχει διαπιστωμένη καρκινογόνο δράση, ενώ ο υδράργυρος έχει την τάση να συσσωρεύεται στα ερυθρά αιμοσφαίρια και στο νευρικό σύστημα και να προσβάλλει εκλεκτικά τα νευρικά κύτταρα και τα νεφρά (Ανδρεαδάκης Α., 2008).

Οι ενδοκρινικοί διαταράκτες είναι ουσίες, οι οποίες μιμούμενες τις ανθρώπινες ορμόνες, παρεμβαίνουν στο ορμονικό σύστημα προκαλώντας το φαινόμενο της ορμονικής διαταραχής και πληθώρα προβλημάτων που σχετίζονται με νεοπλασίες, καρκίνους, καθώς και συγγενείς ανωμαλίες στα έμβρυα κατά τη διάρκεια της κύησης (www2.keelpno.gr). Στις σημαντικότερες από αυτές περιλαμβάνονται :

- η εννεύλοφαινόλη (NP)
- η τρικλοζάνη (TCS)
- η βισφαινόλη (BPA)
- η μονο - αιθοξυλιωμένη εννεύλοφαινόλη (NP1EO)
- η δι - αιθοξυλιωμένη εννεύλοφαινόλη (NP2EO)

Η εννεύλοφαινόλη (NP) είναι μια χημική ένωση που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, στο εμπόριο και σε οικιακές εφαρμογές, όπως τα απορρυπαντικά, οι γαλακτωματοποιητές και οι διαλυματοποιητές. Είναι αποκλειστικά αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας και είναι υπεύθυνη για την εμφάνιση καρκίνου του μαστού, την τροποποίηση του κυτταρικού κύκλου και την πρόκληση χρωμοσωματικών ανωμαλιών (Αξιομακάρου, 2013). Η τρικλοζάνη (TCS) χρησιμοποιείται για περισσότερο από 40 χρόνια ως αντισηπτικό, απολυμαντικό ή συντηρητικό σε διάφορα καταναλωτικά προϊόντα, όπως

καλλυντικά, προϊόντα καθαρισμού οικιακής χρήσης, παιχνίδια και βαφές. Επίσης ενσωματώνεται στην επιφάνεια ιατρικών συσκευών, σε πλαστικά υλικά, σε κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, σε σκεύη κουζίνας κ.λπ, από τα οποία μπορεί να εκλύεται αργά για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της χρήσης τους. Συνδέεται με την εμφάνιση καρκίνου του προστάτη, αναπτυξιακές ανωμαλίες και τοξικότητα στο ήπαρ (Αξιομακάρου Μ., 2013). Η βισφαινόλη (BPA) χρησιμοποιείται ως συστατικό για την παραγωγή πολυκαρβονικών πλαστικών (μπουκάλια νερού, σπιτικά ηλεκτρονικά, κλπ), εποξικών ρητινών, οδοντιατρικών σφραγισμάτων, ακόμα και χαρτιού. Χαρακτηρίζεται ως μια αρκετά τοξική ουσία για τους οργανισμούς (Αξιομακάρου Μ., 2013). Η μονο - αιθοξυλιωμένη εννεϋλοφαινόλη (NP1EO) και η δι - αιθοξυλιωμένη εννεϋλοφαινόλη (NP2EO) είναι τοξικές και λιποφιλικές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ως επιφανειοδραστικές ουσίες στα απορρυπαντικά, στις μπογιές, στα φυτοφάρμακα, στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα, σε προϊόντα προσωπικής φροντίδας, καθώς και σε απορρυπαντικά.

Πίνακας 2.6 Χημικές ιδιότητες ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Πηγή γκρίζου νερού	Αναφορά	pH	COD _t (mg/L)	COD _s (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)
Μπανιέρα	Χαρχούση Δ. (2014)	7,49 ± 0,17	390 ± 125	193 ± 113	263 ± 83,9
	Antonopoulou et al. (2013)	7,22 ± 0,14	399 ± 183	174 ± 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 ± 0,29	367 ± 246	-	-
	Friedler et al. (2004)	7,14 ± 0,04	230 ± 195	165 ± 105	424 ± 219
Πλυντήριο ρούχων	Χαρχούση Δ. (2014)	8,19 ± 0,76	2 072 ± 1 401	1 165 ± 920	1 363 ± 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 ± 0,25	427 ± 192	272 ± 203	305 ± 129
	Antonopoulou et al. (2013)	7,07 ± 0,25	335 ± 207	153 ± 122	-
	Jefferson et al. (2004)	7,32 ± 0,27	587 ± 379	-	-
	Friedler et al. (2004)	7,00 ± 0,30	386 ± 230	270 ± 173	205 ± 42,5

	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	-
Κουζίνα	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
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
Ποικίλες πηγές	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)

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

Πίνακας 2.7 Χημικές ιδιότητες ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση) (συνέχεια)

Πηγή γκρίζου νερού	Αναφορά	TP (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	TKN (mg/L)	TN (mg/L)	LAS (mg/L)
Μπανιέρα	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 – 7,0)	-
	Li et al. (2009)	(0,10 - >48,8)	-	-	(3,60 – 9,4)	-
	Friedler et al. (2004)	-	0,89 ± 1,49	-	-	-
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 – 1,0)	-
	Li et al. (2009)	(ND – 171)	-	-	(1,10 – 0,3)	-
	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	-	-	-
	Friedler et al. (2004)	-	0,39 ± 0,29	-	-	-

Κουζίνα	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	-	-	-
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	-
Ποικίλες πηγές	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 – 5,4)	(2,10 – 31,5)	-	-

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

Πίνακας 2.8 Βαρέα μέταλλα στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό (μέση τιμή±τυπική απόκλιση)

Πηγή γκρίζου νερού	Αναφορά	Cd (µg/L)	Pb (µg/L)	Cr (µg/L)	Ni (µg/L)	Hg (µg/L)	Zn (mg/L)	Cu (µg/L)
Μπανιέρα	Χαρχούση Δ. (2014)	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	-	0,078 ± 0,069	35 ± 47
Πλυντήριο ρούχων	Χαρχούση Δ. (2014)	<0,15	3,9 ± 3,3	7,3 ± 7,1	<5,0	-	0,20 ± 0,16	43 ± 29
Νιπτήρας	Χαρχούση Δ. (2014)	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	-	-	-
Νεροχύτης	Χαρχούση Δ. (2014)	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	-	0,091 ± 0,071	27 ± 27
Τύπου Α	Χαρχούση Δ. (2014)	<0,15	<2,5	2,6 ± 1,5	<5,0	-	0,092 ± 0,034	29 ± 26
Τύπου Β	Χαρχούση Δ. (2014)	<0,15	<2,5	2,7 ± 1,8	<5,0	-	0,095 ± 0,030	30 ± 28
Τύπου Γ	Χαρχούση Δ. (2014)	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	-	0,070 ± 0,0059	27 ± 35
Ποικίλες πηγές	Palmquist & Hanaeus (2005)	(0,016 – 0,16)	(2,14 – 3,14)	(2,06 – 5,46)	(4,45 – 28,1)	0,022*	(0,055 – 0,078)	(47 – 70,2)

Πίνακας 2.9 Μικροοργανικές ενώσεις στο ανεπεξέργαστο μικτό γκρίζο νερό (μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Πηγή γκρίζου νερού	Αναφορά	NP (µg/L)	NP1EO (µg/L)	NP2EO (µg/L)	TCS (µg/L)	BPA (µg/L)
Μπανιέρα	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
Νεροχύτης	Χαρχούση Δ. (2014)	15,2 ± 18,5	1,46 ± 2,03	1,30 ± 2,84	0,0885 ± 0,0970	0,0974 ± 0,124
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
Ποικίλες πηγές	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)	-

2.2.3 Μικροβιολογικές παράμετροι (δείκτες παθογένειας)

Οι μικροβιολογικές παράμετροι είναι ενδεικτικές δυνητικών ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό και σχετίζονται συνήθως με συγκεκριμένα βακτηρίδια, ιούς και πρωτόζωα. Αυτοί οι παθογόνοι μικροοργανισμοί δεν είναι αυτόχθονοι στο φυσικό υδάτινο περιβάλλον, αλλά εισάγονται κυρίως με τα περιττώματα ζώων και ανθρώπων (Ανδρεαδάκης Α., 2008) και προκαλούν ασθένειες, όπως χολέρα, γαστροεντερίτιδες, δυσεντερία και κρυπτοσποριδίαση. Όσον αφορά το γκρίζο νερό, παθογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να βρεθούν σε όλες τις ροές του και προέρχονται από την προσωπική υγιεινή και τα ωμά τρόφιμα και συνεπώς, κρίνεται αναγκαίος ένας συστηματικός έλεγχος της παθογένειας του, ο οποίος όμως είναι ανέφικτος να πραγματοποιηθεί για κάθε μικροοργανισμό. Άρα, επιλέγονται ορισμένοι μικροοργανισμοί που είναι εύκολα μετρήσιμοι και γνωρίζουμε ότι σχετίζονται με την παρουσία άλλων παθογόνων. Η νομοθεσία για το γκρίζο νερό εξετάζει συνήθως τους παρακάτω :

- Total Coliforms
- E. Coli
- Εντερόκοκκοι

Στον Πίνακα 2.10 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις αυτών στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό.

Πίνακας 2.10 Μικροβιολογικές παράμετροι στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό

Πηγή γκρίζου νερού	Αναφορά	Μονάδες	Total Coliforms	E. Coli	Εντερόκοκκοι
Πλυντήριο ρούχων	Christova-Boal et al. (1996)	MPN / 100 mL	$(2,3 \cdot 10^3 - 3,3 \cdot 10^5)$	-	$(110 - 1,09 \cdot 10^3)$
Νεροχύτης	Li et al. (2009)	CFU / 100 mL	$>2,4 \cdot 10^8$	-	-
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	$(6,6 \cdot 10^5 - 2,10 \cdot 10^8)$	-	$(3,2 \cdot 10^3 - 8,56 \cdot 10^6)$

2.3 Συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Οι πρώτες προσπάθειες για επεξεργασία του γκρίζου νερού ξεκίνησαν σύμφωνα με τους Pidou et al. (2007) κατά τη δεκαετία του 1970 και αφορούσαν κυρίως επεξεργασία με φυσικές μεθόδους και απολύμανση. Τις επόμενες δεκαετίες άρχισε η διερεύνηση βιολογικών μεθόδων, όπως οι αεριζόμενοι βιοαντιδραστήρες.

Οι μέθοδοι επεξεργασίας μπορούν να διαχωριστούν, ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας, στις εξής 5 κατηγορίες :

- Απλές, όπως χονδροειδής διήθηση και απολύμανση
- Φυσικές μέθοδοι, όπως διήθηση με φίλτρο άμμου, προσρόφηση και μεμβράνες
- Βιολογικές μέθοδοι, δηλαδή επεξεργασία με αερόβια φίλτρα, συστήματα βιολογικών δίσκων, αντιδραστήρες σταθερής κλίνης, αναερόβια φίλτρα, συστήματα διακοπτόμενης λειτουργίας (SBR) και βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR).
- Εκτεταμένα συστήματα
- Χημικά συστήματα, όπως φωτοκατάλυση, κροκίδωση ή ηλεκτροκροκίδωση.

2.3.1 Απλές μέθοδοι επεξεργασίας

Οι απλές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του γκρίζου νερού είναι συνήθως συστήματα δύο σταδίων που βασίζονται σε χονδροειδή διήθηση ή καθίζηση για την απομάκρυνση των μεγαλύτερων στερεών και απολύμανση. Οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως στην επεξεργασία ασθενών λυμάτων (όπως το μπάνιο και ο νιπτήρας), διότι δεν μπορούν να απομακρύνουν σε ικανοποιητικό βαθμό τα οργανικά και στερεά. Για αυτό το λόγο η επαναχρησιμοποίηση του απλά επεξεργασμένου γκρίζου νερού γίνεται στο καζανάκι της τουαλέτας και στο πότισμα του κήπου (Pidou et al, 2007).

2.3.2 Φυσικές μέθοδοι επεξεργασίας

Τα φυσικά συστήματα διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες : στα φίλτρα και στις μεμβράνες.

Τα φίλτρα άμμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνα τους (Itayama et al, 2004), ή σε συνδυασμό με απολύμανση ή με ενεργό άνθρακα και απολύμανση (Hypes et al., 1975). Αν χρησιμοποιηθούν ως μοναδικός τρόπος επεξεργασίας, μπορούν να επιτύχουν μόνο μια χονδροειδή διήθηση του γκρίζου νερού, η οποία δεν ανταποκρίνεται σε κανένα από τα θεσπισμένα όρια για την επαναχρησιμοποίηση. Αντιθέτως, η επεξεργασία με μεμβράνες προσφέρει περιορισμένη απομάκρυνση των οργανικών, αλλά εξαιρετική των αιωρούμενων στερεών και της θολότητας, ενώ η εκροή είναι κατάλληλη για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση (Pidou et al., 2007). Πρέπει επίσης, να σημειωθεί ότι το μέγεθος των πόρων των μεμβρανών παίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας, με μελέτες να έχουν δείξει ότι αυτές με τους μικρότερους πόρους επιτυγχάνουν καλύτερη απομάκρυνση των στερεών και του COD (Ramon et al., 2004). Βασικό πρόβλημα της λειτουργίας τους αποτελεί η έμφραξη τους (η συχνότητα της οποίας αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση των οργανικών (Nghiem et al., 2006)), η οποία επηρεάζει το λειτουργικό τους κόστος.

2.3.3 Βιολογικές μέθοδοι

Για τη βιολογική επεξεργασία του γκρίζου νερού, μια πολύ ευρεία γκάμα συστημάτων έχει χρησιμοποιηθεί όπως, βιολογικοί περιστρεφόμενοι δίσκοι, αναερόβια φίλτρα, συστήματα εναλλασσόμενης λειτουργίας (SBR), βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR) και αερόβια βιολογικά φίλτρα (BAF). Τα βιολογικά συστήματα σπανίως χρησιμοποιούνται ως η μοναδική μέθοδος επεξεργασίας (λόγω προβλημάτων συχνής έμφραξης των φίλτρων και των μεμβρανών) και συνήθως συνδυάζονται με κάποιο φυσικό σύστημα, όπως φίλτρο άμμου, ενεργό άνθρακα, τεχνητό υγροβιότοπο και ακολουθούνται από απολύμανση. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές, όλα τα συστήματα που είχαν τουλάχιστον ένα βιολογικό στάδιο επεξεργασίας, επιτύγχαναν εξαιρετική απομάκρυνση οργανικών και στερεών. Ταυτόχρονα, μείωναν τη θολότητα κάτω από 8 NTU, ενώ εάν το σύστημα περιλάμβανε και μεμβράνες, η τελική εκροή δεν χρειαζόταν απολύμανση.

Ωστόσο, παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε πιλοτικό επίπεδο, στην πράξη, οι απότομες μεταβολές του ρυπαντικού φορτίου και της ροής στην είσοδο του συστήματος, η εισροή τοξικών, για τη βιομάζα, προϊόντων (χλωρίνη, καυστική σόδα, αρωματικές ύλες, απορρυπαντικά, κλπ) και οι διακοπές στον αερισμό, προκαλούν προβλήματα στην επεξεργασία (Jefferson et al., 1999). Τέλος, αν και οι πληροφορίες σχετικά με το κόστος λειτουργίας τέτοιων συστημάτων είναι περιορισμένες, φαίνεται ότι τα οικονομικά οφέλη δεν επαρκούν για να καλύψουν τα λειτουργικά έξοδα (Brewer et al., 2000).

2.3.4 Εκτεταμένα συστήματα

Τα εκτεταμένα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού αναφέρονται κυρίως σε τεχνητούς υγροβιότοπους, όπως οι καλαμιώνες. Πριν την επεξεργασία σε αυτούς, προηγείται συνήθως ένα στάδιο καθίζησης για την απομάκρυνση των μεγαλύτερων σωματιδίων και ένα στάδιο διύλισης σε φίλτρο άμμου. Το πιο συνηθισμένο είδος φυτού που χρησιμοποιείται σε υδροβιότοπους είναι το *Phragmites australis*, αν και οι μελέτες δείχνουν ότι το είδος του φυτού δεν επηρεάζει ιδιαίτερα την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας (Pidou et al, 2007). Σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές, φαίνεται ότι οι τεχνητοί υγροβιότοποι μπορούν να επιτύχουν καλή απομάκρυνση του BOD, της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών, αλλά δεν προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι είναι ίσως η πιο περιβαλλοντικά φιλική μέθοδος, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί μια φτηνή λύση, αφού έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος (Dallas et al, 2004, Shrestha et al, 2001).

2.3.5 Χημικά συστήματα

Στα χημικά συστήματα περιλαμβάνονται μέθοδοι, οι οποίες βασίζονται στη χρήση κροκιδωτικών (θειικό αργίλιο, τριχλωριούχος σίδηρος, πολυηλεκτρολύτες), στην ιοντοανταλλαγή, στην ηλεκτροκροκίδωση και στην προσρόφηση με ενεργό άνθρακα (Pidou et al., 2007). Τα συστήματα αυτά συνήθως συνδυάζονται με φυσικές διεργασίες και είναι αρκετά αποτελεσματικά στην απομάκρυνση θολότητας, στερεών, μικροοργανισμών και ολικού BOD. Σε πειράματα που πραγματοποίησαν οι Antonopoulou et al. (2011) σε γκρίζο νερό από όλες τις ροές με στόχο τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας διάφορων κροκιδωτικών, φάνηκε ότι το θειικό αργίλιο ($Al_2(SO_4)_3$) είναι αποτελεσματικότερο στην

απομάκρυνση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) και του ολικού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) σε σχέση με τις ίδιες δόσεις τριχλωριούχου σιδήρου (FeCl_3). Πολύ καλά αποτελέσματα στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών, του COD, του BOD, καθώς και της θολότητας φαίνεται ότι έχει και η ηλεκτροκροκίδωση σε συνδυασμό με απολύμανση (Lin et al., 2005).

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, γίνεται σαφές ότι σε οικιακό επίπεδο η εγκατάσταση εκτεταμένων και βιολογικών συστημάτων δεν είναι κατάλληλη, καθώς τα μεν πρώτα καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις, ενώ τα δεύτερα δεν είναι δυνατόν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά εξαιτίας κυρίως των τοξικών για τους μικροοργανισμούς ουσιών που περιέχονται στα προϊόντα οικιακής χρήσης και τις σημαντικές διακυμάνσεις στην παροχή εισόδου. Ταυτόχρονα, ακατάλληλες κρίνονται και μέθοδοι όπως η ηλεκτροκροκίδωση, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν από άτομα με εξειδίκευση. Συνεπώς, φαίνεται ότι σε οικιακό επίπεδο, κατάλληλα είναι τα συστήματα που αποτελούν συνδυασμό σταδίων από τις απλές, τις φυσικές και τις απλούστερες χημικές μεθόδους (π.χ. χρήση κροκιδωτικού ή φίλτρου ενεργού άνθρακα).

2.4 Επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού

Το γκρίζο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για ποικίλους σκοπούς, οι οποίοι όμως εξαρτώνται από το αν το νερό αυτό είναι επεξεργασμένο ή όχι, καθώς και από το είδος και την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας. Μερικοί από αυτούς τους σκοπούς αναφέρονται παρακάτω :

- Άρδευση και πότισμα κήπων
- Υγειονομική χρήση (καζανάκι τουαλέτας)
- Πλύσιμο ρούχων
- Παραγωγή τσιμέντου
- Εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων
- Ανάπτυξη υγροβιότοπων
- Κατάσβεση πυρκαγιών
- Πλύσιμο αυτοκινήτων, παραθύρων ή/και οδών

Κανένας παγκόσμιος κανονισμός δεν έχει εκδοθεί που να ορίζει συγκεκριμένα και αυστηρά όρια σχετικά με την ποιότητα του γκρίζου νερού για επαναχρησιμοποίηση. Ωστόσο, αρκετές χώρες έχουν εκδώσει οδηγίες που ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες, με την Γερμανία και αρκετές πολιτείες στην Αμερική να αποτελούν τις κινητήριες δυνάμεις στην επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού.

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ανανέωσε το 2006 τις παλιότερες οδηγίες του 1973 και 1989 για να συμπεριλάβει και το γκρίζο νερό στην επαναχρησιμοποίηση των αστικών υγρών αποβλήτων. Το πλαίσιο αυτό στοχεύει στη μείωση των κινδύνων που εγκυμονεί η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση, θέτοντας περιορισμούς στους τύπους των αρδευόμενων καλλιεργειών, στις μεθόδους επεξεργασίας, καθώς και στα μέτρα προστασίας που οφείλουν να χρησιμοποιούν οι άνθρωποι.

Στην Ευρώπη, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η Γερμανία αποτελεί μια από τις ελάχιστες χώρες που έχει θεσπίσει οδηγίες σχετικά με την επεξεργασία του γκρίζου νερού (www.fbr.com), οι οποίες προτείνουν διάφορες μεθόδους επεξεργασίας που εξαρτώνται από τον τύπο της επαναχρησιμοποίησης : περιορισμένη ή απεριόριστη χρήση. Αναφέρεται επίσης, ότι οι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι είναι οι βιολογικές, όταν χρησιμοποιούνται με φυσικές διεργασίες (Nolde, 2005). Στον Πίνακα 2.11 παρουσιάζονται ορισμένα όρια που αφορούν όλες τις χρήσεις, εκτός από την πόση.

Πίνακας 2.11 Φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές παράμετροι για την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού στη Γερμανία (www.fbr.com)

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

Στις Η.Π.Α., αρκετές από τις πολιτείες, με βασικότερες τις Καλιφόρνια, Φλόριδα, Όρεγκον και Χαβάη, έχουν υιοθετήσει την πρακτική της ανακύκλωσης του γκρίζου νερού με ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, στη Φλόριδα, σύμφωνα με τον οικοδομικό κανονισμό της (Florida Building Code, 2009), η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού επιτρέπεται μόνο για χρήση στο καζανάκι της τουαλέτας. Επίσης, το γκρίζο νερό πρέπει να έχει υποστεί φίλτρανση και απολύμανση (χλώριο, ιώδιο, όζον ή ακόμα και UV). Τέλος, πρέπει να χρησιμοποιηθεί μέσα σε 72 h από τη συλλογή του (www.dep.state.fl.us). Ο κανονισμός της Καλιφόρνιας (www.hcd.ca.gov) διακρίνει τα συστήματα γκρίζου νερού σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση των ροών προς επεξεργασία και ορίζει ταυτόχρονα τη δυναμικότητα κάθε συστήματος, που μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 250 gpd. Το Τέξας και το Νέο Μεξικό ακολουθούν παρόμοιες οδηγίες με την Καλιφόρνια. Στην Αριζόνα, ορίζονται τρία συστήματα ανάλογα με τη δυναμικότητά τους : α) μέχρι 400 gpd, β) από 400 έως 3000 gpd και γ) περισσότερα από 3000 gpd. Το γκρίζο νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρέπει να προέρχεται μόνο από τη μπανιέρα, το νιπτήρα και το πλυντήριο ρούχων (www.azdeq.gov). Το Όρεγκον (www.deq.state.or.us) αναγνωρίζει τρεις τύπους γκρίζου νερού, που αφορούν το βαθμό επεξεργασίας του, και συνεπώς, και τον τρόπο διάθεσης του. Γενικά, στις Η.Π.Α., η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (E.P.A.) έχει θεσπίσει ορισμένα όρια για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού στο αστικό περιβάλλον.

Πίνακας 2.12 Όρια στις Η.Π.Α. για την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού στο αστικό περιβάλλον (www.epa.gov)

Επεξεργασία	pH	BOD ₅ (mg/L)	Θολότητα (NTU)	Faecal Coliforms (CFU/100m)	Υπολειμματικό Χλώριο (mg/L)
Δευτεροβάθμια, Δύλιση, Απολύμανση	6-9	≤ 10	≤ 2	Μη ανιχνεύσιμα	1

Στον Καναδά, υπάρχει οδηγία η οποία θέτει συγκεκριμένα μικροβιολογικά όρια για την προστασία των χρηστών. Σημειώνεται, ότι η επαναχρησιμοποίηση αφορά μόνο τη χρήση στο καζανάκι της τουαλέτας (www.hc-sc.gc.ca).

Ανακύκλωση γκρίζου νερού πραγματοποιείται και στην Αυστραλία από το 1993. Οι οδηγίες συστήνουν η επαναχρησιμοποίηση μη επεξεργασμένου γκρίζου νερού να γίνεται μόνο για υπεδάφια άρδευση και σε μη βρώσιμα φυτά και σε αυτό να μην περιλαμβάνεται η ροή από την κουζίνα (www.water.nsw.gov.au).

Στην Ασία, πρωτοπορεί η Σιγκαπούρη, η οποία όμως δεν ανακυκλώνει μόνο το γκρίζο νερό, αλλά όλα τα οικιακά αστικά λύματα, για να μπορέσει να καλύψει ένα μέρος των αναγκών της σε πόσιμο νερό. Η επεξεργασία που γίνεται περιλαμβάνει τη χρήση μεμβρανών και απομακρύνει όλους τους πιθανούς ρύπους και παθογόνους μικροοργανισμούς, ακόμα και τους ιούς (www.pub.gov.sg). Στον Πίνακα 2.13 αναγράφονται κάποια όρια για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού σε διάφορες χώρες του κόσμου (Pidou et al, 2007).

Πίνακας 2.13 Όρια για επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού σε διάφορες χώρες (Pidou et al., 2007)

Χώρα	Εφαρμογή	Παράμετροι				
		BOD ₅ (mg/L)	TSS (mg/L)	Θολότητα (NTU)	F. coliforms*	T. coliforms*
Καλιφόρνια, ΗΠΑ	Απεριόριστη χρήση	-	-	2 μέση τιμή < 5	-	μέση 2,2 23 < σε 30d
Φλόριδα, ΗΠΑ	Απεριόριστη χρήση	20	5	-	< 25	-
Αυστραλία	Πότισμα κήπου	20	30	-	-	100
Καναδάς	Απεριόριστη αστική χρήση	10	5	2	2,2	-
Ισραήλ	Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	10	10	-	< 1	-

Κανάριες Νήσοι, Ισπανία	Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	10	3	2	-	2,2
-------------------------------	-------------------------------	----	---	---	---	-----

*(cfu.100/mL)

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο που να αναφέρεται στην επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού συγκεκριμένα. Ωστόσο, το Μάρτιο του 2011 δημοσιεύτηκε στην Εφημερίδα της Κυβέρνησης (ΦΕΚ 354/Β/2011, Κ.Υ.Α. 145116) η απόφαση που αφορά στην επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, στα οποία μπορεί να ενταχθεί και το γκρίζο νερό. Στο πεδίο εφαρμογής της εντάσσονται οι εξής περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης :

- γεωργική χρήση (άρδευση)
- τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων
- αστική και περιαστική χρήση
- βιομηχανική χρήση

ενώ, απαγορεύεται η επαναχρησιμοποίηση για χρήσεις κολύμβησης (πισίνες), οικιακές χρήσεις και για άμεση ή έμμεση πόση (με εξαίρεση ορισμένες περιπτώσεις έμμεσης τέτοιας επαναχρησιμοποίησης). Στον Πίνακα 2.14, φαίνονται τα όρια που πρέπει να ικανοποιούνται ανάλογα με τον τύπο της επαναχρησιμοποίησης.

Η περιορισμένη άρδευση αφορά καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Ο καταιονισμός απαγορεύεται ως σύστημα άρδευσης, το ίδιο και η πρόσβαση του κοινού στις αρδευόμενες εκτάσεις. Αντιθέτως, η απεριόριστη άρδευση αφορά όλα τα είδη καλλιεργειών, ακόμα και προϊόντα που καταναλώνονται ωμά. Ο καταιονισμός επιτρέπεται ως μέθοδος άρδευσης και η πρόσβαση του κοινού γίνεται χωρίς περιορισμούς.

Στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην αποφυγή συσσώρευσης οργανικών στα υπόγεια ύδατα. Για αυτό το λόγο, αν ο εμπλουτισμός

γίνεται με γεώτρηση, πρέπει τα λύματα να υφίστανται εκτός από δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, και τριτοβάθμια, για την απομάκρυνση του διαλυτού οργανικού υλικού. Στον εμπλουτισμό με τη μέθοδο της διήθησης δια μέσου στρώματος εδάφους με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος δεν απαιτείται προχωρημένη επεξεργασία.

Πίνακας 2.14 Επιτρεπόμενες χρήσεις και όρια ποιοτικών παραμέτρων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116)

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

Περιοριστικό πράσινο	για το 95% των δειγμάτων	Απολύμανση
-------------------------	--------------------------------	------------

* με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος επαρκούς πάχους

** με γεωτρήσεις

Όσον αφορά την αστική και περιαστική χρήση, η επαναχρησιμοποίηση αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιοριστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, των καθαρισμό οδών, την κολύμβηση και τις οικιακές χρήσεις.

Στη βιομηχανία, η επαναχρησιμοποίηση περιλαμβάνει εφαρμογές, όπως τη χρήση ως νερό ψύξης, την αναπλήρωση νερών λεβήτων, καθώς και την αξιοποίηση για άλλες βιομηχανικές διεργασίες. Η επαναχρησιμοποίηση αυτή δεν εφαρμόζεται σε βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Στην οδηγία αναφέρονται ακόμη οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων που συναντώνται στα λύματα και είναι δυνητικά επιβλαβή για την υγεία. Στον Πίνακα 2.15 παρουσιάζονται τα όρια αυτών που συναντώνται συνήθως στο γκρίζο νερό.

Πίνακας 2.15 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων, σύμφωνα με το ΦΕΚ 354/Β/2011 (ΚΥΑ 145116)

Μέταλλο	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/L)
Cd (Κάδμιο)	0,01
Pb (Μόλυβδος)	0,1
Cr (Χρώμιο)	0,1
Ni (Νικέλιο)	0,2
Hg (Υδράργυρος)	0,002
Zn (Ψευδάργυρος)	2
Cu (Χαλκός)	0,2

3. Πειραματικό πρωτόκολλο και εργαστηριακές μέθοδοι

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λεπτομερής περιγραφή του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των πειραμάτων της παρούσας εργασίας, καθώς και των εργαστηριακών μεθόδων για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού.

3.1 Περιγραφή του εργαστηριακού συστήματος επεξεργασίας του γκρίζου νερού

3.1.1 Σύσταση των προς επεξεργασία λυμάτων

Στα πειράματα της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρία μείγματα γκρίζου νερού :

- Τύπος I : μπανιέρα, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων
- Τύπος II : μπανιέρα, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων, 1/3 της συνολικής ροής της κουζίνας
- Τύπος III : μπανιέρα, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων, κουζίνα

Τα ποσοστά συνεισφοράς κάθε ροής προέκυψαν από τη διπλωματική της Χαρχούση Δ. (2014) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Ποσοστά συμμετοχής κάθε ροής στο οικιακό γκρίζο νερό

	Τύπος I	Τύπος II	Τύπος III
Νιπτήρας	16%	15%	12%
Μπανιέρα	56%	49%	38%
Πλυντήριο ρούχων	28%	26%	20%
Κουζίνα	-	10%	30%

3.1.2 Περιγραφή του συστήματος επεξεργασίας

Το σύστημα επεξεργασίας αποτελείται από μια δεξαμενή κροκίδωσης, μια δεξαμενή καθίζησης και δύο στήλες κυκλικής διατομής, από τις οποίες η μία έχει πληρωθεί με άμμο και η δεύτερη με ενεργό άνθρακα (GAC). Στους Πίνακες 3.2, 3.3 και 3.4 αναγράφονται τα χαρακτηριστικά των στηλών, της άμμου και του ενεργού άνθρακα αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1 Εγκατάσταση επεξεργασίας γκρίζου νερού (Πάνω αριστερά : δεξαμενή καθίζησης· Πάνω κέντρο : φίλτρο άμμου· Πάνω δεξιά : φίλτρο ενεργού άνθρακα· Κάτω κέντρο : δεξαμενή κροκίδωσης)

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά στηλών

Υλικό κατασκευής	Plexiglass
Συνολικό ύψος στύλου	1,40 m
Εσωτερική διάμετρος στύλου	5 cm
Επιφάνεια στήλης	19,63 cm ²
Συνολικός όγκος στήλης	2748 cm ³

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά άμμου

Άμμος	Χαλαζιακή
Προμηθευτής	Στρομπούλης Ε.Π.Ε.
Διάμετρος κόκκων	0,5 – 1,0 mm

Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά ενεργού άνθρακα

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 ² /g
Σκληρότητα	95%
pH υδατικού διαλύματος	8
Πυκνότητα σωρού	0,45 g/cm ³
Όγκος πόρων	1,105 cm ³ /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%

Η συλλογή των δειγμάτων γινόταν σε κάθε στάδιο επεξεργασίας του πειράματος. Το δείγμα Α αναφέρεται στα ανεπεξέργαστα λύματα, πριν από την προσθήκη του κροκιδωτικού, το Β αντιστοιχεί στο υπερκείμενο, μετά το τέλος της καθίζησης, γκρίζο νερό, το Γ, στα λύματα που έχουν υποστεί διύλιση από το αμμόφιλτρο και τέλος το Δ, που αναφέρεται στην τελική έξοδο του συστήματος επεξεργασίας, δηλαδή στα λύματα που έχουν διέλθει και από το φίλτρο ενεργού άνθρακα.

Αρχικά, το μείγμα του γκρίζου νερού, εισέρχονταν σε μια δεξαμενή κροκίδωσης τετραγωνικής κάτοψης με χωρητικότητα μεγαλύτερη των 10,5 L, για την πραγματοποίηση της κροκίδωσης, η οποία γινόταν με τη βοήθεια ενός πτερυγίου ανάδευσης. Το πτερύγιο αυτό είχε διάμετρο ίση περίπου με το 1/3 του πλάτους της δεξαμενής και η απόσταση του από τη βάση ήταν μία διάμετρος. Το κροκιδωτικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το θειικό αργίλιο με χημικό τύπο $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, σε μορφή διαλύματος περιεκτικότητας 8%.

Τα λύματα στη συνέχεια οδηγούνταν σε μια δεξαμενή καθίζησης συνολικής χωρητικότητας 10,5 L και ωφέλιμου όγκου 7 L. Ο νεκρός όγκος ήταν συνεπώς 3,5 L και χρησίμευε για την αποθήκευση της ιλύος. Κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου, ο νεκρός όγκος παρέμενε ως έχει, με αποτέλεσμα η σύσταση του δείγματος Β να εξαρτάται και από τα προηγούμενα αποθηκευμένα λύματα.

Η μεταφορά των λυμάτων στην κορυφή της στήλης της άμμου γινόταν μέσω περισταλτικής αντλίας, ο χρόνος λειτουργίας της οποίας καταγραφόταν για κάθε πείραμα. Η παροχή με την οποία η αντλία διέθετε τα λύματα στο σύστημα ήταν 2,6 L/h και η υδραυλική φόρτιση του συστήματος, 1,4 m/h.

Η ροή από το αμμόφιλτρο προς το φίλτρο ενεργού άνθρακα δεν απαιτούσε τη χρήση αντλίας, αλλά πραγματοποιούνταν με βαρύτητα λόγω της υψομετρικής διαφοράς που είχαν οι στάθμες τους. Σημειώνεται ότι και τα δύο φίλτρα βρίσκονταν συνεχώς σε συνθήκες πλήρους βύθισης, ενώ τα καθαρά ύψη τους ήταν 60 cm. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι και στην περίπτωση των δειγμάτων Γ και Δ, είχαμε ανάμιξη με τα λύματα των προηγούμενων πειραμάτων, λόγω της ύπαρξης της αρχικής στάθμης στα αντίστοιχα φίλτρα.

Η έκπλυση στο αμμόφιλτρο πραγματοποιούνταν όταν είχαμε υπερχειλίσει της στάθμης του, δηλαδή όταν η στάθμη ξεπερνούσε τα 60 cm. Αντιθέτως, στον ενεργό άνθρακα η έκπλυση γινόταν όταν το δείγμα Δ εμφάνιζε ένα κοκκινωπό χρώμα, αν και ήταν διαυγές. Και στις δύο περιπτώσεις, γινόταν με χειροκίνητο τρόπο με τη χρήση απιονισμένου νερού.

Τα επεξεργασμένα λύματα κατέληγαν σε έναν ογκομετρικό σωλήνα χωρητικότητας 1 L μέσω ανεστραμμένου σίφωνα. Μετά το πέρας κάθε πειράματος, ο σωλήνας εκκενωνόταν και καθαριζόταν με απιονισμένο νερό για να αποκλειστούν περιπτώσεις ανάπτυξης αλγών σε αυτόν.



Σχήμα 3.2 Έξοδος συστήματος επεξεργασίας

3.1.3 Περιγραφή 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

Ο 1^{ος} κύκλος πειραμάτων αποτελεί συνέχεια του πειράματος που είχε ξεκινήσει η Μενδρινού Π. (2014) και αφορούσε ένα σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού που περιλάμβανε κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση σε φίλτρο άμμου και προσρόφηση σε φίλτρο ενεργού άνθρακα. Το προς επεξεργασία γκρίζο νερό ήταν ένα μείγμα που περιλάμβανε ποσότητες από μπιανέρα, νιπτήρα και πλυντήριο ρούχων (Τύπος Ι).

Το σύστημα λειτουργούσε τέσσερις ημέρες την εβδομάδα και η δειγματοληψία γινόταν δύο φορές την εβδομάδα. Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του συστήματος αυτού ήταν 14 ημέρες. Σημειώνεται, ότι τα λύματα παρέμεναν στη δεξαμενή καθίζησης για 1 h.

3.1.4 Περιγραφή 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

Στο 2^ο κύκλο, το σύστημα παρέμεινε το ίδιο, με τη διαφορά ότι ο χρόνος καθίζησης αυξήθηκε από 1 σε 2 h, αφού παρατηρήθηκε ότι η μείωση της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών ήταν μεγαλύτερη. Επίσης, στο μείγμα των λυμάτων προστέθηκε και το 1/3 της συνολικής παραγόμενης ποσότητας γκρίζου νερού που προέρχεται από το νεροχύτη της κουζίνας σε μια οικία (Τύπος II). Οι μέρες λειτουργίας του συστήματος αυτού ήταν 20.

3.1.5 Περιγραφή 3^{ου} κύκλου πειραμάτων

Σε αυτόν το κύκλο χρησιμοποιήθηκε το ίδιο σύστημα, ενώ το επεξεργαζόμενο γκρίζο νερό περιείχε το 100% των ροών από τη μπανιέρα, το νιπτήρα, το πλυντήριο πιάτων και την κουζίνα (Τύπος III). Ο χρόνος καθίζησης ήταν 2 h. Το σύστημα λειτούργησε για 4 ημέρες και η δειγματοληψία γινόταν κάθε φορά που λειτουργούσε το σύστημα.

3.1.6 Περιγραφή 4^{ου} κύκλου πειραμάτων

Στον 4^ο κύκλο, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα κροκίδωσης, με απευθείας διύλιση από τα φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα. Το μείγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό του 2^{ου} κύκλου (Τύπος II). Το σύστημα λειτούργησε για 9 ημέρες και η δειγματοληψία γινόταν κάθε φορά που λειτουργούσε το σύστημα.

3.2 Πειραματικό πρωτόκολλο της διαδικασίας των jar test και της κροκίδωσης

Για την εύρεση της βέλτιστης δόσης του κροκιδωτικού, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από jar test, το πειραματικό πρωτόκολλο των οποίων ήταν το εξής :

- 1 min ταχεία μίξη σε 200 rpm
- 20 min συσσωμάτωση, που χωρίζονται σε :
 - i. 7,5 min στις 70 rpm
 - ii. 7,5 min στις 40 rpm
 - iii. 5 min στις 20 rpm
- 50 min καθίζηση

Σημειώνεται ότι τα δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν είχαν χωρητικότητα 1 L και πληρώνονταν μέχρι τα 0,8 L.

Για να είναι αποτελεσματική η κροκίδωση και στα πειράματα, επιλέχθηκε ταχύτητα ταχείας μίξης μεγαλύτερη των 400 rpm για χρόνο 1 min, ενώ η ταχύτητα συσσωμάτωσης ήταν 70 rpm για 7,5 min και 50 rpm για 12,5 min.



Σχήμα 3.3 Συσκευή jar test

3.3 Εργαστηριακές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των ποιοτικών παραμέτρων

Για την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων του πειραματικού συστήματος, πραγματοποιήθηκε ένα εκτενές πρόγραμμα εργαστηριακών αναλύσεων για τις ακόλουθες παραμέτρους :

- Ολικά στερεά (TS), ολικά (TSS) και πτητικά (VSS) αιωρούμενα στερεά
- Ολικό και διαλυτό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (CODt και CODs αντίστοιχα)
- Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD₅)
- Ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS)
- Θολότητα
- Αγωγιμότητα
- pH
- Μικροοργανικές ενώσεις
- Βαρέα μέταλλα
- Αμμωνιακό (NH₄-N), νιτρικό (NO₃-N), νιτρώδες (NO₂-N) και κατά Kjeldahl άζωτο (TKN)
- Ολικός (TP) και διαλυτός (PO₄-P) φώσφορος

3.3.1 Προσδιορισμός στερεών (TS, TSS, VSS)

Για τη μέτρηση των ολικών στερεών (TS), πορσελάνινη κάψα προξηραινόταν στους 103 °C για μια ημέρα και στη συνέχεια, τοποθετούνταν για 1 h σε ξηραντήρα. Ακολουθούσε μέτρηση της κάψας σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας, προσθήκη συγκεκριμένου όγκου δείγματος και ξήρανση του στους 103 °C για μια ημέρα. Η κάψα τοποθετούνταν στον ξηραντήρα για 1 h και ζυγίζόταν. Η συγκέντρωση των ολικών στερεών προκύπτει από τη σχέση :

$$TS = \frac{(\text{Βάρος κάψας στους } 103^{\circ}\text{C} - \text{Βάρος καθαρής κάψας})}{\text{Όγκος δείγματος}} \times 10^6$$

Η μέτρηση των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φίλτρων GF/C. Πριν τη χρήση τους, τα φίλτρα αυτά προξηραίνονταν για 15 min στο φούρνο

των 550 °C και τοποθετούνταν για τον ίδιο χρόνο στον ξηραντήρα, με στόχο να εξασφαλιστεί ότι είχε απομακρυνθεί οποιοδήποτε ίχνος υγρασίας ή στερεών που πιθανόν να περιείχαν. Ακολουθούσε η πρώτη μέτρηση σε ζυγαριά ακριβείας (τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων) και καταγραφόταν η μάζα του. Το φίλτρο, τοποθετούνταν στη συνέχεια σε μια συσκευή διήθησης, και με τη βοήθεια μιας αντλίας κενού γινόταν η διέλευση μιας ποσότητας (ο όγκος της οποίας καταγραφόταν) του εκάστοτε δείγματος. Το φίλτρο τοποθετούταν για τουλάχιστον 1 h στο φούρνο των 103 °C και στον ξηραντήρα για 15 min. Ακολουθούσε η μέτρηση του ξηρού βάρους του φίλτρου και ο προσδιορισμός των ολικών αιωρούμενων στερεών μέσω της σχέσης

$$TSS = \frac{(Βάρος φίλτρου στους 103^{\circ}C - Βάρος καθαρού φίλτρου)}{Όγκος δείγματος} \times 10^6$$

Για τη μέτρηση των πτητικών αιωρούμενων στερεών, το φίλτρο τοποθετούνταν στο φούρνο των 550 °C για 15 min και στον ξηραντήρα για άλλα 15. Γινόταν η τελική μέτρηση του βάρους του και προσδιορισμός των VSS σύμφωνα με την παρακάτω σχέση

$$VSS = \frac{(Βάρος φίλτρου στους 103^{\circ}C - Βάρος φίλτρου στους 550^{\circ}C)}{Όγκος δείγματος} \times 10^6$$



Σχήμα 3.4 Προσδιορισμός στερεών : φούρνος 103 °C, ξηραντήρας, φούρνος 550 °C και ζυγός ακριβείας (από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω)

3.3.2 Προσδιορισμός χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD)

Η μέτρηση του ολικού και του διαλυτού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD_t και COD_d αντίστοιχα) γίνεται με τη χρήση ειδικών αντιδραστηρίων της HACH με κωδικούς LCK 314, για συγκεντρώσεις με εύρος μέτρησης 15-150 (mg/L) O₂, και LCK 114, για 150-1000 (mg/L) O₂. Με τη βοήθεια πιπετών, γινόταν εισαγωγή 2 mL δείγματος, το οποίο στην περίπτωση του COD_d ήταν διηθημένο (χρήση μεμβρανών τύπου ME 25/21 ST 0,45 (μm)). Τα φιαλίδια και των δύο τύπων, ανακινούνταν καλά και χωνεύονταν για 2 hr στους 150 °C. Την επόμενη μέρα της χώνευσης, μετρούνταν η απορρόφηση των φιαλιδίων στο φασματοφωτόμετρο HACH DR2800. Για εύρη τιμών μεταξύ 150-1000 mg/L O₂ (LCK 114), επιλέγεται μήκος κύματος λ=605 nm, ενώ για εύρη 15-150 mg/L O₂ (LCK 314) επιλέγεται μήκος κύματος λ=448 nm.



Σχήμα 3.5 Προσδιορισμός COD : συσκευή αντλίας κενού, χωνευτής, φασματοφωτόμετρο, αντιδραστήρια (από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω)

3.3.3 Προσδιορισμός βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD_5)

Για τον προσδιορισμό του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD_5), κατάλληλη ποσότητα δείγματος τοποθετείται σε δοχεία συγκεκριμένου μεγέθους (~300 mL) μαζί με αραιωτικό υγρό και μικροοργανισμούς και μετράται η αρχική συγκέντρωση οξυγόνου του διαλύματος αυτού. Τα δοχεία αυτά σφραγίζονται αεροστεγώς και τοποθετούνται σε επωαστήρα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία ($20 \pm 1^\circ C$) για 5 μέρες. Το διαλυμένο οξυγόνο (DO) μετράται ξανά μετά το πέρας της επώασης. Η τελική συγκέντρωση προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ του μέγιστου αρχικού διαλυμένου οξυγόνου και του ελάχιστου υπολειπόμενου, αφού γίνει και η διόρθωση για την αραίωση.

3.3.4 Προσδιορισμός ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS)

Για τη μέτρηση των ανιονικών τασιενεργών (LAS) χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια της HACH με κωδικό LCK 332 και με εύρος μέτρησης από 0,05 – 2,0 mg/L. Στα φιαλίδια, προστίθενται 3,5 mL καταλλήλως αραιωμένου δείγματος, καθώς και 400 μL από το αντιδραστήριο A και 200 μL από το B. Το φιαλίδιο ανακινούνται για 1 min και ηρεμύσει για 0,5 min. Αμέσως μετά ακολουθούσε η μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο, στην οθόνη του οποίου καταγραφόταν η συγκέντρωση των ανιονικών τασιενεργών του αραιωμένου δείγματος. Σημειώνεται, ότι η αραίωση γινόταν για να επιτυγχάνεται η μέτρηση των δειγμάτων, αφού οι συγκεντρώσεις των LAS σε αυτά ξεπερνούσε το εύρος μέτρησης των αντιδραστηρίων.



Σχήμα 3.6 Αντιδραστήρια προσδιορισμού ανιονικών τασιενεργών της Hach

3.3.5 Προσδιορισμός θολότητας, pH και αγωγιμότητας

Η θολότητα προσδιορίζεται με τη χρήση της συσκευής μέτρησης της θολότητας HACH 2100P, μέσω της νεφελομετρικής μεθόδου. Ένα ειδικό φιαλίδιο χωρητικότητας 10 mL πληρωνόταν με δείγμα γκρίζου νερού και στη συνέχεια, τοποθετούνταν στο όργανο και γινόταν καταγραφή δύο διαδοχικών ενδείξεων. Η τελική τιμή προέκυπτε ως η μέση τιμή των δύο αυτών ενδείξεων.

Η μέτρηση του pH γινόταν με τη συσκευή WTW pH 315i, το ηλεκτρόδιο της οποίας βυθιζόταν στο δείγμα. Η καταγραφή της μέτρησης γινόταν αφού σταθεροποιούνταν η τιμή που εμφανιζόταν στην οθόνη της συσκευής. Σημειώνεται ότι η συντήρηση του ηλεκτροδίου γινόταν σε διάλυμα KCl 3,0 M.

Για τη μέτρηση της αγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή WTW Multi 3410. Και σε αυτή την περίπτωση, η μέτρηση γινόταν με τη βοήθεια ενός ηλεκτροδίου, που βυθιζόταν στο δείγμα μέχρις ότου να σταθεροποιηθεί η ένδειξη στην οθόνη του οργάνου.



Σχήμα 3.7 Θολόμετρο, pH-μετρο και αγωγιμόμετρο

3.3.6 Προσδιορισμός μικροοργανικών ενώσεων

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των εξεταζόμενων μικροοργανικών ενώσεων έγινε με τη μέθοδο της αέριας χρωματογραφίας και με χρήση του αερίου χρωματογράφου-φασματογράφου μάζας GC-MS (αέριος χρωματογράφος τύπου Agilent 7890A,

συζευγμένος με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C). Η στήλη που χρησιμοποιήθηκε είναι η DB5MS (30 m x 0,25 μm x 0,32 mm) από τη Supelco, USA, ενώ το φέρον αέριο το ήλιο (99,999 %) με σταθερή ροή 0,9 mL/min. Τα δείγματα που εξετάστηκαν προέρχονταν από το σημείο Δ και πριν αναλυθούν είχαν διηθηθεί μέσω μεμβρανών ME 25/21 ST 0,45 μm και υποστεί μείωση του pH τους (μικρότερο από 2,5) με την προσθήκη διαλύματος HCl. Το επόμενο στάδιο ήταν η εκχύλιση της στερεής τους φάσης.

Η εκχύλιση είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε μια συσκευή κενού, στην οποία τοποθετήθηκαν στήλες C18, 500 mg 6 mL. 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). Η διέλευση αυτή γίνεται 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) και προσαρμόστηκε στη συσκευή αντλία, ώστε να ξηρανθούν 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 σφραγίστηκαν αεροστεγώς και αποθηκεύθηκαν στην κατάψυξη μέχρι να αναλυθούν από τον αέριο φασματογράφο.

Μετά τη διαδικασία της εκχύλισης, ακολουθεί η παραγωγοποίηση των δειγμάτων. Αρχικά, τα δείγματα εξατμίζονται μέχρι ξηράνσεως, με τη βοήθεια αζώτου (N₂) και προστίθεται 1 mL οξικού αιθυλεστέρα. Το δείγμα αναδεύεται με vortex (δονητή δοκιμαστικών σωλήνων) για 30 sec. Στη συνέχεια, 1 mL δείγματος μεταγγίζεται από τα σκουρόχρωμα φιαλίδια σε διαφανή, κωνικού πάτου, και πραγματοποιείται πλήρης εξάτμιση του δείγματος, και πάλι με χρήση αζώτου. Επιπλέον, προστίθενται 60 μL εσωτερικών προτύπων (BPA και MCF) και επαναλαμβάνεται η πλήρης εξάτμιση του δείγματος με άζωτο. Ακολουθεί προσθήκη 50 μL BSTFA 1% TMC και 10 μL πυριδίνης. Το δείγμα αναδεύεται με vortex και τοποθετείται σε λουτρό στους 70°C για 20 min. Το παραγωγοποιημένο δείγμα που προκύπτει, αφήνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 10 min και οδηγείται για ανάλυση στον αέριο χρωματογράφο GC-MC.



Σχήμα 3.8 Αέριος χρωματογράφος Agilent 7890A συζευγμένος με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C

3.3.7 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, χρησιμοποιήθηκε η φασματομετρική μέθοδος της ατομικής απορρόφησης. Ανάλογα με την αναμενόμενη συγκέντρωση και το είδος του μετάλλου, ακολουθήθηκαν διαφορετικές τεχνικές για την εξασφάλιση του ιδανικού περιβάλλοντος για την ατομοποίηση και μέτρηση της μάζας. Τέτοιες τεχνικές είναι αυτές του φούρνου γραφίτη, με την οποία προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις του καδμίου, του μολύβδου, του νικελίου, του χαλκού και του χρωμίου, και φλόγας, με την οποία προσδιορίστηκε η συγκέντρωση του ψευδαργύρου.



Σχήμα 3.9 Φούρνος γραφίτη AAS Perkin Elmer 3110/HGA600 και AAS φλόγας Perkin Elmer Analyst 200 (από αριστερά προς τα δεξιά)

3.3.8 Προσδιορισμός αμμωνιακού (NH_4-N), νιτρικού (NO_3-N) και νιτρώδους (NO_2-N) αζώτου

Για τον προσδιορισμό του αμμωνιακού, νιτρικού και νιτρώδους αζώτου, αρχικά διηθήθηκε ποσότητα δείγματος μέσω μεμβρανών ME 25/21 ST 0,45 μm στη συσκευή διήθησης, με τη βοήθεια αντλίας κενού. Για το αμμωνιακό άζωτο NH_4-N , χρησιμοποιήθηκαν αντιδραστήρια με κωδικό LCK 304 της HACH, τα οποία πληρώθηκαν με 5 mL διηθημένου δείγματος. Το φιαλίδιο ανακινείται καλά και μετά από 15 min, τοποθετείται σε φασματοφωτόμετρο τύπου HACH DR2800, και καταγράφεται η συγκέντρωση σε mg/L του αμμωνιακού αζώτου στο δείγμα. Το εύρος τιμών αμμωνιακού αζώτου που μετράται είναι 0,015-2,0 mg/L NH_4-N , για αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν απαραίτητη η αραιώση του δείγματος.

Με τη χρήση αντιδραστηρίων της Hach με κωδικό LCK 339 γίνεται και ο προσδιορισμός του νιτρικού αζώτου NO_3-N , με την προσθήκη 1 mL διηθημένου δείγματος και 0,2 mL αντιδραστηρίου που περιέχεται στη συσκευασία. Το φιαλίδιο ανακινείται καλά και μετά από 15 min αναμονής μετράται η συγκέντρωση του με φασματοφωτόμετρο. Το εύρος τιμών που μπορούν να μετρηθούν κυμαίνεται από 0,23-13,50 mg/L NO_3-N .

Για την εύρεση του νιτρώδους αζώτου NO_2-N , χρησιμοποιούνται αντιδραστήρια NitriVer3 της Hach. Σε 10 mL διηθημένου δείγματος προστίθεται το αντιδραστήριο, το οποίο είναι σε μορφή σκόνης, και γίνεται καλή ανακίνηση μέχρι να διαλυθεί το αντιδραστήριο. Ο μηδενισμός του φασματοφωτόμετρου γίνεται με την τοποθέτηση κυψελίδας που περιέχει 10 mL διηθημένου δείγματος χωρίς το αντιδραστήριο. Η μέτρηση πραγματοποιείται μετά από

20 min και αφού το διάλυμα δείγματος-αντιδραστηρίου έχει τοποθετηθεί σε κυψελίδα. Οι συγκεντρώσεις που μπορούν να μετρηθούν με αυτή τη μέθοδο κυμαίνονται από 0,010-0,300 mg/L NO₂-N.



Σχήμα 3.10 Αντιδραστήρια της Hach για τη μέτρηση του αμμωνιακού αζώτου (αριστερά) και του νιτρικού αζώτου (δεξιά)

3.3.9 Προσδιορισμός ολικού κατά Kjeldahl αζώτου (TKN)

Το ολικό κατά Kjeldahl άζωτο (TKN) ορίζεται ως το άθροισμα του οργανικού αζώτου και του αμμωνιακού αζώτου. Για τον προσδιορισμό του, 50 mL δείγματος εισάγονται σε συσκευή χώνευσης BUCHI και με τη χρήση θεικού οξέος (H₂SO₄), θεικού καλίου (K₂SO₄) και θεικού χαλκού (CuSO₄) ως καταλύτη, το άζωτο των οργανικών ενώσεων μετατρέπεται σε αμμώνιο και σε ελεύθερη αμμωνία. Σε συσκευή απόσταξης BUCHI, μετά την προσθήκη βάσης, η αμμωνία που παράγεται, αποστάζεται και συλλέγεται σε φιάλη που περιέχει βορικό οξύ. Η αμμωνία προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά με τη μέθοδο Nessler.

3.3.10 Προσδιορισμός ολικού (TP) και διαλυτού (PO₄-P) φωσφόρου

Για τον προσδιορισμό του ολικού φωσφόρου, γίνεται χρήση αντιδραστηρίων της Hach με κωδικό LCK 349 για εύρη τιμών 0,05-1,5 mg/L PO₄-P και LCK 348 για συγκεντρώσεις 0,5-5,0 mg/L PO₄-P. Κατά τη μέτρηση, 0,5 mL δείγματος (αδιήθητου για το ολικό και διηθημένου για το διαλυτό) εισάγονται στο φιαλίδιο της Hach και αφού προστεθεί το αντιδραστήριο, το φιαλίδιο ανακινείται καλά και τοποθετείται σε συσκευή χώνευσης. Στη

συνέχεια, εφόσον το δείγμα βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, προστίθενται 0,2 mL αντιδραστηρίου. Η συγκέντρωση του φωσφόρου μετράται μετά το πέρας 10 λεπτών.

4. Παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους τέσσερις κύκλους πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και ο χαρακτηρισμός γκρίζου νερού από πλυντήριο πιάτων και μείγματος από μια οικία, στην οποία λειτουργεί βιολογικό σύστημα επεξεργασίας. Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει επίσης τα αποτελέσματα μιας σειράς jar test, που έγιναν με στόχο την εύρεση της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού.

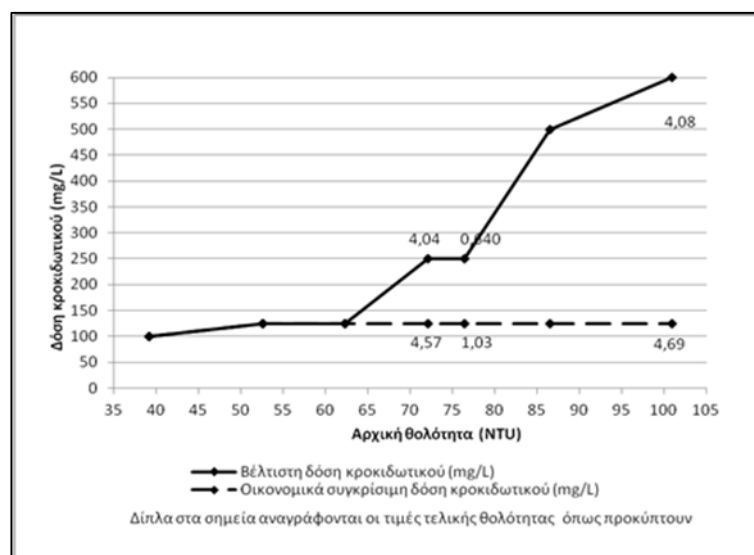
4.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των jar test

Ο σκοπός των jar test ήταν η εύρεση της βέλτιστης δόσης κροκιδωτικού, δηλαδή της δόσης που μπορεί να προκαλέσει τη μέγιστη μείωση της αρχικής θολότητας. Για τον 1^ο πειραματικό κύκλο, στον οποίο γινόταν επεξεργασία γκρίζο νερού που αποτελούνταν από τις ροές της μπανιέρας, του νιπτήρα και του πλυντηρίου ρούχων, η κατάλληλη δόση κροκιδωτικού προέκυπτε με τη βοήθεια ενός διαγράμματος (Σχήμα 4.1), από τα πειράματα που είχε πραγματοποιήσει η Μενδρινού Π. (2014).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν 3 jar test, εκ των οποίων το ένα αφορούσε το γκρίζο νερό τύπου II και τα υπόλοιπα δύο, το τύπου III (παράγραφος 3.1). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.1 και με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι ελάχιστες θολότητες που προέκυψαν. Για το γκρίζο νερό Τύπου II, η βέλτιστη δόση είναι τα 100 mg/L και για το Τύπου III, τα 200 mg/L. Ωστόσο, επειδή η διαδικασία της κροκίδωσης στο πείραμα παρουσίαζε ορισμένες διαφορές σε σχέση με αυτή στο jar test, τελικά αποδείχτηκε ότι ανεξάρτητα από τον τύπο του μείγματος του γκρίζου νερού, η βέλτιστη δόση είναι αυτή των 200 mg/L, η οποία και χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα.

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα jar test

Δόση κροκιδωτικού (mg/L)	Αρχική Θολότητα (NTU)	
	Τύπος II	Τύπος III
	55,3	94,4
100	2	19,1
150	2,6	4,5
200	3,9	3,5
250	3,6	4,2
300	6,2	7,7
400		12,3
500		10,1
600		10,8
700		12,8



Σχήμα 4.1 Βέλτιστη και οικονομικά βέλτιστη δόση κροκιδωτικού (Μενδρινού Π., 2014)

4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

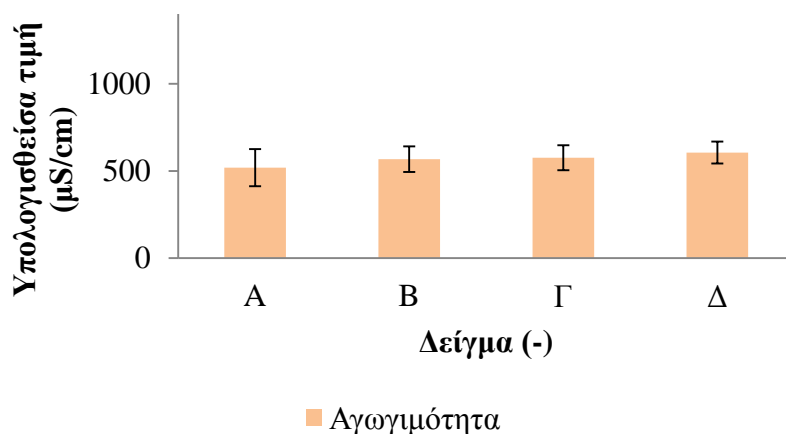
Στον 1^ο κύκλο χρησιμοποιήθηκε το σύστημα κροκίδωση – καθίζηση – φίλτρο άμμου – φίλτρο ενεργού άνθρακα και οι ροές που αναφέρονται παραπάνω, στο κεφάλαιο 3. Τα αποτελέσματα της αρχικής και τελικής εκροής συνοψίζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στον 1^ο πειραματικό κύκλο

Παράμετρος	Στάδιο επεξεργασίας	
	A	Δ
Αγωγιμότητα (μS/cm)	519±106,4	606±63
Θολότητα (NTU)	79,2±36,3	1,67±1,63
TSS (mg/L)	72,3±18,9	2,56±2,13
VSS (mg/L)	62,3±17,7	2,17±1,98
CODt (mg/L)	375±54,6	< 15
CODs (mg/L)	166±39,1	< 15
LAS (mg/L)	71±18	0,6±0,2
pH	7,84±0,15	7,77±0,33

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του χαρακτηρισμού του των μεμονωμένων ροών του γκρίζου νερού από τη Χαρχούση Δ. (2014), η αγωγιμότητα του ανεπεξέργαστου μείγματος είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή της μπανιέρας και του νιπτήρα και 100 μS/cm μικρότερη σε σχέση με αυτή του πλυντηρίου ρούχων. Τα αιωρούμενα στερεά, το COD, τα LAS και το pH είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτά της μπανιέρας. Συνεπώς, γίνεται φανερό ότι το συγκεκριμένο μείγμα έχει σχεδόν τα ίδια χαρακτηριστικά με τη ροή του μπάνιου, η οποία συμμετέχει σε αυτό με ποσοστό 56%. Όσον αφορά την έξοδο του συστήματος, η θολότητα, στο 50% των δειγμάτων είναι μικρότερη από 2 NTU και τα στερεά, στο 80% των δειγμάτων έχουν συγκέντρωση μικρότερη των 10 mg/L, γεγονός που καθιστά την εκροή κατάλληλη για απεριόριστη άρδευση και αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/2011. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα αυτό δεν επιτυγχάνει ικανοποιητική απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών και συνεπώς, απαιτείται και απολύμανση του επεξεργασμένου γκρίζου νερού.

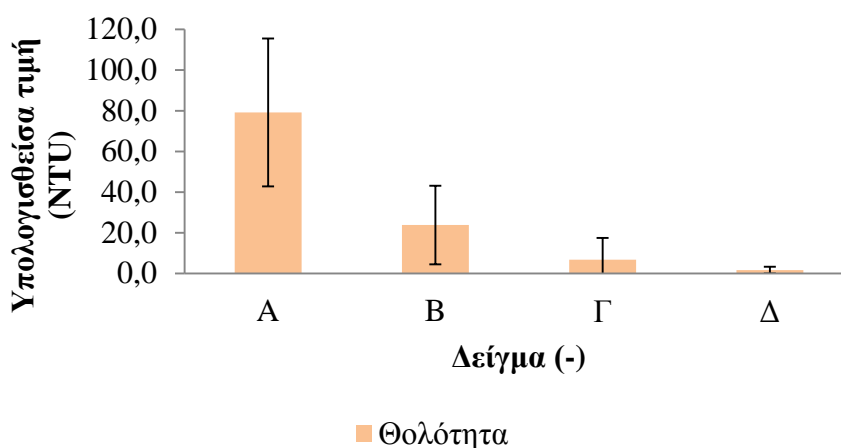
Η αποτελεσματικότητα του συστήματος ανά στάδιο επεξεργασίας αναλύεται στη συνέχεια αυτής της ενότητας.



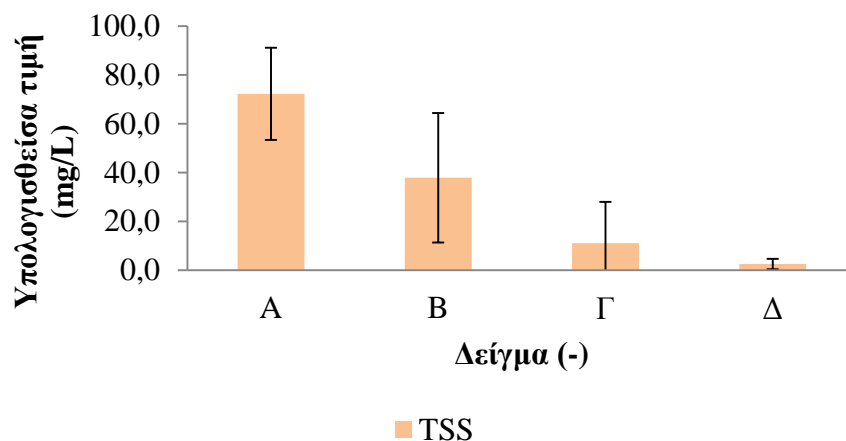
Σχήμα 4.2 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 4.2, η αγωγιμότητα φαίνεται να αυξάνεται αμελητέα καθώς οδηγούμαστε στην έξοδο του συστήματος επεξεργασίας (από 519 σε 606 μS/cm).

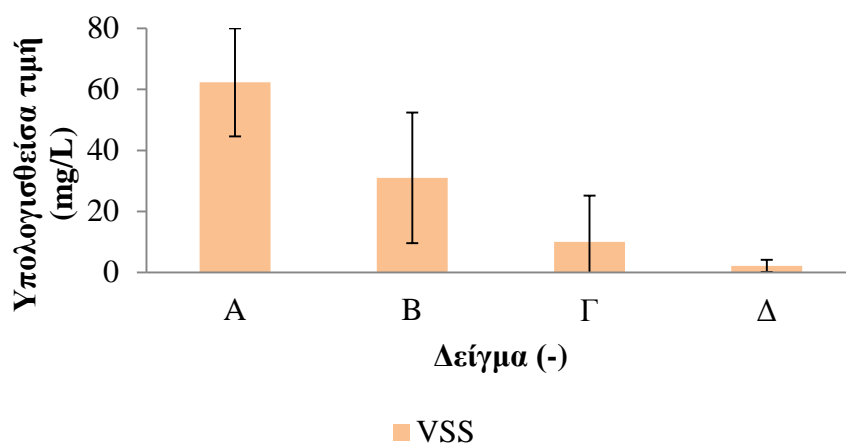
Η θολότητα μειώνεται σε κάθε στάδιο επεξεργασίας, με τη μεγαλύτερη απομάκρυνση να επιτυγχάνεται λόγω καθίζησης, δηλαδή από το δείγμα A στο B (από 79,2 σε 23,8 NTU), λόγω της απομάκρυνσης των στερεών, από τα οποία και προκαλείται. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα πτητικά αιωρούμενα στερεά αποτελούν το 86% των ολικών αιωρούμενων και μειώνονται σχεδόν γραμμικά στα δύο πρώτα στάδια της επεξεργασίας (περίπου 40%). Η μικρότερη μείωση συμβαίνει μεταξύ των σημείων Γ και Δ (10%) (Σχήμα 4.4 και 4.5).



Σχήμα 4.3 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων



Σχήμα 4.4 Μέση τιμή των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

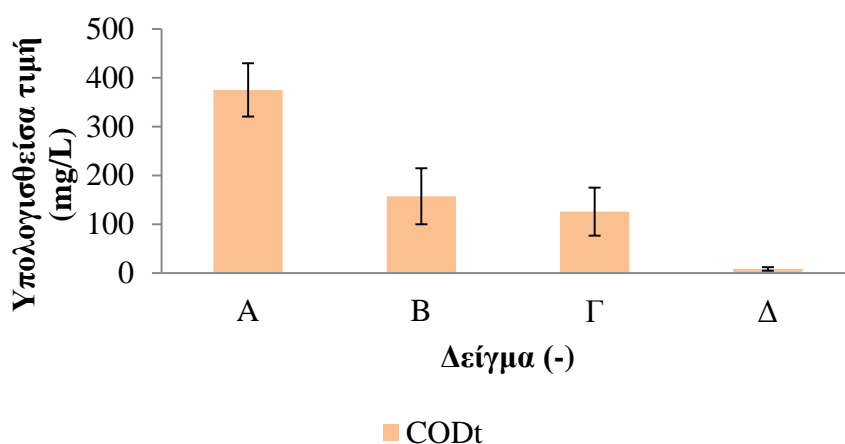


Σχήμα 4.5 Μέση τιμή των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

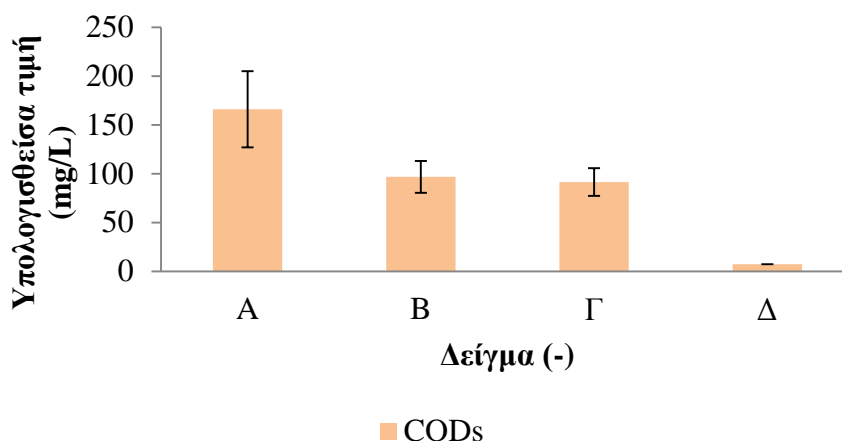
Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η σχέση που συνδέει τη θολότητα με τα στερεά γίνεται φανερή παρατηρώντας τα Σχήματα 4.3-4.5, των οποίων η μορφή είναι σχεδόν η ίδια.

Το ολικό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (CODt) ελαττώνεται λόγω της επεξεργασίας και αγγίζει τιμές μικρότερες των 15 mg/L, ενώ ανάλογα με το είδος του (σωματιδιακό ή διαλυτό)

παίζουν ρόλο διαφορετικές διεργασίες. Αναλυτικότερα, η μεγαλύτερη μείωση στο σωματιδιακό COD προκαλείται λόγω της καθίζησης (από 198 mg/L σε 48 mg/L) και το ποσοστό μείωσης είναι αντίστοιχο με αυτό των VSS, ενώ μεταξύ των δειγμάτων Β και Γ δεν υπάρχει σχεδόν καμία διαφοροποίηση. Αντιθέτως, η καθοριστική διεργασία για τη μείωση του διαλυτού COD είναι η προσρόφιση με ενεργό άνθρακα, η οποία μπορεί να το απομακρύνει ακόμα και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 100 mg/L (Σχήματα 4.6-4.7).



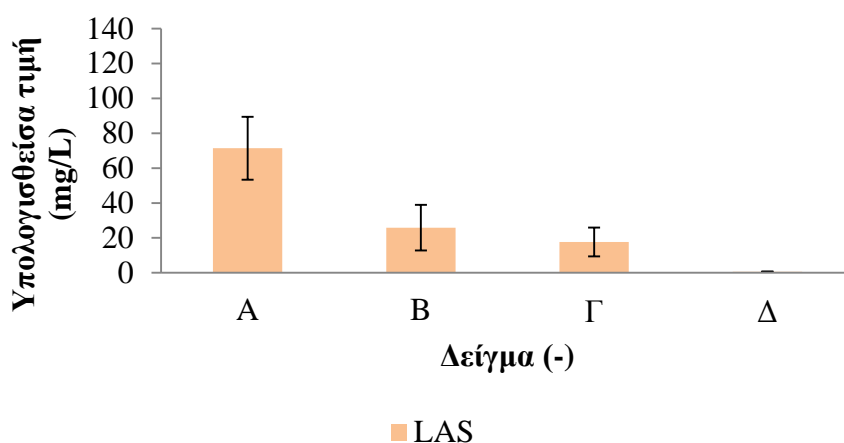
Σχήμα 4.6 Μέση τιμή του ολικού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων



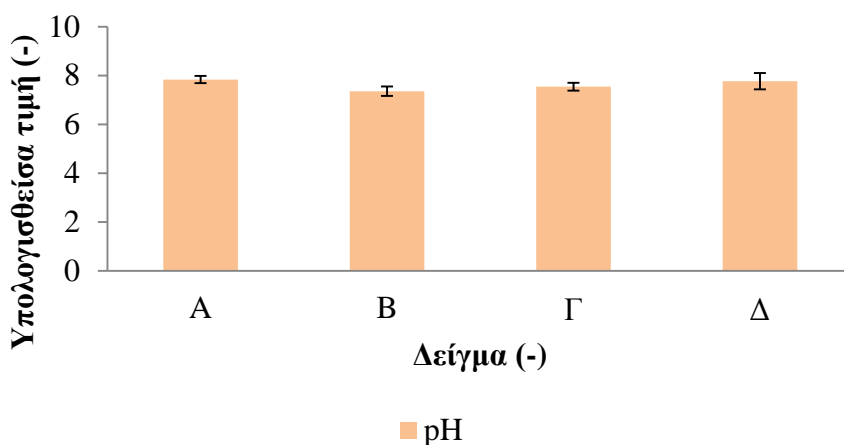
Σχήμα 4.7 Μέση τιμή του διαλυτού COD για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

Σημειώνεται επίσης, ότι το διαλυτό COD αποτελεί μόνο το 44% του ολικού.

Οι ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS) (οι οποία ευθύνονται και για ένα μικρό ποσοστό της θολότητας) παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μείωση κατά τη διεργασία της καθίζησης, λόγω της οποίας απομακρύνεται συγκέντρωση της τάξεως των 55,31 mg/L, που έχουν εγκλωβιστεί σε κροκίδες (Σχήμα 4.8). Το pH μένει σχεδόν σταθερό, εμφανίζοντας μια ελάχιστη μείωση λόγω της προσθήκης του κροκιδωτικού (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.8 Μέση τιμή των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων



Σχήμα 4.9 Μέση τιμή pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

Όσον αφορά τις μικροοργανικές ενώσεις, αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν μόνο στο στάδιο Δ της επεξεργασίας. Με βάση τα αποτελέσματα της διπλωματικής της Χαρχούση Δέσποινας και λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό με το οποίο κάθε ροή συμμετέχει στο γκρίζο νερό, προκύπτουν τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1), από τον οποίο φαίνεται ότι το σύστημα επιτυγχάνει πολύ καλή απομάκρυνση των εξεταζόμενων μικροοργανικών ουσιών.

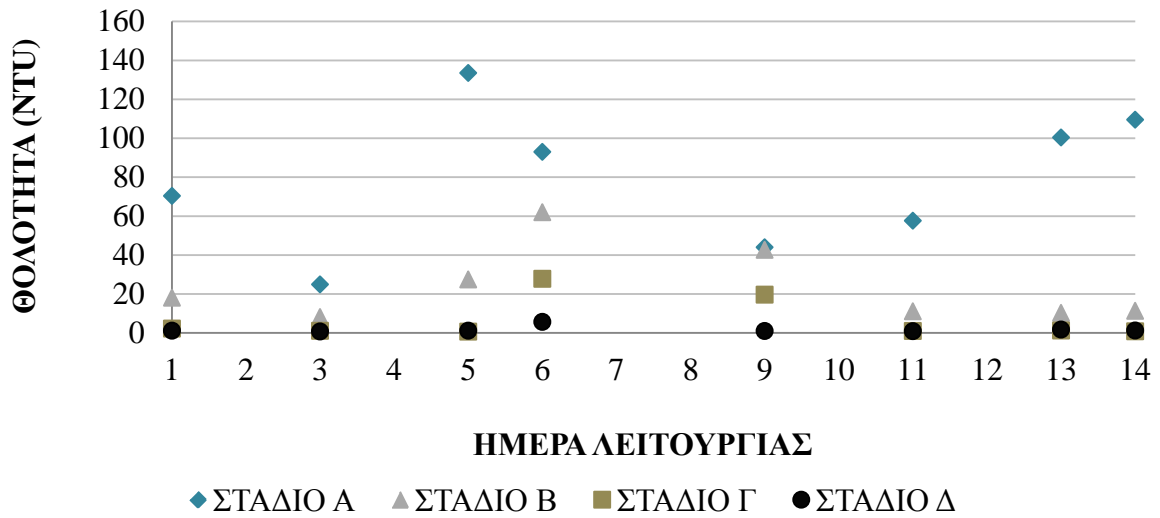
Πίνακας 4.3 Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού στα στάδια Α και Δ του συστήματος του 1^{ου} κύκλου πειραμάτων

Στάδιο επεξεργασίας	NP (μg/L)	NP1EO (μg/L)	NP2EO (μg/L)	TCS (μg/L)	BPA (μg/L)
A	30,3±21,9	2,29±1,57	1,95±1,9	0,30±0,27	0,49±0,31
Δ	0,991±0,156	0,095±0,02	0,035±0,006	0,024±0,005	0,014±0,006

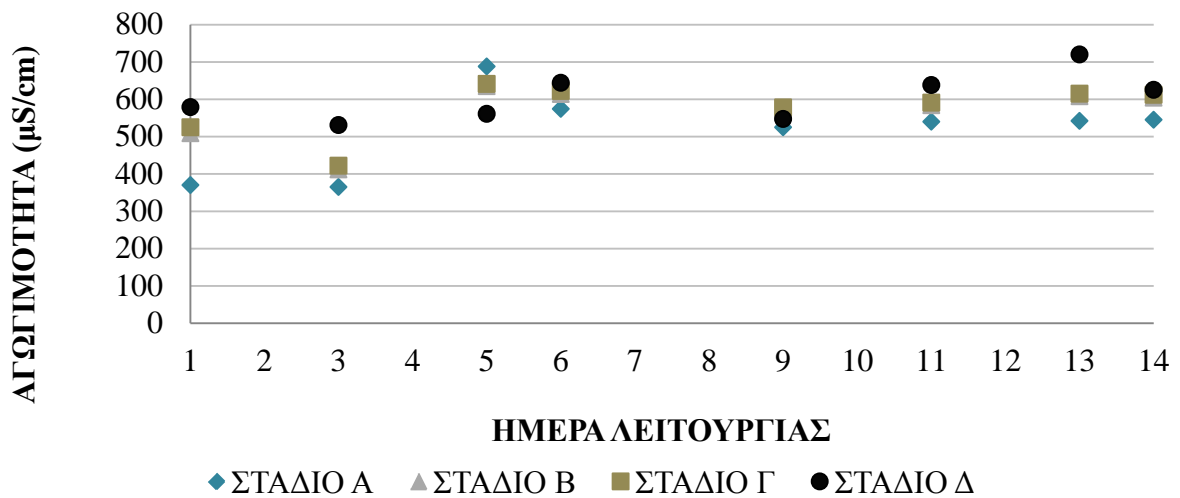
Η μέση ημερήσια παραγωγή της ιλύος ήταν 98 mL και μετά από 14 ημέρες λειτουργίας παρήχθησαν 1200 mL. Στη λάσπη αυτή έγινε μέτρηση των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών και προέκυψε ότι τα TSS είχαν συγκέντρωση ίση με 8248 mg/L, ενώ τα VSS, 4317 mg/L (πτητικά : 52% των TSS). Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι ετησίως, το σύστημα αυτό παράγει 258 g ιλύος με όγκο 31,3 L.

Όσον αφορά το εκτιμώμενο κόστος του κροκιδωτικού, στο εμπόριο πωλείται διάλυμα $Al_2(SO_4)_3$ περιεκτικότητας 46% κατά βάρος σε θειικό αργίλιο, που κοστίζει 160 €/tn. Επομένως, για τη δόση των 200 mg/L που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα, προκύπτουν 435 mg διαλύματος/m³ γκρίζου νερού και για κόστος 160 €/tn, 0,07 €/m³ γκρίζου νερού. Συνεπώς, για μια τετραμελή οικογένεια με μέση παραγωγή γκρίζου νερού 98,1 (L/p.e./d) (Χαρχούση Δ., 2014), το ετήσιο κόστος των χημικών είναι συνολικά 10 €

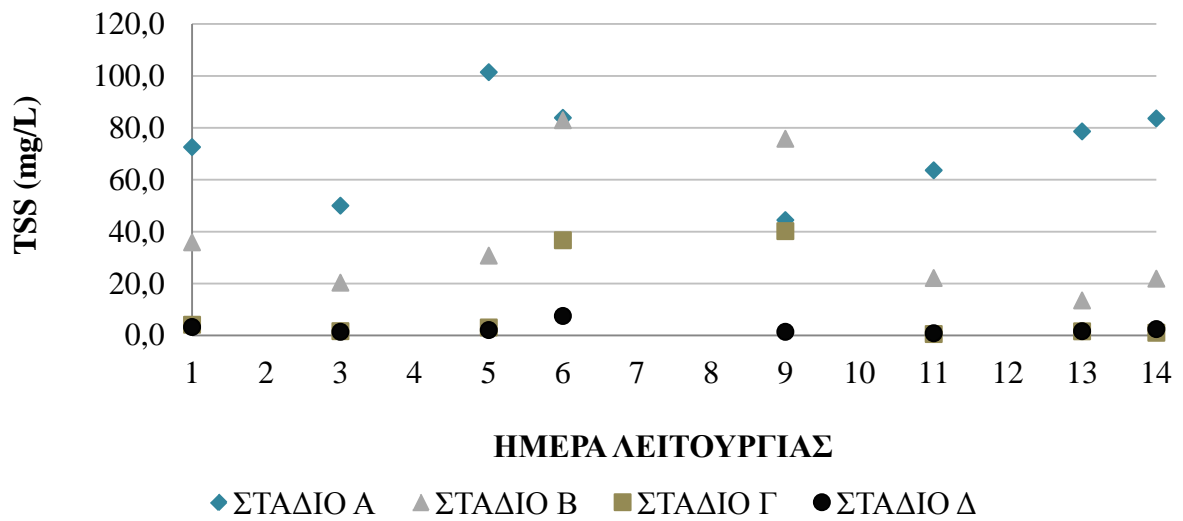
Στα επόμενα Σχήματα (4.10-4.17) παρουσιάζονται, για την κάθε ποιοτική παράμετρο, η διακύμανσή της στα στάδια επεξεργασίας Α, Β, Γ και Δ, κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού.



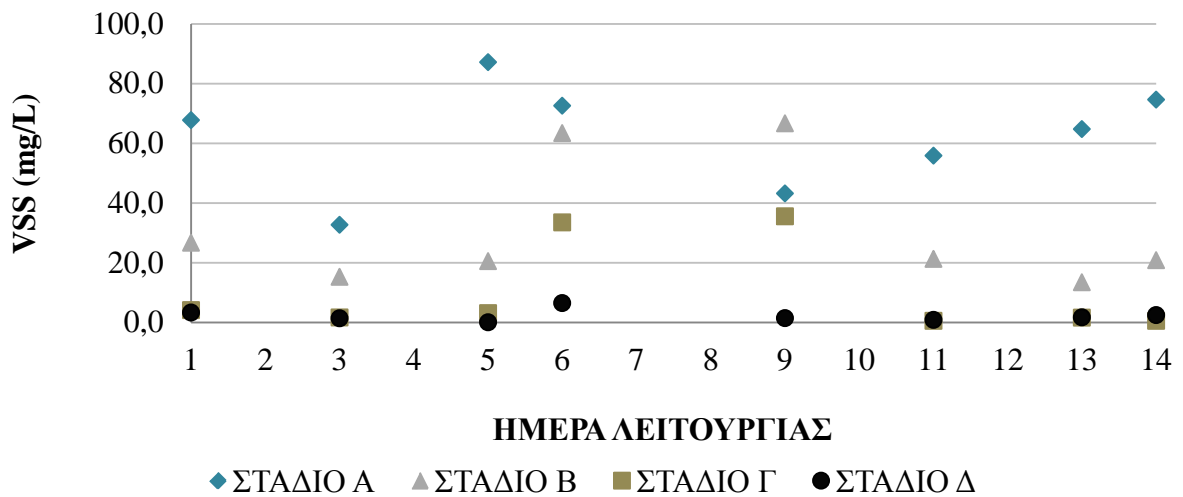
Σχήμα 4.10 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)



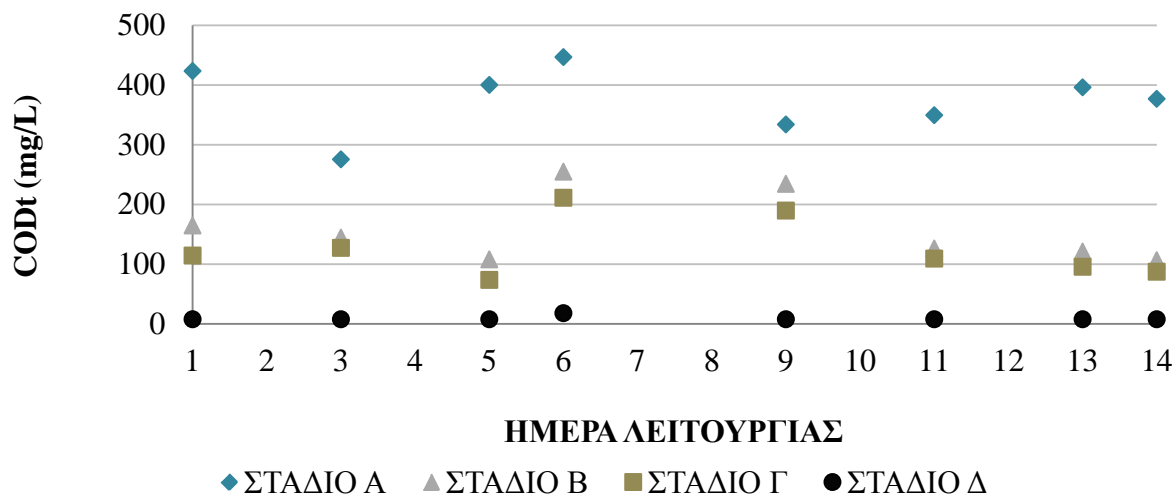
Σχήμα 4.11 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)



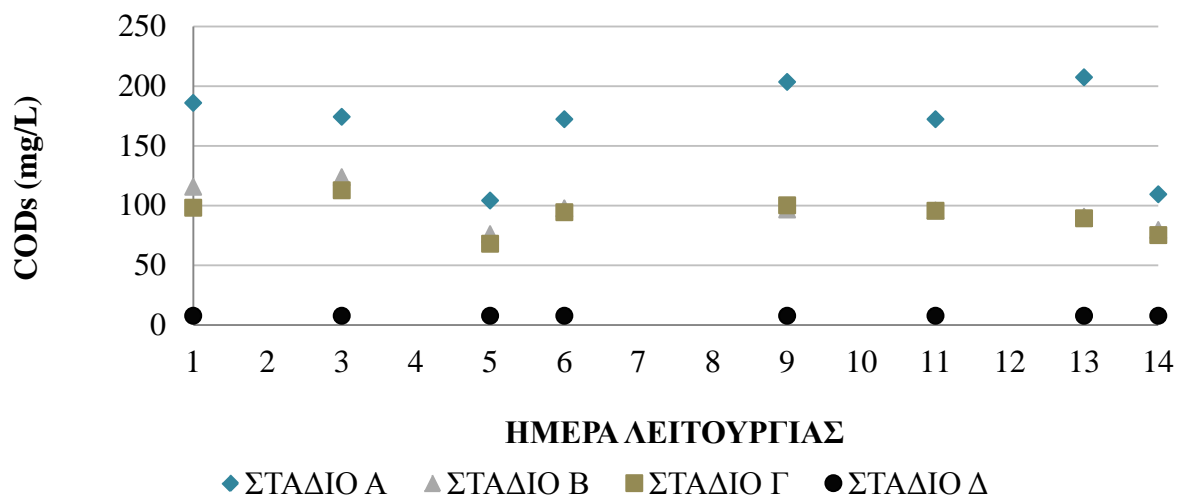
Σχήμα 4.12 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)



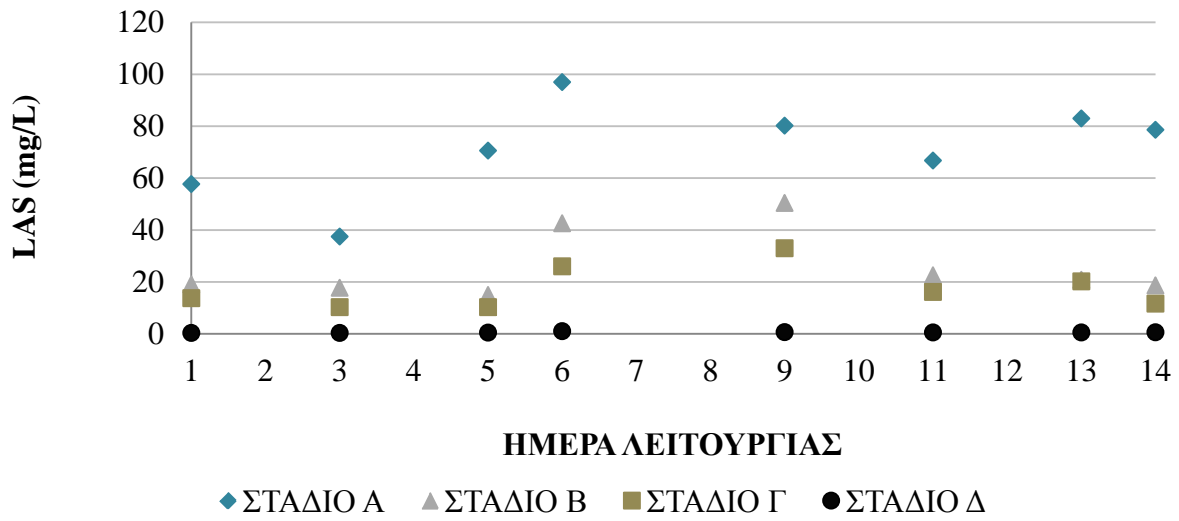
Σχήμα 4.13 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)



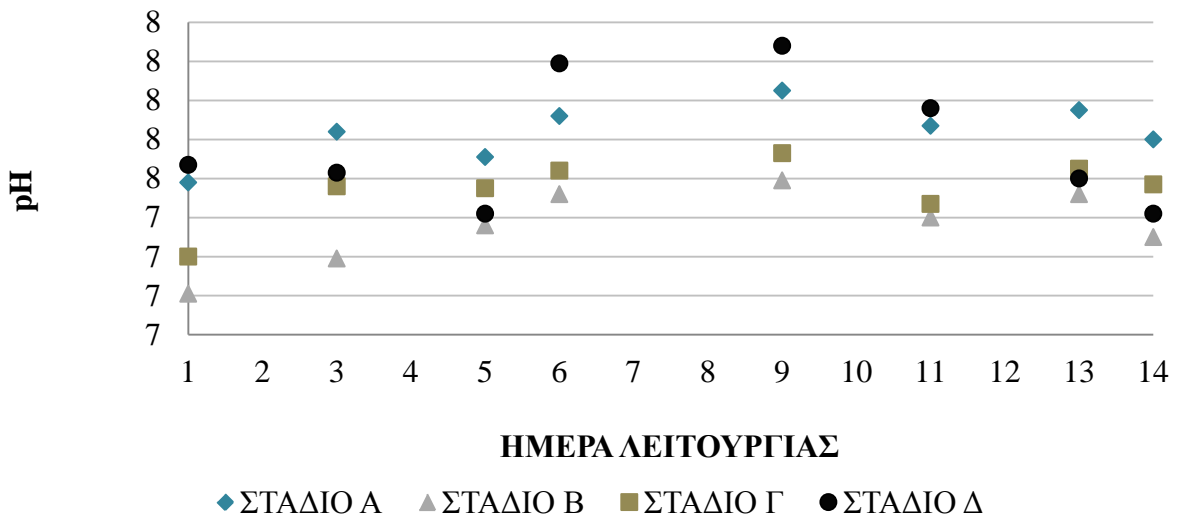
Σχήμα 4.14 CODt ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.15 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)



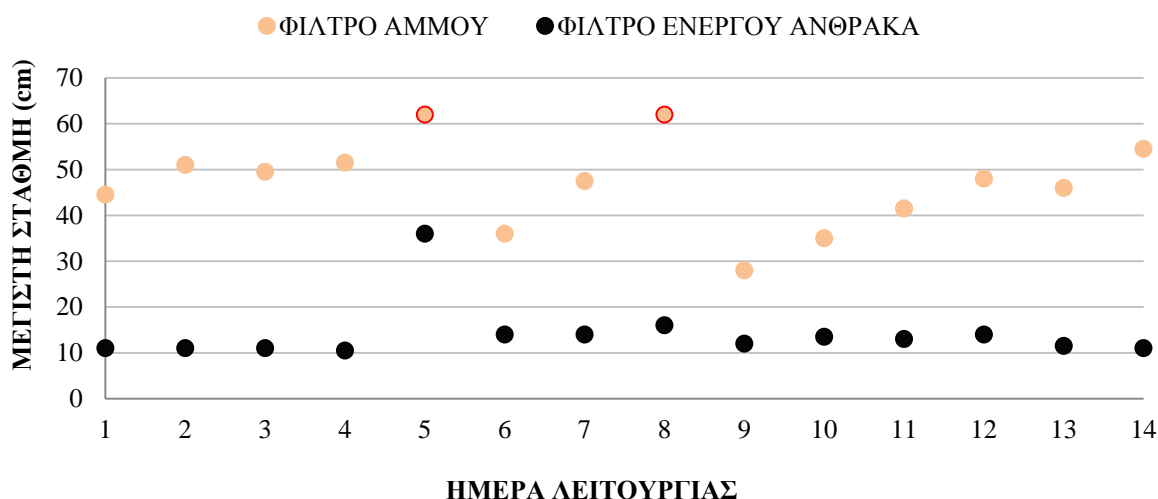
Σχήμα 4.16 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.17 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 1^{ου} κύκλου πειραμάτων)

Από τα παραπάνω Σχήματα, φαίνεται ότι τα μεγέθη που εμφάνιζαν τη μεγαλύτερη διακύμανση, κυρίως στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό, ήταν η θολότητα, τα αιωρούμενα στερεά και οι ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS).

Στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζονται οι στάθμες στην άμμο και στον ενεργό άνθρακα για κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος. Η έκπλυση της άμμου γινόταν κάθε 6 ημέρες, όταν η στάθμη του γκρίζου νερού έφτανε στη στάθμη υπερχειλίσσης (σημεία με το κόκκινο περίγραμμα). Επισημαίνεται ότι η στάθμη στον ενεργό άνθρακα δεν υπερχείλισε ποτέ, αλλά παρόλα αυτά, η έκπλυσή του γινόταν τις ίδιες ημέρες με την άμμο, με στόχο την απομάκρυνση των στερεών που είχε κατακρατήσει.



Σχήμα 4.18 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (1^{ος} κύκλος πειραμάτων)

Συνοψίζοντας, στο συγκεκριμένο σύστημα επεξεργασίας, η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, της θολότητας, του σωματιδιακού COD και των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS) πραγματοποιείται κυρίως στη δεξαμενή καθίζησης, ενώ του διαλυτού COD λόγω διύλισης μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων που αφορά στα ποιοτικά και χημικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 1^ο κύκλο πειραμάτων

Στάδιο επεξεργασίας	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Θολότητα (NTU)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	COD _t (mg/L)	COD _s (mg/L)	LAS (mg/L)	pH (-)
A	519±106,4	79,2±36,3	72,3±18,9	62,3±17,7	375±54,6	166±39,1	71±18	7,84±0,15
B	568±73	23,8±19,30	37,9±26,53	31,0±21,40	157±57,3	96,9±16,3	26±13	7,36±0,19
Γ	576±71,4	6,79±10,69	11,10±16,93	10,05±15,15	126±49,2	91,6±14,2	18±8	7,55±0,16
Δ	606±63	1,67±1,63	2,56±2,13	2,17±1,98	8,78±3,63	7,50	0,6±0,2	7,77±0,33

4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

Στον κύκλο αυτό χρησιμοποιήθηκε το σύστημα κροκίδωση – καθίζηση – φίλτρο άμμου – φίλτρο ενεργού άνθρακα και έγινε επεξεργασία ενός μείγματος από κουζίνα, μπιανέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρα.

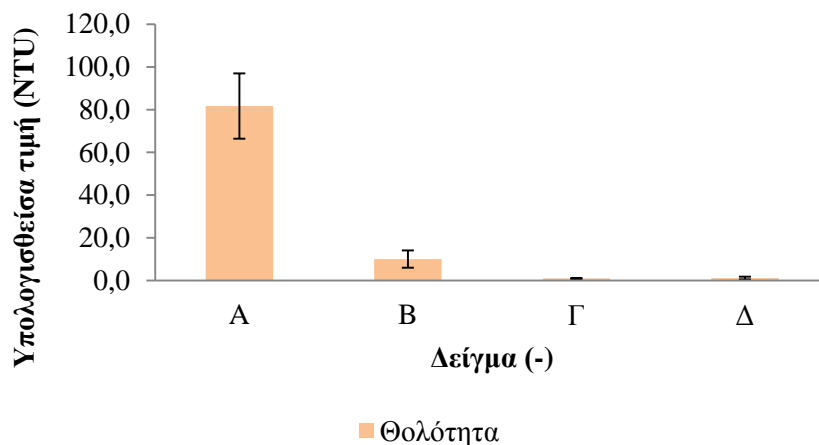
Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέσες τιμές των εξεταζόμενων παραμέτρων του ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού και της τελικής εκροής του συστήματος. Συγκρίνοντας το μείγμα γκρίζου νερού της εισόδου με δεδομένα από τη βιβλιογραφία σχετικά με τις μεμονωμένες ροές του, φαίνεται ότι η προσθήκη του 1/3 της κουζίνας δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τα ποιοτικά και χημικά χαρακτηριστικά του μείγματος. Πιο συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις των παραμέτρων του μείγματος είναι παρόμοιες με αυτές που υπάρχουν και στις ροές από το μπάνιο (ασθενείς ροές). Μόνες εξαιρέσεις αποτελούν η θολότητα και η αγωγιμότητα, οι οποίες είναι λίγο πιο αυξημένες. Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας, η θολότητα, στο 50% των δειγμάτων είναι μικρότερη από 2 NTU και τα στερεά, στο 80% των δειγμάτων έχουν συγκέντρωση μικρότερη των 10 mg/L, γεγονός που καθιστά την εκροή κατάλληλη για όλες τις πιθανές χρήσεις που αναφέρονται στην Κ.Υ.Α. 145116/2011. Σημειώνεται ότι το σύστημα αυτό δεν επιτυγχάνει ικανοποιητική απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών και απαιτείται και ένα στάδιο απολύμανσης.

Πίνακας 4.5 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στο 2^ο πειραματικό κύκλο

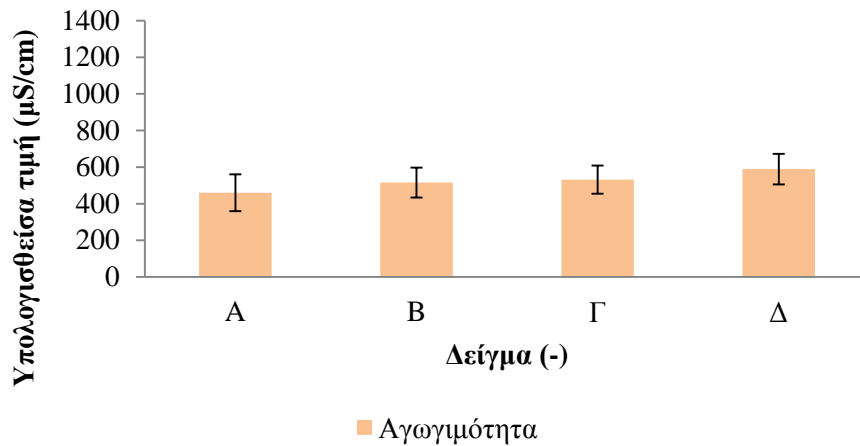
Παράμετρος	Στάδιο επεξεργασίας	
	A	Δ
Αγωγιμότητα (μS/cm)	460±100,6	589±83
Θολότητα (NTU)	81,7±15,3	1,16±0,65
TSS (mg/L)	86,7±13,1	2,91±2,47
VSS (mg/L)	78±20,1	2,91±2,47
CODt (mg/L)	392±81,2	34,66±56,6
CODs (mg/L)	180±63,8	24,46±36,23
LAS (mg/L)	59±16	0,7±0,2
pH	7,46±0,36	7,20±0,43

Στη συνέχεια αυτής της παραγράφου γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ανά στάδιο επεξεργασίας.

Η θολότητα στο γκριζο νερό οφείλεται κυρίως στην παρουσία στερεών. Το παρόν σύστημα μπορεί να επιτύχει σημαντική απομάκρυνση αυτών, προκαλώντας και την ταυτόχρονη μείωση της σε κάθε στάδιο επεξεργασίας, με τη μεγαλύτερη απομάκρυνση (88%) να επιτυγχάνεται λόγω καθίζησης (από 81,7 NTU σε 10 NTU) (Σχήμα 4.19). Επίσης, στο σημείο A (ανεπεξεργαστο μείγμα), παρατηρείται ότι η θολότητα παρουσιάζει σημαντική διακύμανση εξαιτίας της προσθήκης της κουζίνας, η οποία έχει αρκετά μεταβαλλόμενη σύσταση. Αντιθέτως, η αγωγιμότητα παρουσιάζει μια αμελητέα αύξηση καθώς οδηγούμαστε στην έξοδο του συστήματος επεξεργασίας, χωρίς να εμφανίζει αξιόλογες διακυμάνσεις σε κανένα στάδιο (Σχήμα 4.20).

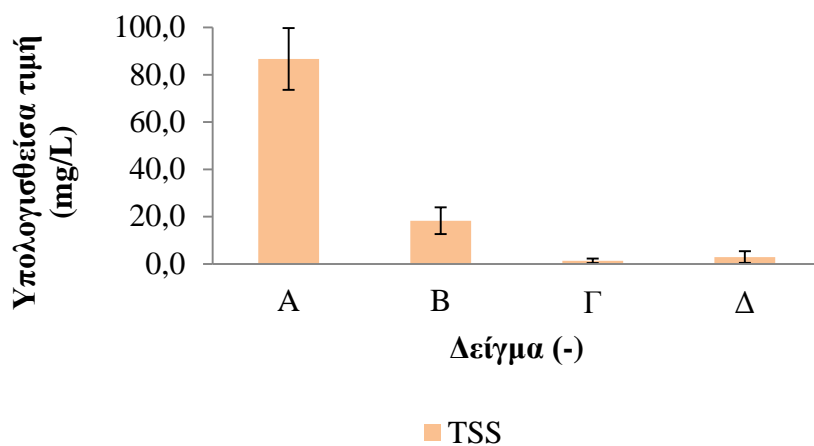


Σχήμα 4.19 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

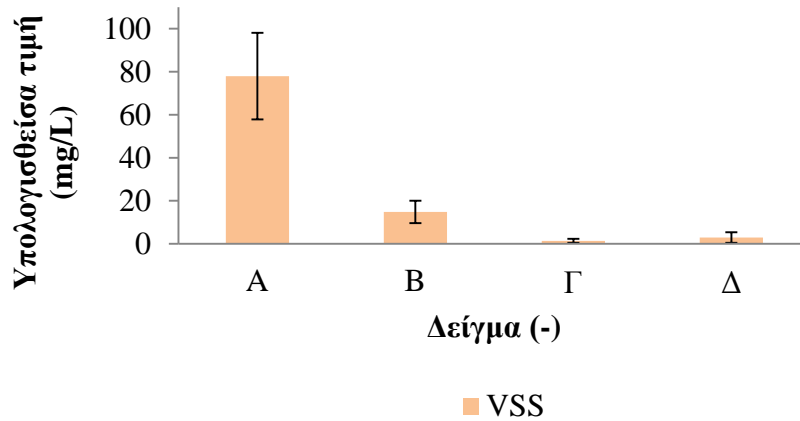


Σχήμα 4.20 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

Η σύνδεση της θολότητας και των στερεών γίνεται εμφανής μελετώντας και τα αποτελέσματα που αφορούν τα TSS και VSS. Σε αυτά, η μείωση κατά την καθίζηση είναι της τάξεως του 79% και 81% αντίστοιχα, ενώ τα πτητικά αιωρούμενα στερεά αποτελούν το 90% των ολικών αιωρούμενων. Από τα Σχήματα 4.21 και 4.22 φαίνεται επίσης, ότι ήδη από το αμμόφιλτρο έχει επιτευχθεί η μέγιστη απομάκρυνση στερεών, κάνοντας σαφές ότι η παρουσία του GAC σε συστήματα με κροκίδωση δεν συνεισφέρει ιδιαίτερα στην απομάκρυνση τους.

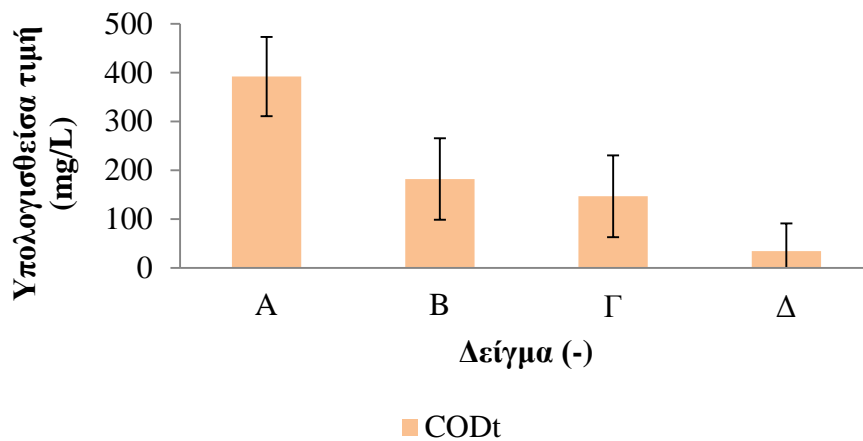


Σχήμα 4.21 Μέση τιμή των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

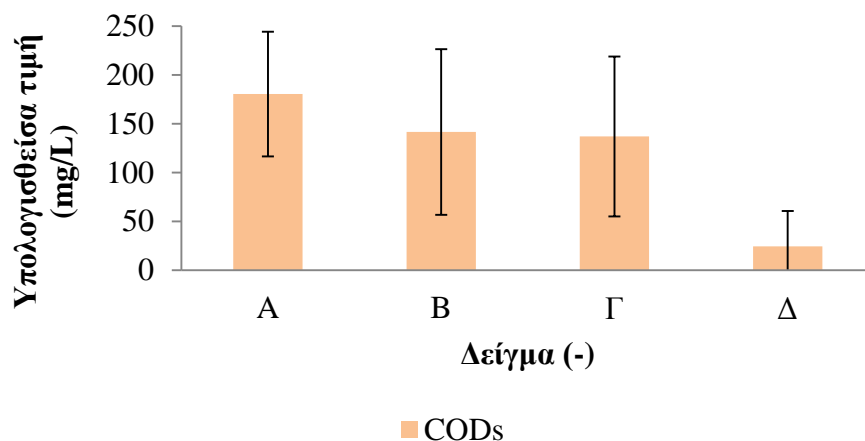


Σχήμα 4.22 Μέση τιμή των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

Το ολικό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (CODt) ελαττώνεται λόγω της επεξεργασίας και μπορεί να φτάσει τιμές μικρότερες των 35 mg/L στην έξοδο του συστήματος. Η μεγαλύτερη μείωση στο σωματιδιακό COD προκαλείται λόγω της καθίζησης (από 212 σε 41 mg/L), ενώ στο διαλυτό επιτυγχάνεται με τον ενεργό άνθρακα (72%). Η διύλιση μέσω του αμμόφιλτρου δε συμμετέχει ιδιαίτερα στην απομάκρυνση του COD, όπως φαίνεται και από τα Σχήματα 4.23-4.24. Επίσης, μελετώντας τα αποτελέσματα φαίνεται η σχέση ανάμεσα στο σωματιδιακό COD και τα VSS.

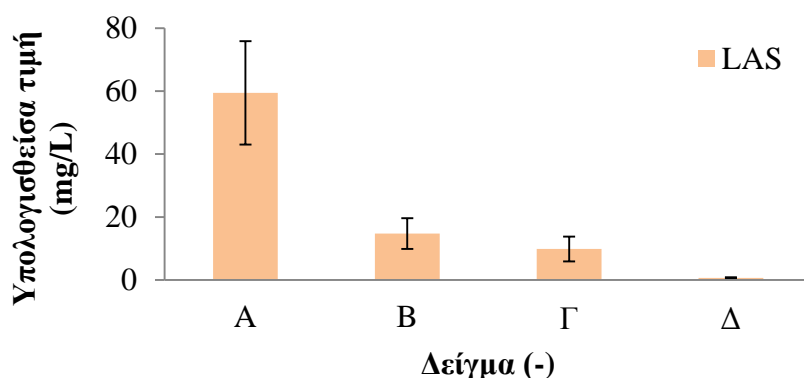


Σχήμα 4.23 Μέση τιμή του CODt για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

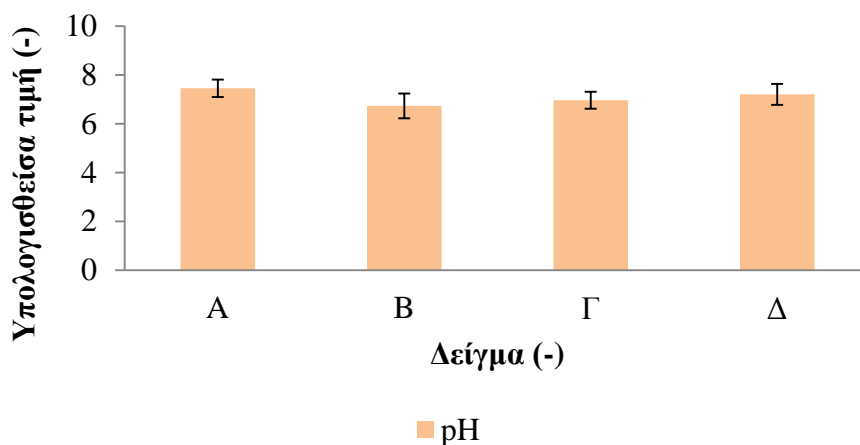


Σχήμα 4.24 Μέση τιμή του CODs για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

Οι ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS) μειώνονται κυρίως εξαιτίας της καθίζησης, δηλαδή μεταξύ των σημείων A και B (από 81,7 mg/L σε 10 mg/L). Στην εκροή του συστήματος, η συγκεντρώσεις τους είναι μικρότερες από 2 mg/L (Σχήμα 4.25). Το pH παραμένει σχεδόν σταθερό κοντά στο 7 σε όλα τα στάδια επεξεργασίας, εμφανίζοντας μόνο μια ελάχιστη μείωση λόγω της προσθήκης του κροκιδωτικού (Σχήμα 4.26).



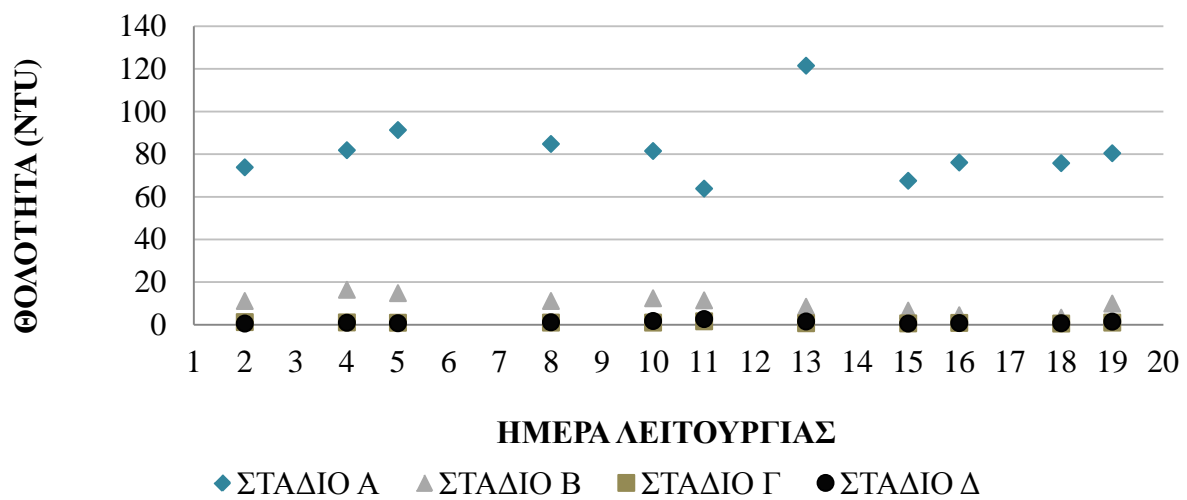
Σχήμα 4.25 Μέση τιμή των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων



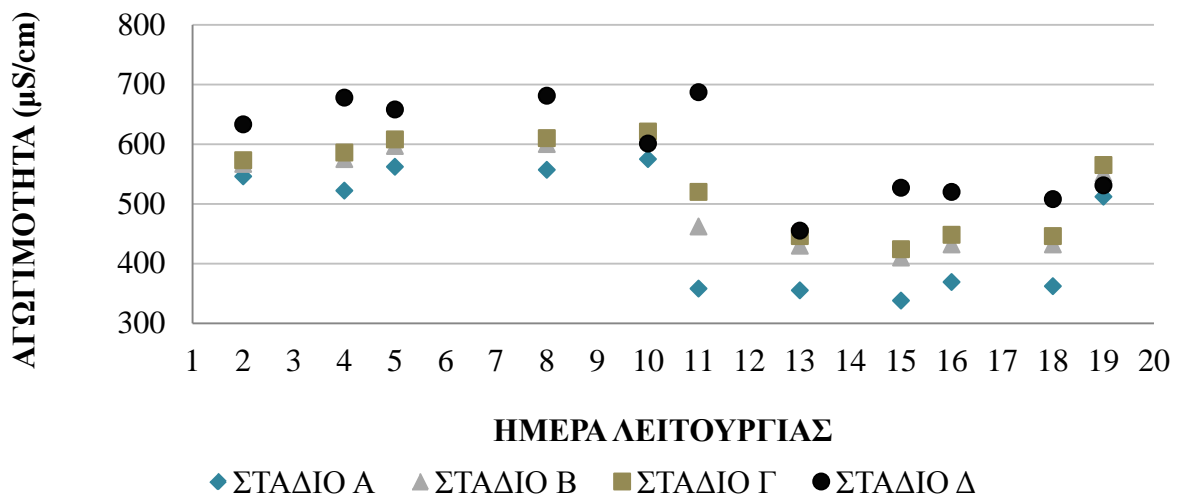
Σχήμα 4.26 Μέση τιμή του pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 2^{ου} κύκλου πειραμάτων

Η μέση ημερήσια παραγωγή της ιλύος ήταν 100 mL και μετά από 20 ημέρες λειτουργίας παρήχθησαν 1300 mL. Στη λάσπη αυτή έγινε μέτρηση των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών και προέκυψε ότι τα TSS είχαν συγκέντρωση ίση με 12359 mg/L, ενώ τα VSS, 8629 mg/L (πτητικά : 70% των TSS). Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι ετησίως, το σύστημα αυτό παράγει 293 g ιλύος με όγκο 23,7 L. Επίσης, πρέπει να προστεθεί ότι η μεγάλη περιεκτικότητά της ιλύος σε οργανικά στερεά δεν επιτρέπει μεγάλο χρόνο αποθήκευσης της λόγω της ανάπτυξης οσμών. Τέλος, όσον αφορά το εκτιμώμενο κόστος του κροκιδωτικού, ισχύουν όσα έχουν γραφτεί στην παράγραφο 4.2, αφού το μέγεθος της δόσης παρέμεινε το ίδιο (200 mg/L).

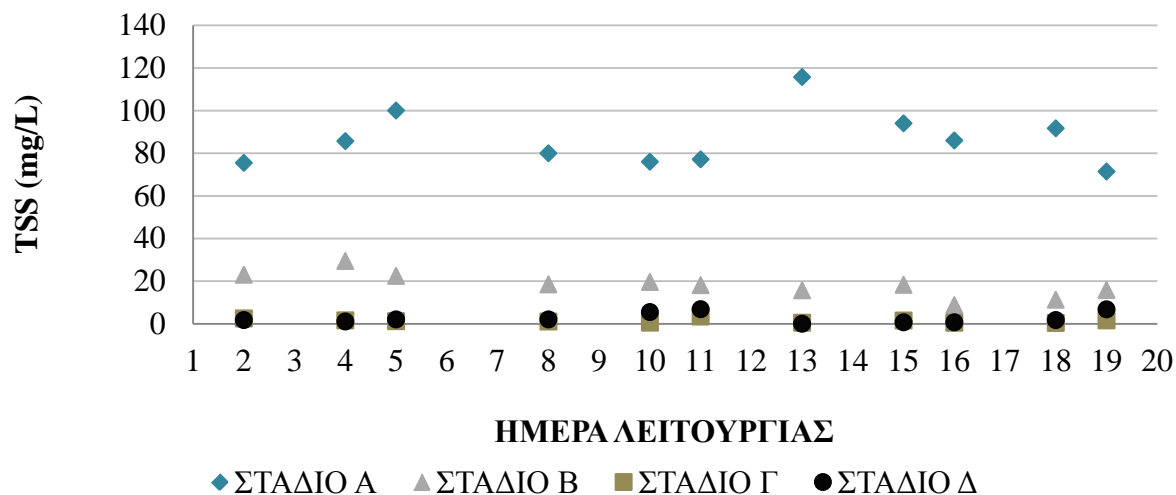
Στα Σχήματα 4.27-4.34 παρουσιάζονται, για την κάθε ποιοτική παράμετρο, η διακύμανσή της στα στάδια επεξεργασίας A, B, Γ και Δ, σε κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού. Αρκετά μεγάλη διακύμανση εμφανίζουν τα CODt (Σχήμα 4.31) και CODs (Σχήμα 4.32), ενώ παρατηρείται ότι τα LAS μειώνονται συνεχώς όσο περνάνε οι μέρες (Σχήμα 4.33). Γίνεται επίσης περισσότερο κατανοητή η σχέση ανάμεσα στα στερεά και τη θολότητα (Σχήματα 4.27 και 4.29-4.30), παρατηρώντας ότι τις ημέρες που η συγκέντρωση των TSS ήταν υψηλή, το γκρίζο νερό ήταν πιο θολό.



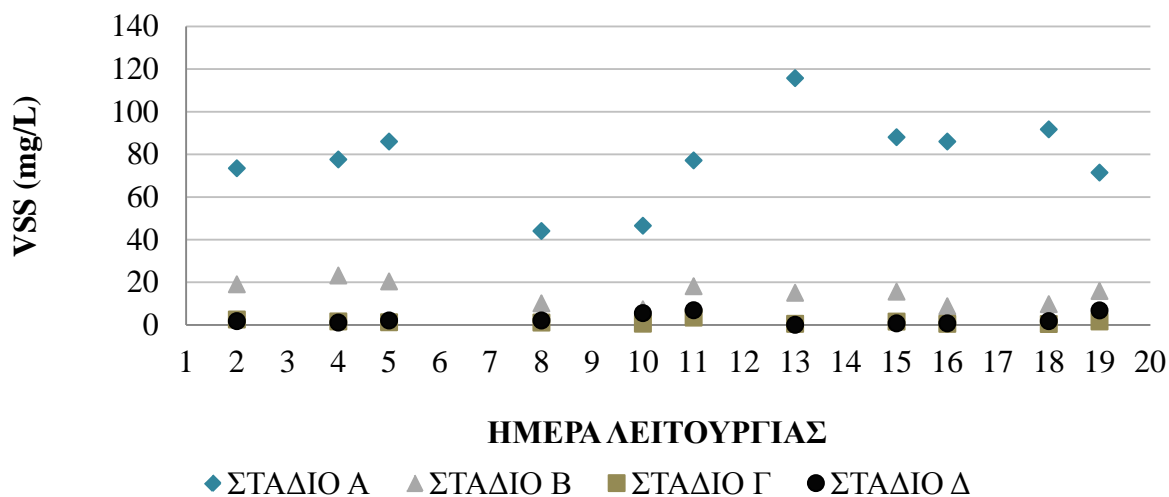
Σχήμα 4.27 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^{ου} κύκλου πειραμάτων)



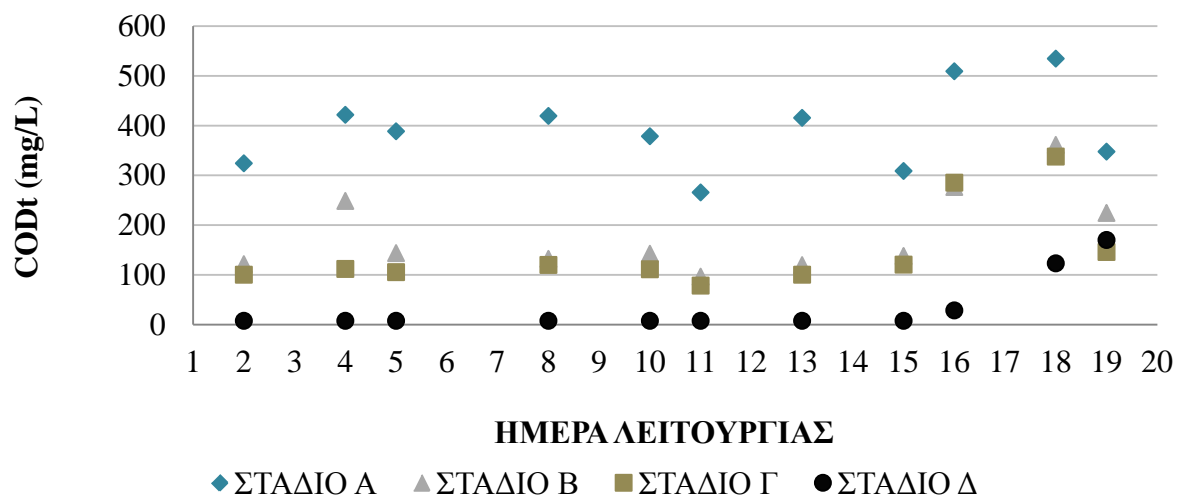
Σχήμα 4.28 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^{ου} κύκλου πειραμάτων)



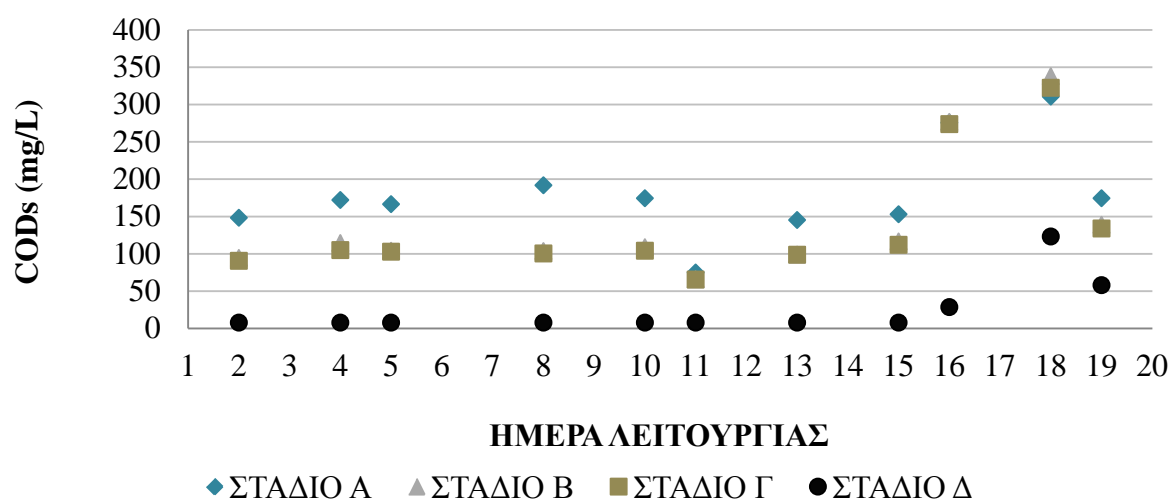
Σχήμα 4.29 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^ο κύκλου πειραμάτων)



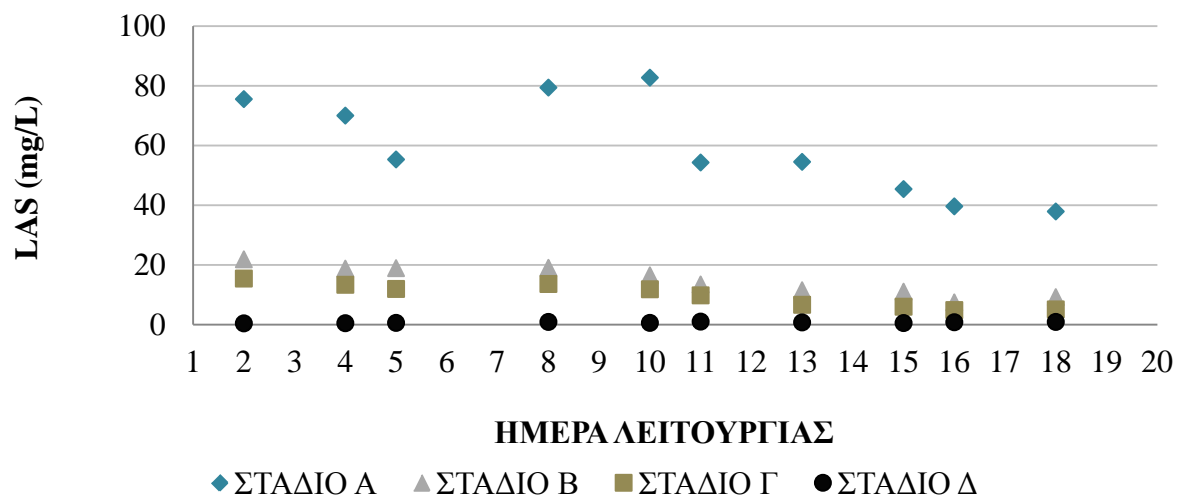
Σχήμα 4.30 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^ο κύκλου πειραμάτων)



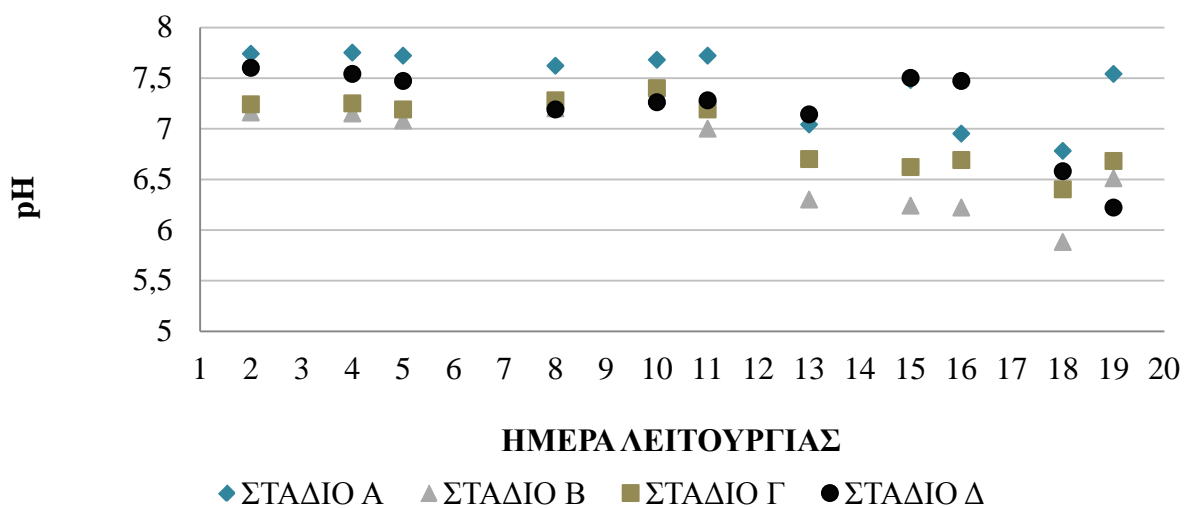
Σχήμα 4.31 CODt ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^{οβ} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.32 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^{οβ} κύκλου πειραμάτων)

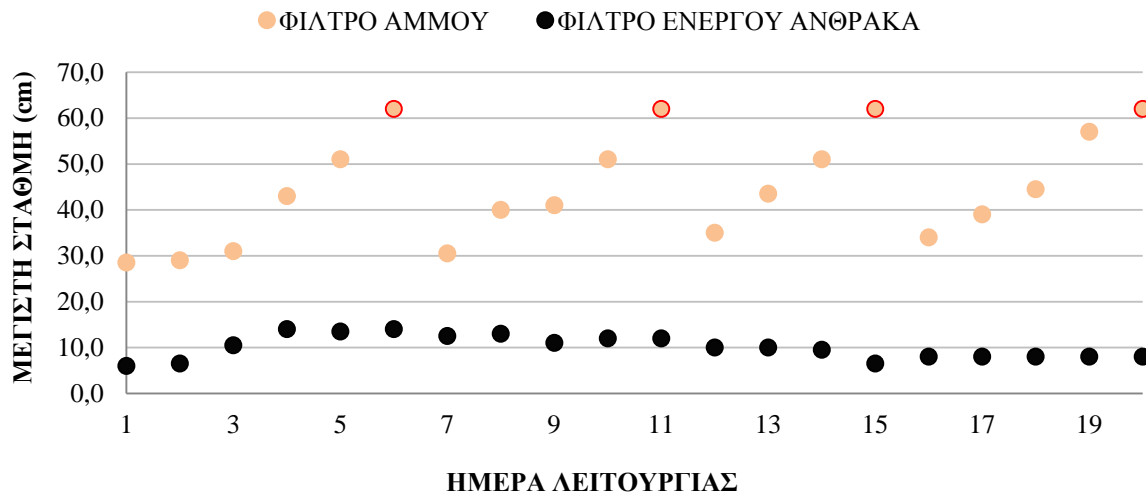


Σχήμα 4.33 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.34 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 2^{ου} κύκλου πειραμάτων)

Στο πείραμα αυτό χρησιμοποιήθηκε καινούργια άμμος και ενεργός άνθρακας, τα οποία είχαν πλυθεί με απιονισμένο νερό και ξηρανθεί για μία τουλάχιστον ημέρα στο φούρνο των 103 °C. Στο Σχήμα 4.35 φαίνονται οι στάθμες στα φίλτρα της άμμου και του ενεργού άνθρακα για κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος. Η έκπλυση της άμμου γινόταν κάθε 4 περίπου ημέρες, όταν η στάθμη του γκρίζου νερού έφτανε στη στάθμη υπερχειλίσσης (σημεία με το κόκκινο περίγραμμα). Ο ενεργός άνθρακας δεν υπερχειλίστηκε ποτέ και η έκπυξή του γινόταν κατά προσέγγιση κάθε 8 ημέρες λειτουργίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι μέχρι το πέρας των πειραμάτων, είχε χάσει σχεδόν όλη την προσροφητική του ικανότητα, γεγονός που φαίνεται από τη μη ικανοποιητική απομάκρυνση του COD μεταξύ των σημείων Γ και Δ τις τελευταίες μέρες του κύκλου (Σχήμα 4.31).



Σχήμα 4.35 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (2^{ος} κύκλος πειραμάτων)

Σε αυτό το σύστημα επεξεργασίας, η απομάκρυνση των κύριων ρύπων στο γκρίζο νερό γίνεται με όμοιο τρόπο με αυτόν του συστήματος του προηγούμενου κύκλου. Ειδικότερα, τα αιωρούμενα στερεά, η θολότητα, το σωματιδιακό COD και οι ανιονικές τασιενεργές ουσίες (LAS) συσσωρεύονται κυρίως στην καθίζηση, σε αντίθεση με το διαλυτό COD, που προσροφάται στο φίλτρο του ενεργού άνθρακα.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων που αφορά τα ποιοτικά και χημικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας συνοψίζονται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 2^ο κύκλο πειραμάτων

Στάδιο επεξεργασίας	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Θολότητα (NTU)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	COD _t (mg/L)	COD _s (mg/L)	LAS (mg/L)	pH (-)
A	460±100,6	81,7±15,3	86,7±13,1	78,0±20,1	392±81,2	180±63,8	59±16	7,46±0,36
B	516±81	10,0±4,04	18,3±5,65	14,8±5,21	182±83,4	141,6±84,8	15±5	6,73±0,51
Γ	532±76,9	0,96±0,29	1,36±0,94	1,36±0,94	147±83,8	137,0±81,9	10±4	6,97±0,35
Δ	589±83	1,16±0,65	2,91±2,47	2,91±2,47	34,66±56,6	24,46±36,23	0,7±0,2	7,20±0,43

4.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 3^{ου} κύκλου πειραμάτων

Στον 3^ο πειραματικό κύκλο, το μείγμα γκρίζου νερού περιλάμβανε τις ροές της μπανιέρας, του νιπτήρα, του πλυντηρίου ρούχων και ολόκληρης της κουζίνας. Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά της εισόδου (Πίνακας 4.7) με βιβλιογραφικές πηγές (Χαρχούση Δ., 2014), φαίνεται ότι η προσθήκη της κουζίνας αυξάνει σημαντικά τη θολότητα και το COD, το οποίο είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των «ασθενών ροών». Αντιθέτως, τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (TSS και VSS αντίστοιχα) είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με αυτά της μπανιέρας, όπως και η αγωγιμότητα. Το pH είναι παρόμοιο με αυτό της κουζίνας, ενώ τα LAS εμφανίζουν την ίδια χαμηλή συγκέντρωση με αυτή του νιπτήρα. Συνοψίζοντας, φαίνεται ότι με την προσθήκη ολόκληρης της κουζίνας μεταβάλλονται κυρίως η θολότητα, το pH, το COD και τα LAS.

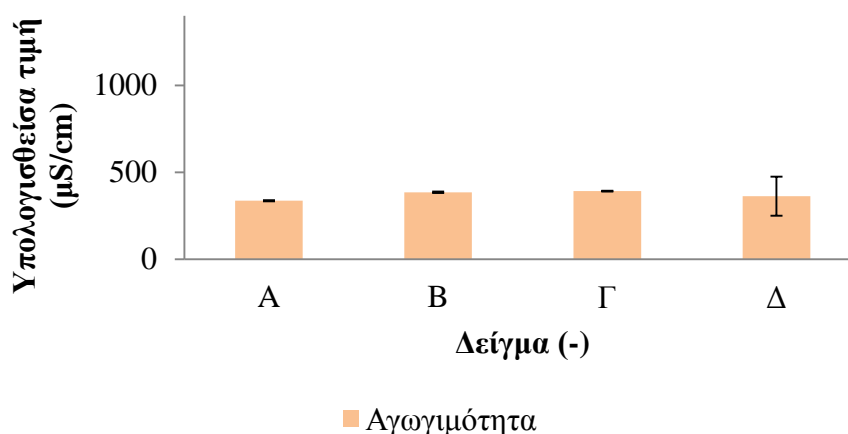
Σε ότι αφορά την τελική εκροή του συστήματος (Πίνακας 4.7), οι τελικές τιμές της θολότητας και των ολικών αιωρούμενων στερεών (0,63 NTU και 1,45 mg/L αντίστοιχα), την καθιστούν κατάλληλη για επαναχρησιμοποίηση (περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, περιαστική και αστική χρήση), σύμφωνα με τα όρια που θέτει η ελληνική νομοθεσία.

Πίνακας 4.7 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στον 3^ο πειραματικό κύκλο

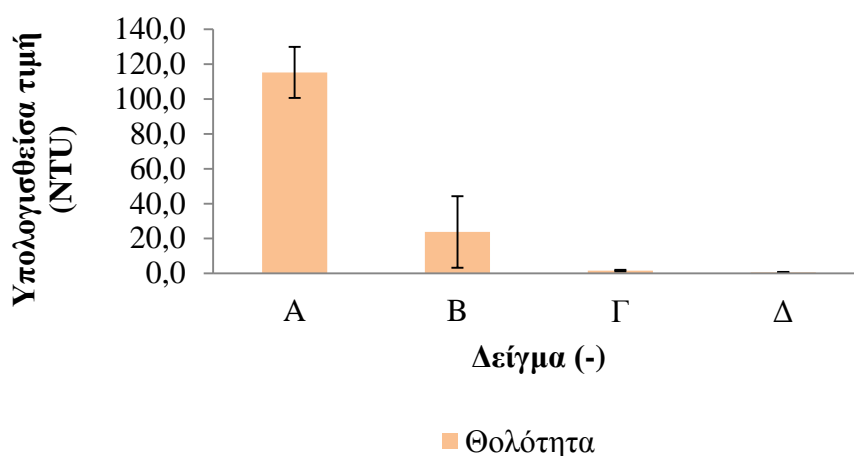
Παράμετρος	Στάδιο επεξεργασίας	
	A	Δ
Αγωγιμότητα (μS/cm)	337±3,4	363±112
Θολότητα (NTU)	115,3±14,6	0,63±0,25
TSS (mg/L)	83±10,9	1,45±1,55
VSS (mg/L)	73,9±9,6	1,45±11,55
CODt (mg/L)	672±241,2	< 15
CODs (mg/L)	419±223,2	< 15
LAS (mg/L)	39±11	0,4±0,2
pH	7,13±0,23	6,81±0,65

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος ανά στάδιο επεξεργασίας αναλύεται στη συνέχεια αυτής της ενότητας.

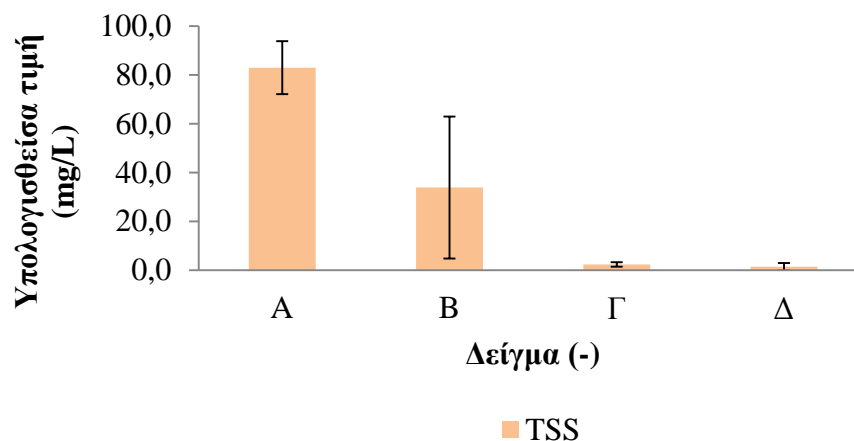
Στον 3^ο κύκλο, η αγωγιμότητα δεν εμφανίζει ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις ανάλογα με τα στάδια επεξεργασίας, αν και παρουσιάζει μια αρκετά σημαντική διακύμανση στην έξοδο, μετά τη φίλτρανση από τον ενεργό άνθρακα (Σχήμα 4.36). Η θολότητα (Σχήμα 4.37) μειώνεται σε ποσοστό 80% λόγω της καθίζησης και 19% λόγω διύλισης μέσω του αμμόφιλτρου, ενώ η συνολική απόδοση του συστήματος, όσον αφορά στην απομάκρυνσή της, είναι μεγαλύτερη του 98% (είσοδος : 115 NTU, εκροή : 0,63 NTU). Παρόμοια εικόνα με αυτή της θολότητας παρουσιάζουν και τα αιωρούμενα στερεά, στα οποία ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης είναι η καθίζηση, με ποσοστό συμμετοχής 60% και ο δευτερεύων, η διύλιση μέσω του φίλτρου της άμμου (39%). Σημειώνεται, ότι τα πτητικά στερεά αποτελούν το 89% των ολικών (Σχήματα 4.38-4.39).



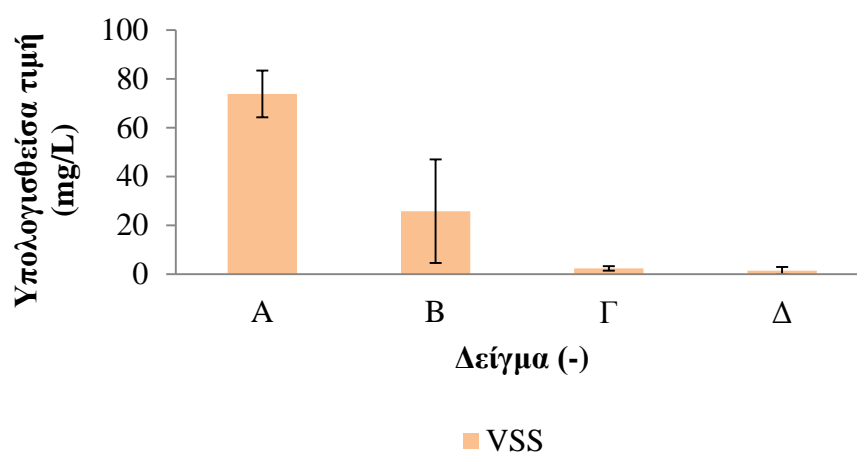
Σχήμα 4.37 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου



Σχήμα 4.36 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου



Σχήμα 4.38 Μέση τιμή των TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου

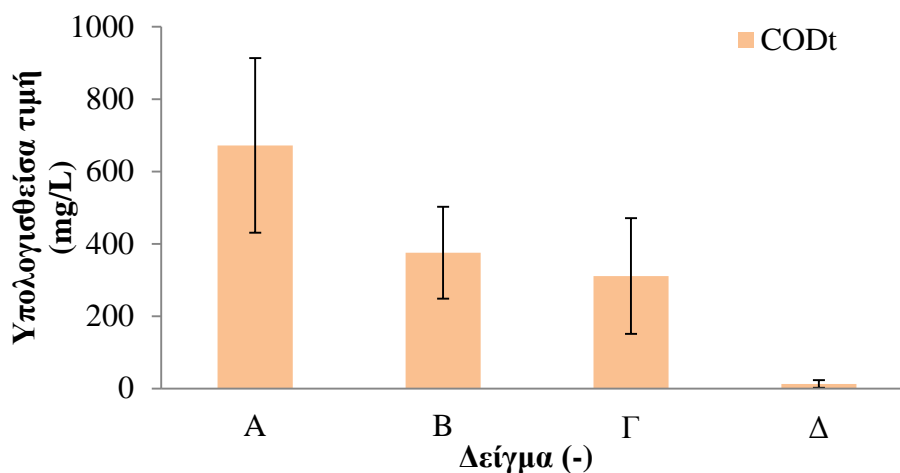


Σχήμα 4.39 Μέση τιμή των VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου

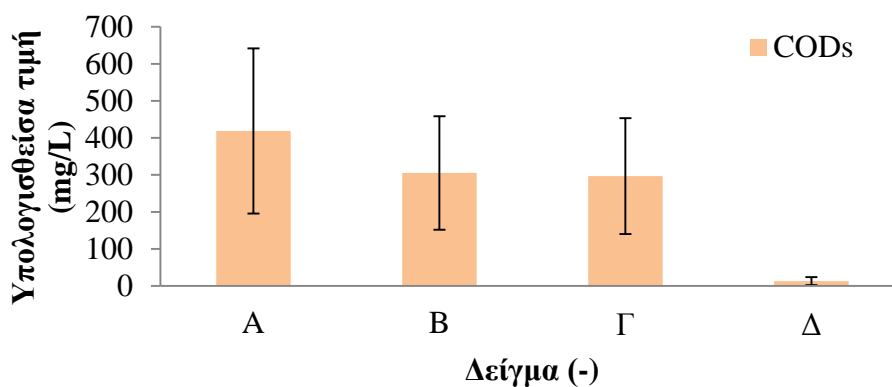
Παρατηρώντας επίσης τα Σχήματα 4.37-4.39, στο σημείο B, οι μέσες τιμές της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών έχουν σημαντική τυπική απόκλιση. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του μικρού αριθμού δειγμάτων που λήφθηκαν (4 δείγματα), αλλά και της αποτελεσματικότητας της καθίζησης.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του μείγματος, το ολικό και διαλυτό χημικά απαιτούμενο οξυγόνο παρουσιάζουν αυξημένες τιμές (672 mg/L και 419 mg/L αντίστοιχα), εξαιτίας της παρουσίας της κουζίνας. Παρόλα αυτά, η επεξεργασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ιδιαίτερα αποτελεσματική, αφού μπορεί να επιτύχει στην έξοδο του συστήματος τιμές

μικρότερες των 15 mg/L (~ 12,9 mg/L). Στην απομάκρυνση του COD_t, η καθίζηση και η διύλιση μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα συμμετέχουν σε ίδια ποσοστά (45%), ενώ για το COD_s καθοριστική διεργασία αποτελεί η προσρόφηση από τον GAC (ποσοστό συμμετοχής 78%). Εδώ, πρέπει να προστεθεί ότι η μορφή του COD που ευνοείται κυρίως από το σύστημα κροκίδωσης - καθίζησης είναι το σωματιδιακό COD (ποσοστό απομάκρυνσης 72%) (Σχήματα 4.40-4.41).



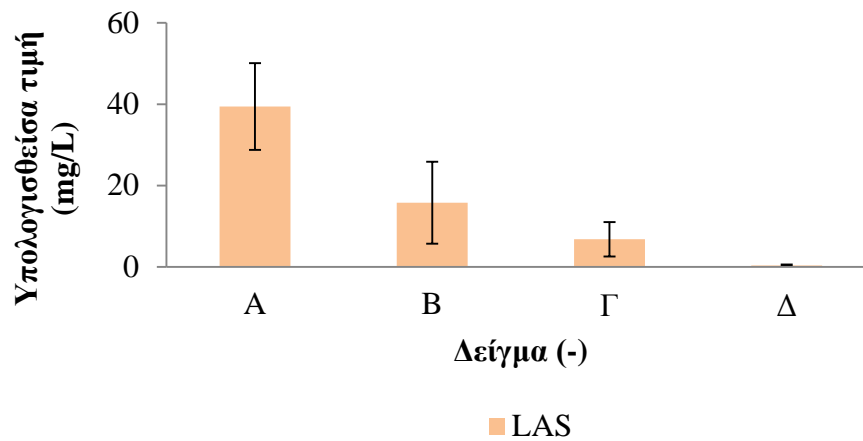
Σχήμα 4.40 Μέση τιμή του COD_t για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου



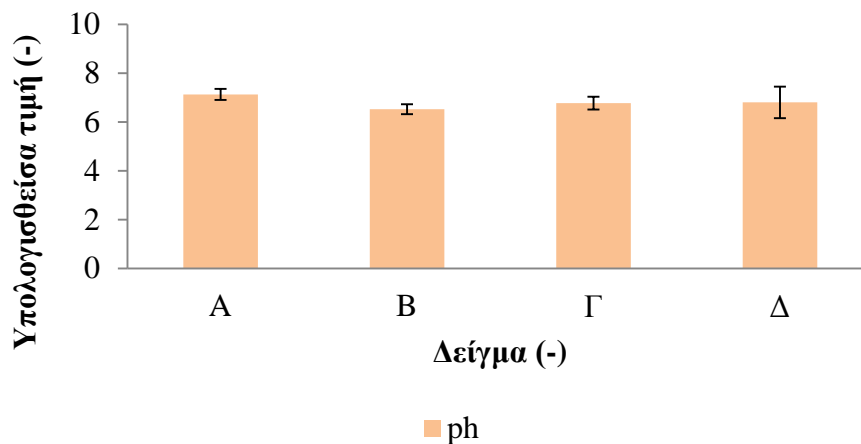
Σχήμα 4.41 Μέση τιμή του COD_s για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου

Ομοίως με τα προηγούμενα πειράματα, η μείωση των ανιονικών τασιενεργών ουσιών (LAS) οφείλεται κυρίως στο σύστημα κροκίδωση-συσσωμάτωση-καθίζηση (μείωση 61%) (Σχήμα 4.42), ενώ η συνολική απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερη από 98%. Το pH

παραμένει σχεδόν σταθερό σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας, αν και εμφανίζει μια αμελητέα μείωση λόγω της προσθήκης του θεικού αργιλίου (από 7,13 σε 6,53) (Σχήμα 4.43).



Σχήμα 4.42 Μέση τιμή των LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου



Σχήμα 4.43 Μέση τιμή του pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 3^{ου} κύκλου

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αναλύσεις για τις μικροοργανικές ενώσεις, πραγματοποιήθηκαν μόνο σε δείγματα της τελικής εκροής. Με βάση τα αποτελέσματα της διπλωματικής της Χαρχούση Δ. και λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό με το οποίο κάθε ροή συμμετέχει στο γκρίζο νερό, προκύπτουν τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.5, από τον οποίο φαίνεται ότι το σύστημα επιτυγχάνει πολύ καλή απομάκρυνση των εξεταζόμενων μικροοργανικών ουσιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο στάδιο A δεν αναγράφονται οι τυπικές

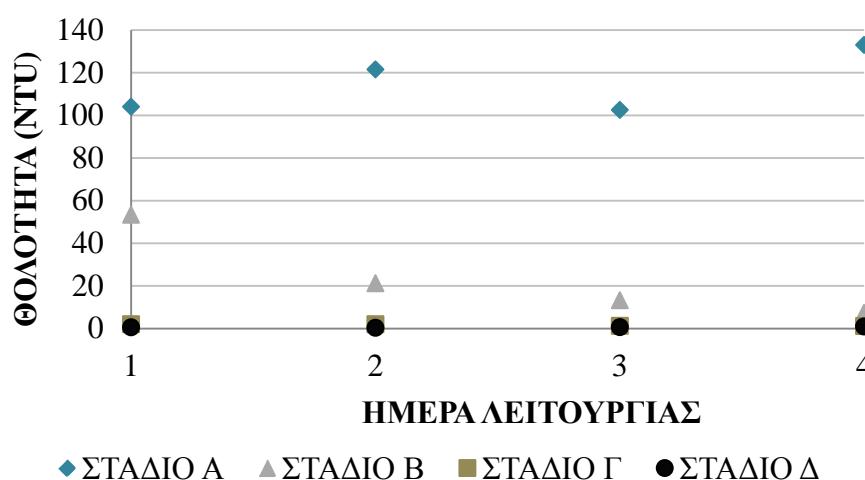
αποκλίσεις, διότι τα αποτελέσματα έχουν προκύψει από λογικές πράξεις με βάση τα δεδομένα των ξεχωριστών ροών και όχι από αναλύσεις. Παρατηρείται ότι η ουσία με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στο γκρίζο νερό είναι η NP, ενώ με τη μικρότερη η TCS.

Πίνακας 4.8 Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού στα στάδια Α και Δ του συστήματος του 3ου κύκλου πειραμάτων

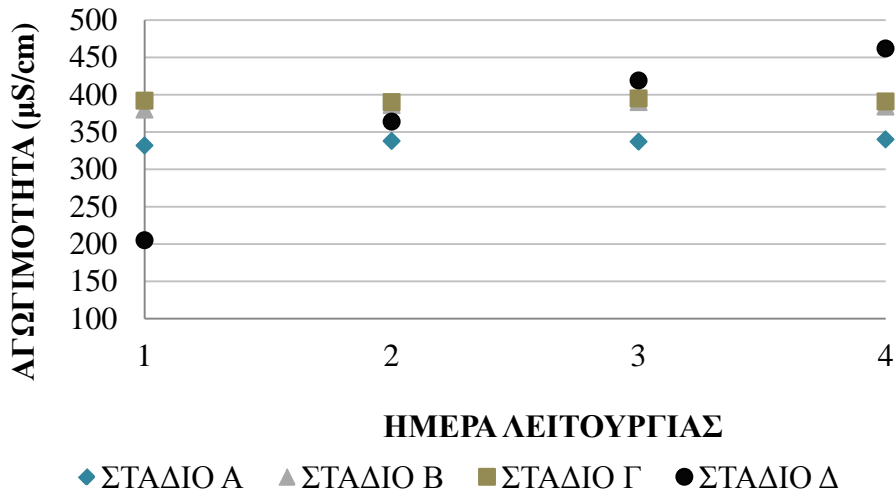
Στάδιο επεξεργασίας	NP (μg/L)	NP1EO (μg/L)	NP2EO (μg/L)	TCS (μg/L)	BPA (μg/L)
A	26,4	2,06	1,81	0,24	0,37
Δ	1,124±0,257	0,123	0,047	0,019±0,010	0,010±0,004

Η μέση ημερήσια παραγωγή της ιλύος ήταν 150 mL και μετά από 4 ημέρες λειτουργίας παρήχθησαν 500 mL. Στη λάσπη αυτή έγινε μέτρηση των ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών και προέκυψε ότι τα TSS είχαν συγκέντρωση ίση με 10411 mg/L, ενώ τα VSS, 8156 mg/L (78% των TSS). Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι ετησίως, το σύστημα αυτό παράγει 475 g ιλύος με όγκο 45,6 L. Όσον αφορά το εκτιμώμενο κόστος του κροκιδωτικού, ισχύουν όσα έχουν γραφτεί στην παράγραφο 4.2, αφού η δόση παρέμεινε ίδια (200 mg/L)

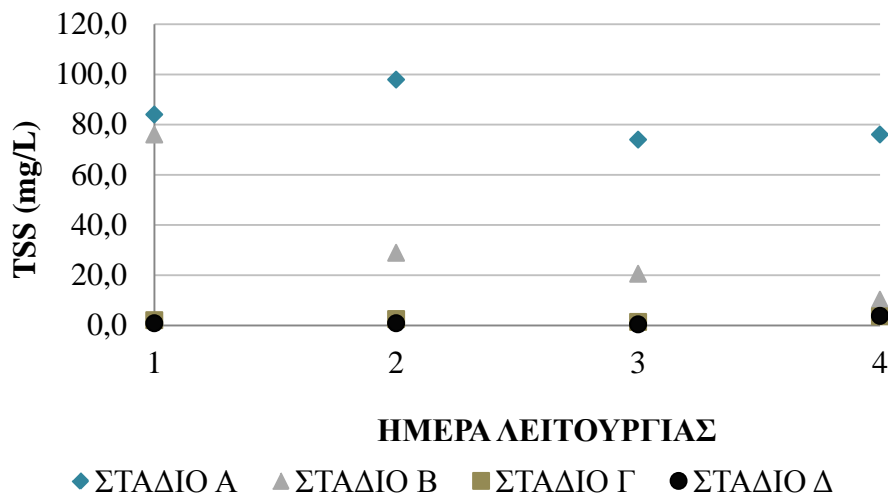
Στα σχήματα 4.44-4.51 παρουσιάζεται, για την κάθε ποιοτική παράμετρο, η διακύμανσή της στα στάδια επεξεργασίας Α, Β, Γ και Δ, για κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού.



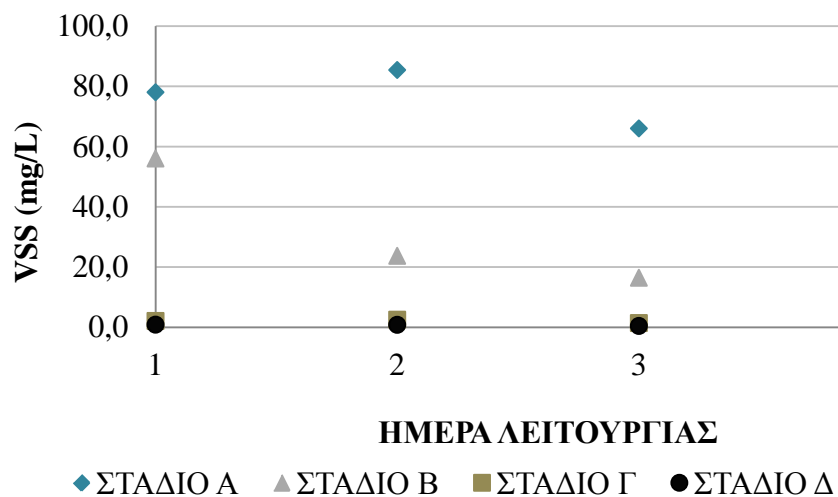
Σχήμα 4.44 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)



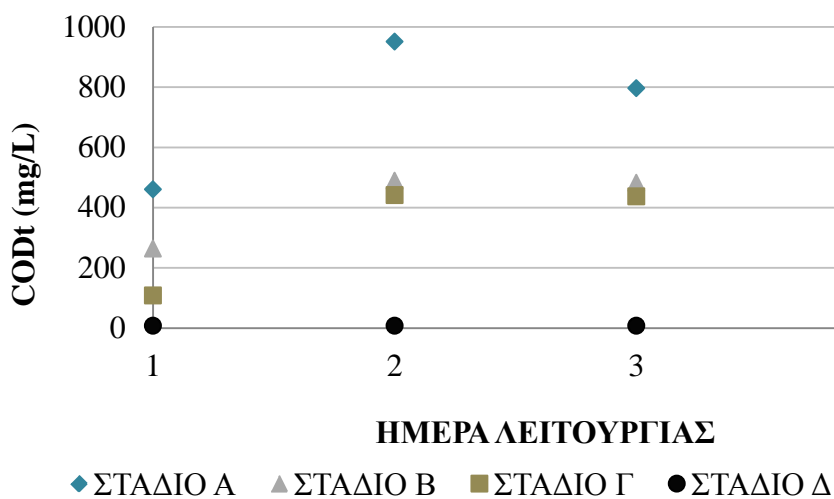
Σχήμα 4.45 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)



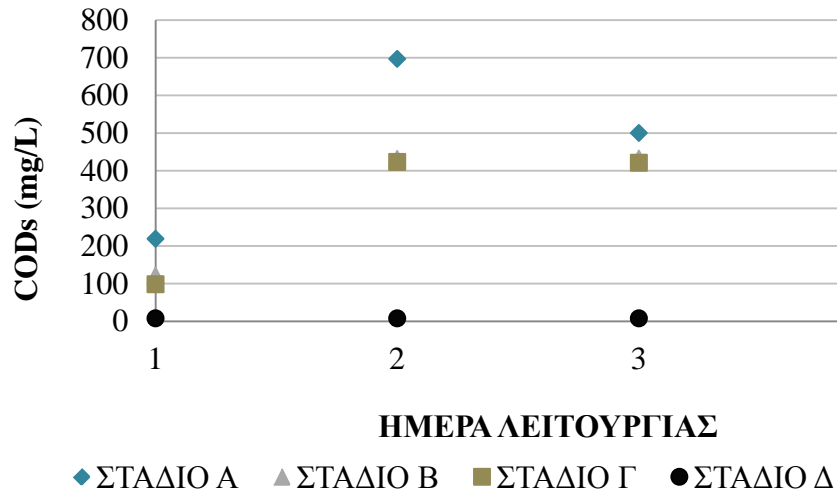
Σχήμα 4.46 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)



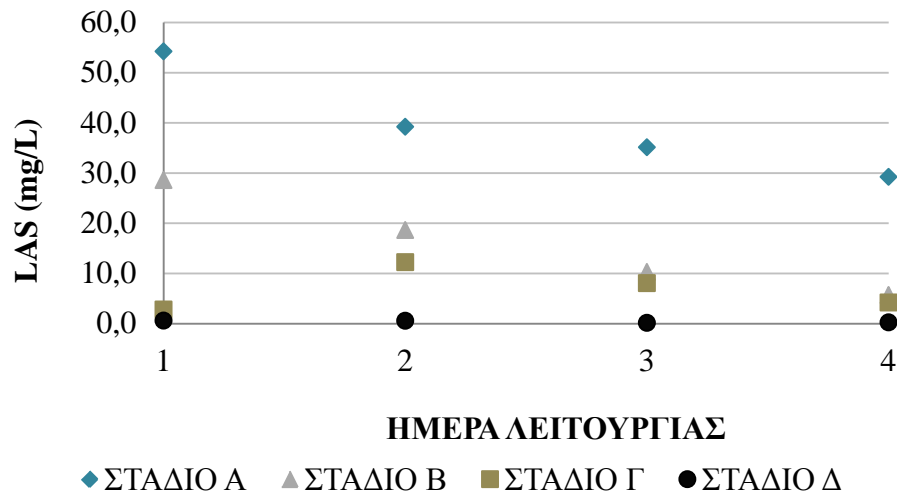
Σχήμα 4.47 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)



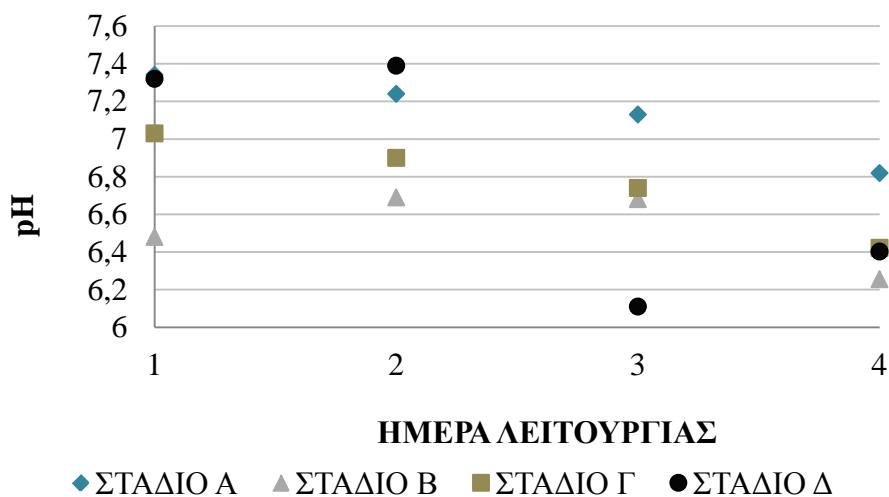
Σχήμα 4.48 CODt ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.49 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)

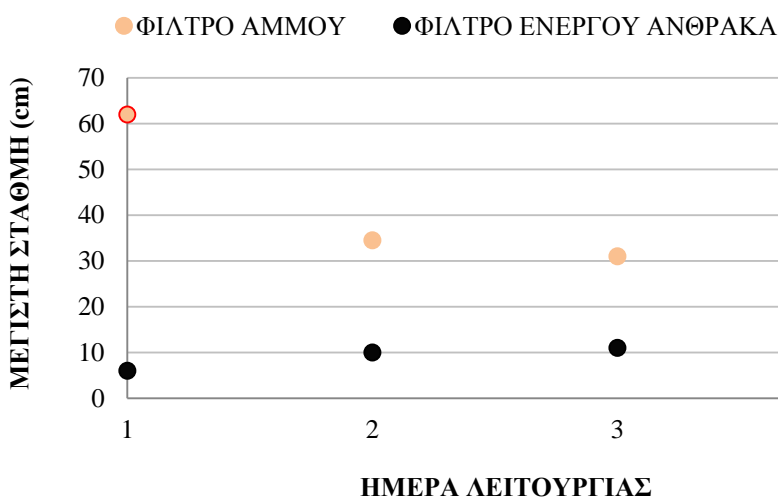


Σχήμα 4.50 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.51 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 3^{ου} κύκλου πειραμάτων)

Το συγκεκριμένο σύστημα λειτούργησε μόνο τέσσερις ημέρες και συνεπώς, τα αποτελέσματα που προκύπτουν σχετικά με τη συχνότητα έκπλυσης του συστήματος δεν είναι καθοριστικά. Σε αυτό το χρονικό διάστημα έγινε μόνο μια έκπλυση της άμμου. Ο ενεργός άνθρακας δεν εκπλύθηκε, αν και από τα αποτελέσματα της εξόδου για το COD φαίνεται πως δε γίνεται το ίδιο ικανοποιητική απομάκρυνσή του (συγκριτικά με όταν ήταν καινούργιο το φίλτρο). Το γεγονός αυτό δείχνει ότι μάλλον έχει χαθεί μέρος της προσροφητικής του ικανότητας.



Σχήμα 4.52 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (3^{ος} κύκλος πειραμάτων)

Συμπερασματικά, όπως συμβαίνει και στα προηγούμενα δύο συστήματα, η απομάκρυνση της θολότητας, των αιωρούμενων στερεών, του σωματιδιακού COD και των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS) πραγματοποιείται κυρίως λόγω καθίζησης, ενώ του CODs μέσω προσρόφησης στο φίλτρο του ενεργού άνθρακα.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων που αφορά τα ποιοτικά και χημικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας για τον 3^ο πειραματικό κύκλο συνοψίζονται στον Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 3^ο κύκλο πειραμάτων

Στάδιο επεξεργασίας	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Θολότητα (NTU)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	COD _t (mg/L)	COD _s (mg/L)	LAS (mg/L)	pH (-)
A	337±3,4	115,3±14,6	83,0±10,9	73,9±9,6	672±241,2	419±223,2	39±11	7,13±0,23
B	385±4	23,8±20,5	33,9±29,09	25,8±21,23	376±126,8	305,3±153,3	16±10	6,53±0,21
Γ	392±2,2	1,59±0,47	2,38±0,93	2,38±0,93	311±159,9	296,6±156,6	7±4	6,77±0,26
Δ	363±112	0,63±0,25	1,45±1,55	1,45±1,55	12,90±10,79	12,90±10,79	0,4±0,2	6,81±0,65

4.5 Παρουσίαση αποτελεσμάτων 4^ο κύκλου πειραμάτων

Στον 4^ο πειραματικό κύκλο, όπως αναφέρεται και παραπάνω, δε γίνεται καθίζηση του κροκιδωμένου μείγματος γκρίζου νερού, αλλά απευθείας διύλιση του σε φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα. Το μείγμα στο οποίο έγινε επεξεργασία, είχε ίδια σύσταση με αυτό του 2^ο πειράματος, αποτελούνταν δηλαδή από λύματα από τη μπανιέρα, το νιπτήρα, το πλυντήριο ρούχων και το 1/3 της συνολικής παροχής της κουζίνας. Ισχύουν λοιπόν όσα γράφτηκαν στην παράγραφο 4.3. Όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας (στάδιο Δ στον Πίνακα 4.10), η θολότητα, στο 50% των δειγμάτων είναι μικρότερη από 2 NTU ($0,61 \pm 0,34$ NTU) και τα στερεά, στο 80% των δειγμάτων έχουν συγκέντρωση μικρότερη των 10 mg/L, γεγονός που καθιστά την εκροή κατάλληλη για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, καθώς και περιαστική και αστική χρήση (Κ.Υ.Α. 145116/2011). Σημειώνεται ότι το σύστημα αυτό δεν επιτυγχάνει ικανοποιητική απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών και απαιτείται και ένα στάδιο απολύμανσης.

Πίνακας 4.10 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού στην είσοδο και την έξοδο του συστήματος στον 4^ο πειραματικό κύκλο

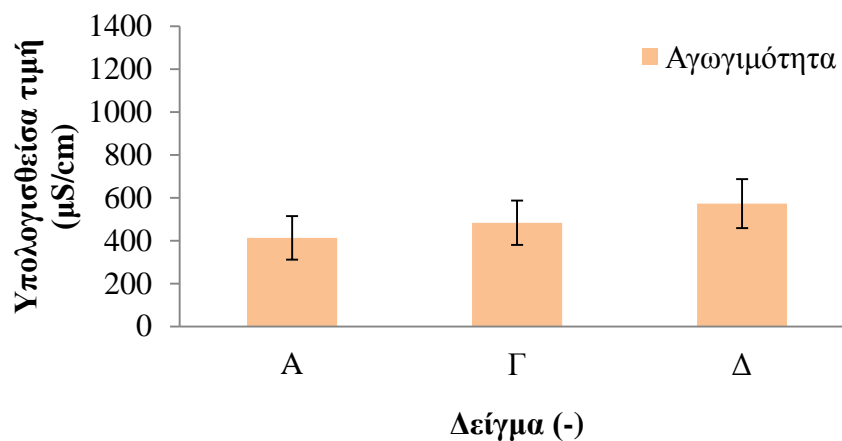
Παράμετρος	Στάδιο επεξεργασίας	
	A	Δ
Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	$413 \pm 101,8$	$573 \pm 114,3$
Θολότητα (NTU)	$52,3 \pm 24,63$	$0,61 \pm 0,34$
TSS (mg/L)	$57,1 \pm 30,2$	$1,08 \pm 1,25$
VSS (mg/L)	$50,5 \pm 16,1$	$1,08 \pm 1,25$
CODt (mg/L)	$275 \pm 90,5$	< 15
CODs (mg/L)	$109 \pm 65,7$	< 15
LAS (mg/L)	$59 \pm 8,4$	$2,0 \pm 2,4$
pH	$7,51 \pm 0,15$	$7,48 \pm 0,40$

Η αποτελεσματικότητα του συστήματος ανά στάδιο επεξεργασίας αναλύεται στη συνέχεια αυτής της ενότητας.

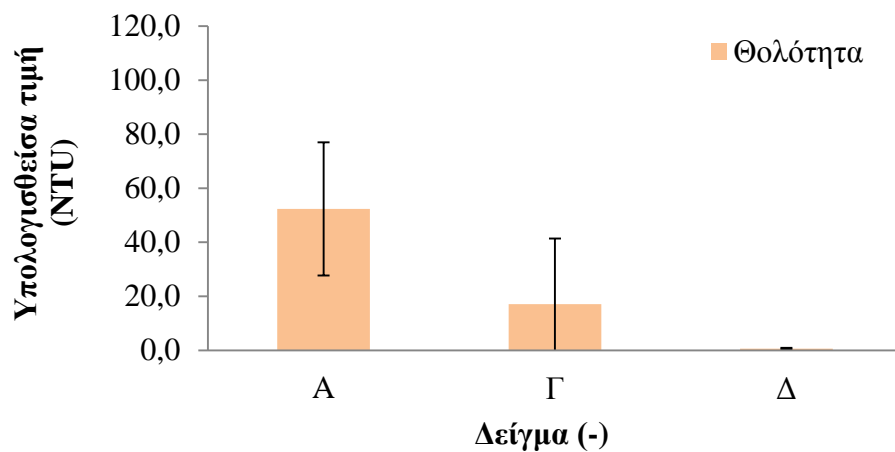
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.53, η αγωγιμότητα αυξάνεται όσο τα λύματα κατευθύνονται προς την έξοδο του συστήματος επεξεργασίας, αν και αυτή η αύξηση είναι σχεδόν ανεπαίσθητη, με τη μεγαλύτερη μεταβολή να εμφανίζεται μεταξύ των σταδίων Γ και Δ, δηλαδή μετά τη διύλιση μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα. Αυτό συμβαίνει

πιθανότατα γιατί παρασύρονται στερεών που είχαν κατακρατηθεί από τον ενεργό άνθρακα και έχουν φέρουν φορτίο. Η θολότητα μειώνεται σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας (Σχήμα 4.54). Κύριος μηχανισμός απομάκρυνσής της είναι η διύλιση μέσω του αμμόφιλτρου (68%) και δευτερεύων η διύλιση μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα (32%). Παρατηρείται επίσης ότι η μέση θολότητα του αρχικού μείγματος εμφανίζει σημαντική διακύμανση. Το pH μένει σχεδόν αμετάβλητο, έχοντας τιμές κοντά στο 7, αν και η προσθήκη θεικού αργιλίου το κάνει ελάχιστα πιο όξινο (Σχήμα 4.55).

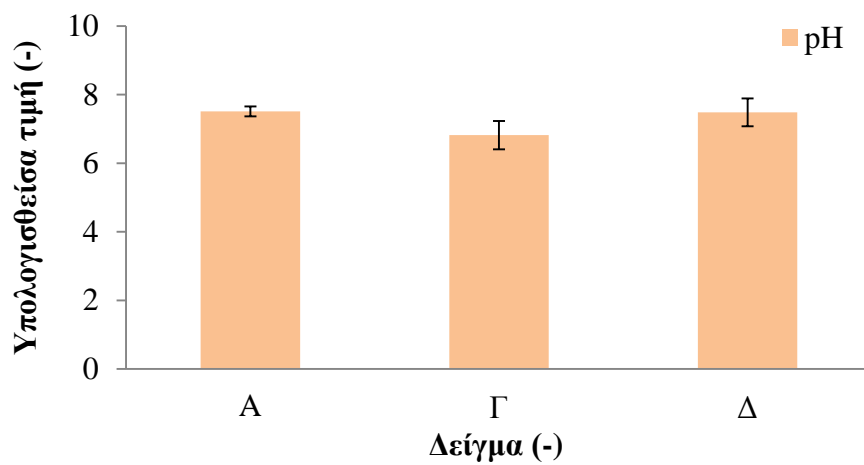
Τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (τα οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο για τη θολότητα) μειώνονται σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας, με τα δύο φίλτρα να συμμετέχουν σε ίσα περίπου ποσοστά. Πρέπει να αναφερθεί ότι στο σημείο Γ η συγκέντρωσή τους παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση, καθώς σε ένα πείραμα δεν επετεύχθη ικανοποιητική κροκιδώση, με αποτέλεσμα τα αιωρούμενα στερεά του γκριζου νερού μαζί με αυτά του κροκιδωτικού να μην συγκρατηθούν στο αμμόφιλτρο (Σχήματα 4.56-4.57). Το τυχαίο αυτό γεγονός μπορεί να φανεί στα Σχήματα 4.62, 4.64 και 4.65, στα οποία η τιμή του δείγματος Γ είναι μεγαλύτερη από αυτή στο δείγμα Α, για την ίδια ημέρα λειτουργίας.



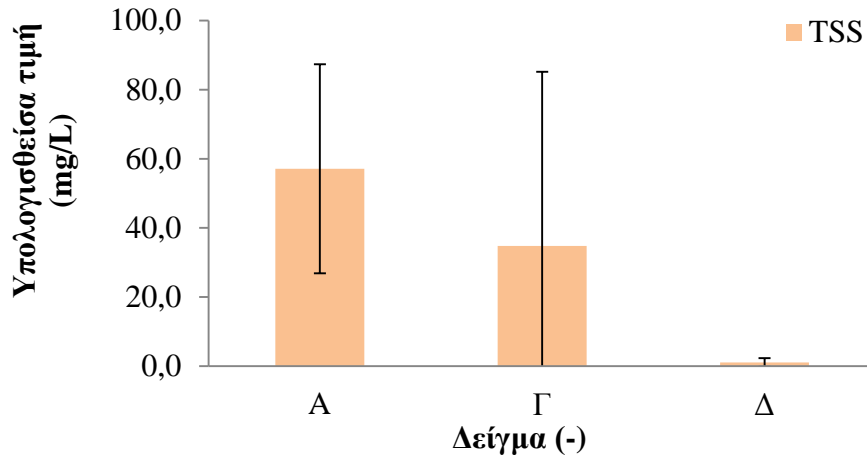
Σχήμα 4.53 Μέση αγωγιμότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου



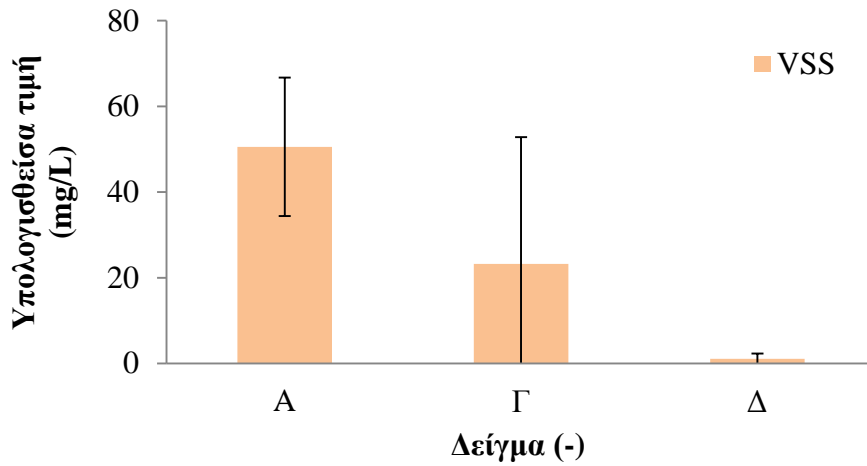
Σχήμα 4.54 Μέση θολότητα για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου



Σχήμα 4.55 Μέση τιμή pH για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου

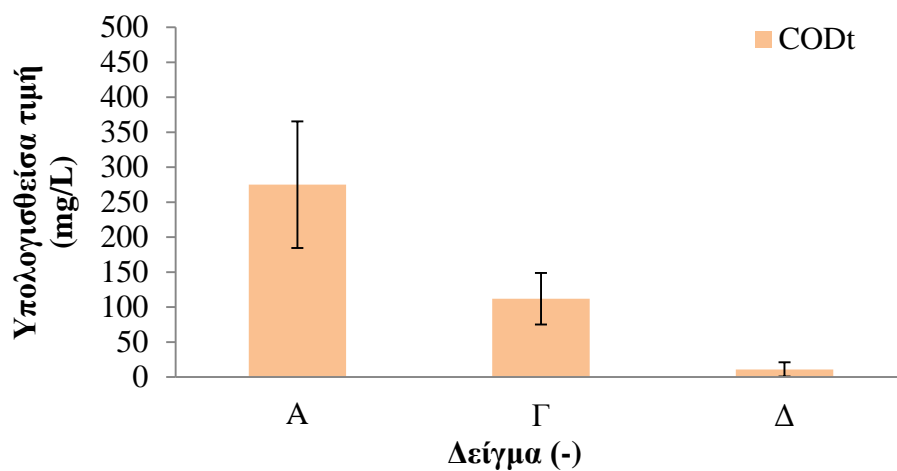


Σχήμα 4.56 Μέση τιμή TSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου

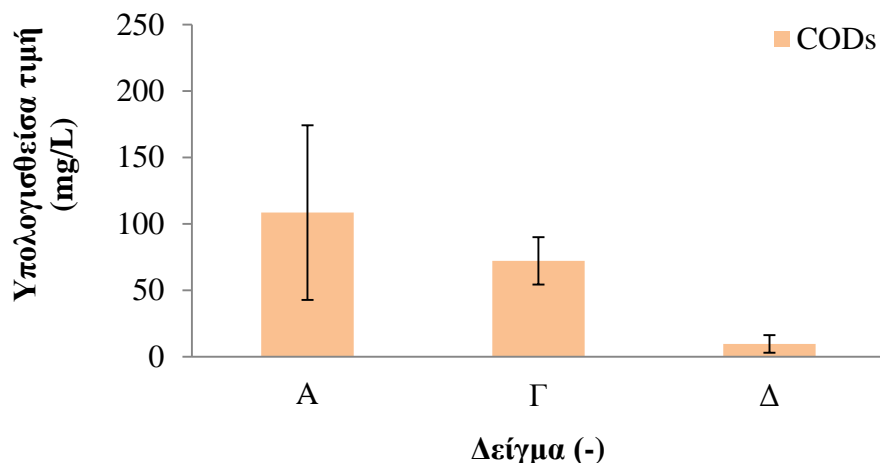


Σχήμα 4.57 Μέση τιμή VSS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου

Όσον αφορά το χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD), το σωματιδιακό COD συγκρατείται από το φίλτρο της άμμου σε ποσοστό 76%, παρουσιάζει δηλαδή μια μείωση της τάξεως των 127 mg/L. Αντίθετα, η απομάκρυνση του διαλυτού COD σε αυτό το στάδιο της επεξεργασίας είναι αρκετά μικρότερη, αλλά όχι αμελητέα (μείωση σε ποσοστό 37%). Ο κύριος μηχανισμός απομάκρυνσής του είναι η προσρόφηση μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα (σχήματα 4.58-4.59). Εδώ, πρέπει να προστεθεί ότι την ημέρα που πραγματοποιήθηκε το προαναφερθέν τυχαίο γεγονός, το ολικό COD στο σημείο Γ είχε μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με αυτή του Α, φανερώνοντας έτσι τη σχέση ανάμεσα στα VSS και το σωματιδιακό COD, που αποτελεί κλάσμα του ολικού (Σχήμα 4.66).

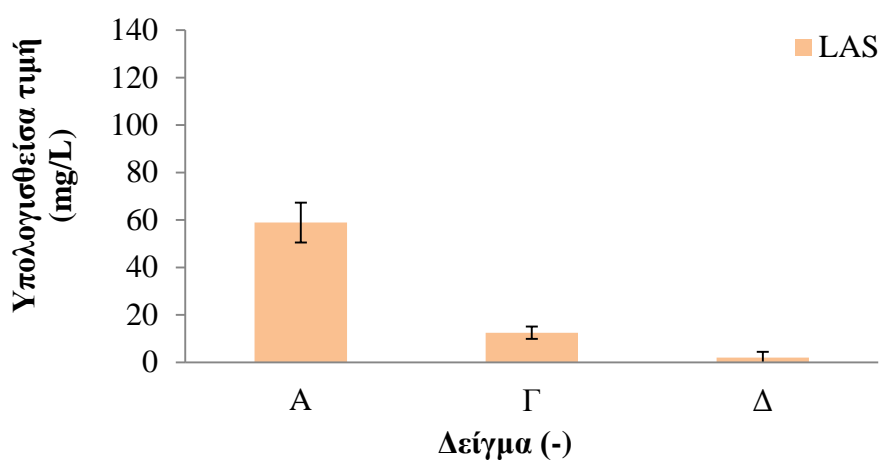


Σχήμα 4.58 Μέση τιμή CODt για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου



Σχήμα 4.59 Μέση τιμή CODs για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου

Οι ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS) μειώνονται σε κάθε στάδιο της επεξεργασίας, ενώ απομακρύνονται κυρίως από το σύστημα λόγω συγκράτησης τους στους πόρους του φίλτρου της άμμου σε ποσοστό 82%. Ο βαθμός απόδοσης της διεργασίας αυτής αυξάνεται ανάλογα με την επιτυχία της κροκίδωσης



Σχήμα 4.60 Μέση τιμή LAS για κάθε στάδιο επεξεργασίας του 4^{ου} κύκλου

Όπως αναφέρθηκε και στις παραγράφους 4.2 και 4.4, ανάλυση μικροοργανικών ουσιών πραγματοποιήθηκε μόνο στη θέση Δ. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της Χαρχούση Δ., (2014), μπορεί προσεγγιστικά να βρεθεί η συγκέντρωσή τους στο

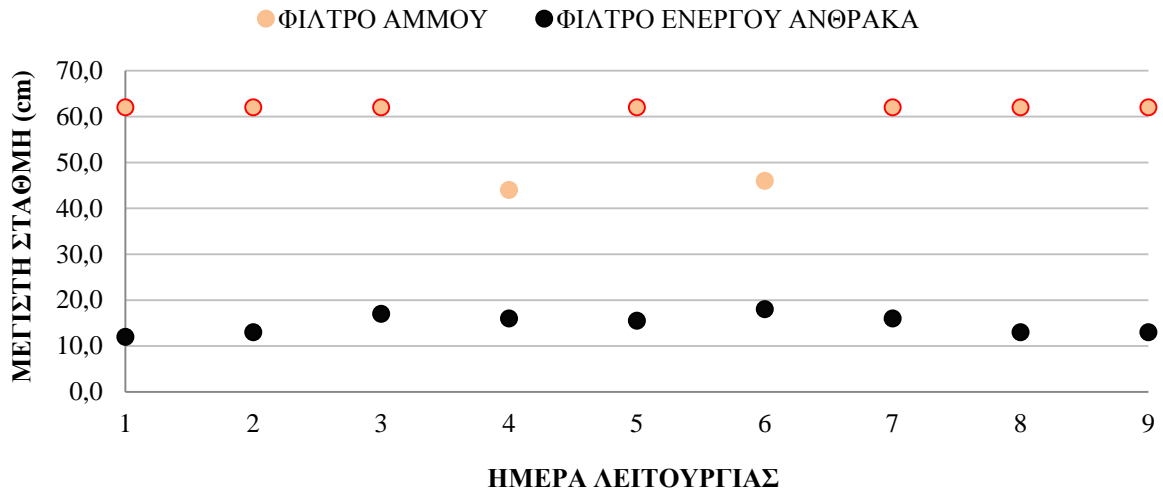
ανεπεξέργαστο μείγμα γκρίζου νερού. Τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από τις αναλύσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11 και δείχνουν ότι το σύστημα της απευθείας διύλισης μπορεί να επιτύχει ικανοποιητική απομάκρυνση των εξεταζόμενων μικροοργανικών ενώσεων.

Πίνακας 4.11 Μικροοργανικές ενώσεις γκρίζου νερού στα στάδια Α και Δ του συστήματος του 4ου κύκλου πειραμάτων

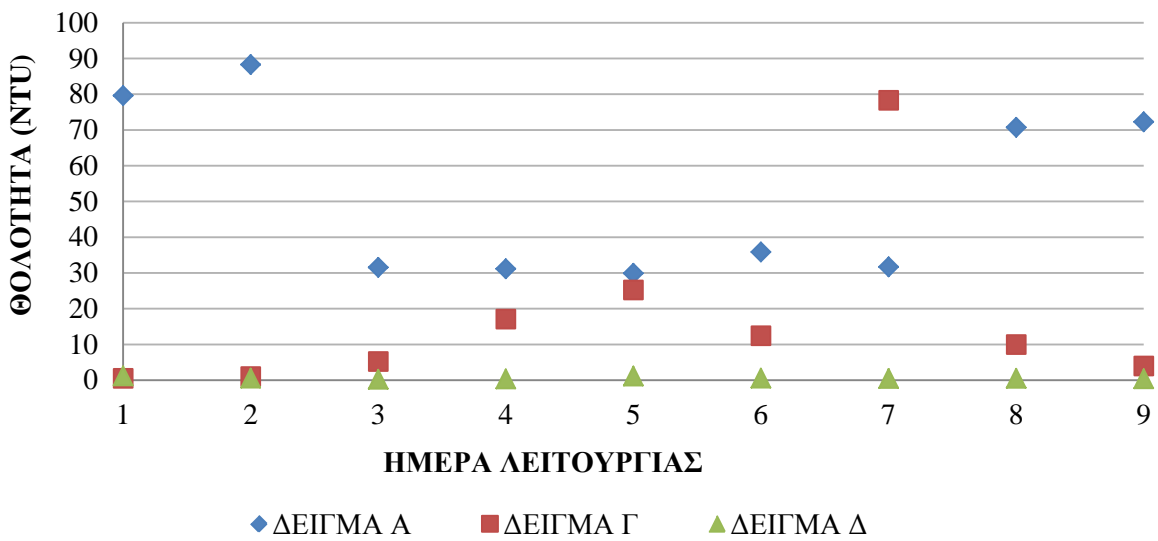
Στάδιο επεξεργασίας	NP (μg/L)	NP1EO (μg/L)	NP2EO (μg/L)	TCS (μg/L)	BPA (μg/L)
A	34,26	2,52	2,09	0,28	0,47
Δ	1,124±0,109	0,115±0,07	0,048±0,009	0,021±0,009	0,006±0,004

Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι δε γίνεται συσσώρευση της παραγόμενης ιλύος στη δεξαμενή καθίζησης, αλλά αυτή απομακρύνεται με την έκπλυση του αμμόφιλτρου. Ωστόσο, η έκπλυση αυτή πρέπει να γίνεται καθημερινά ή ανά δύο μέρες (Σχήμα 4.61), με αποτέλεσμα η εξοικονόμηση γκρίζου νερού να μην είναι τελικά ικανοποιητική. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι η συχνότητα της έκπλυσης ήταν συνδεδεμένη με την αρχική θολότητα του αρχικού ανεπεξέργαστου μείγματος. Ο ενεργός άνθρακας δεν εκπλύθηκε ποτέ, καθώς η μεγαλύτερη απομάκρυνση των κύριων ρύπων είχε συντελεστεί από τη διύλιση μέσω του φίλτρου της άμμου, οπότε και η επιβάρυνση του ήταν μικρή, αλλά αλλάχθηκε στην αρχή του πειράματος, διότι είχε χάσει την προσροφητική του ικανότητα από τον προηγούμενο πειραματικό κύκλο. Η άμμος ήταν η ίδια με αυτή που τοποθετήθηκε στην αρχή του 2^{ου} πειραματικού κύκλου.

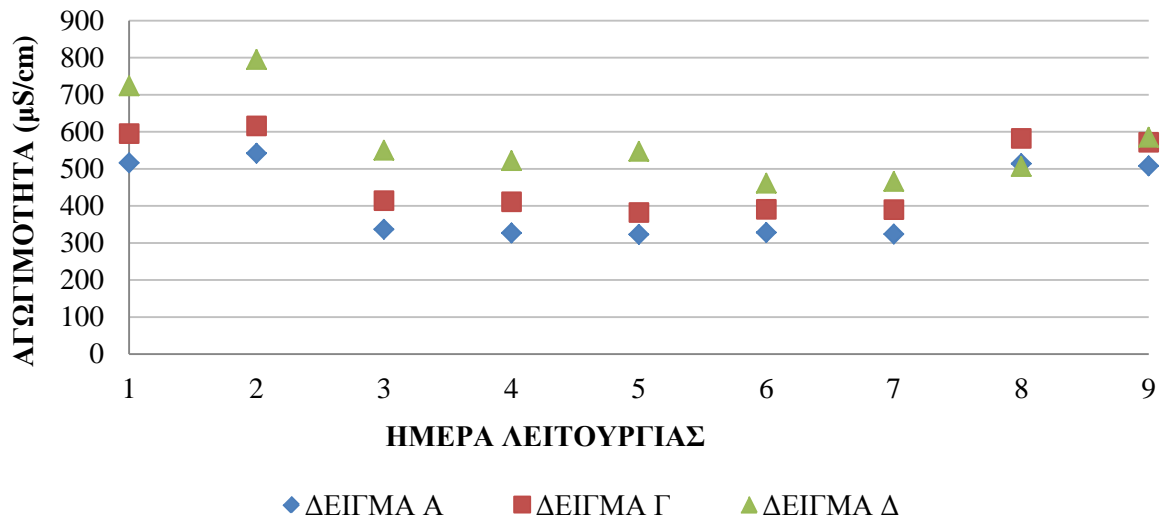
Τα Σχήματα 4.62-4.69 δείχνουν, για την κάθε ποιοτική παράμετρο, τη διακύμανσή της στα στάδια επεξεργασίας Α, Β, Γ και Δ, για κάθε ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού.



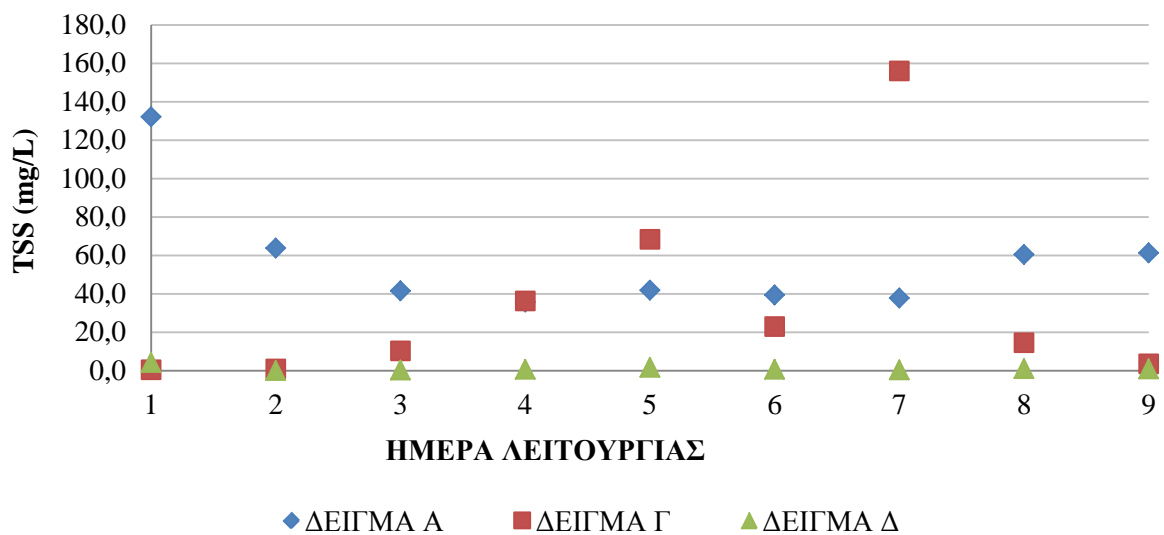
Σχήμα 4.61 Διακύμανση της μέγιστης στάθμης στην άμμο και στον άνθρακα (4^{ος} κύκλος πειραμάτων)



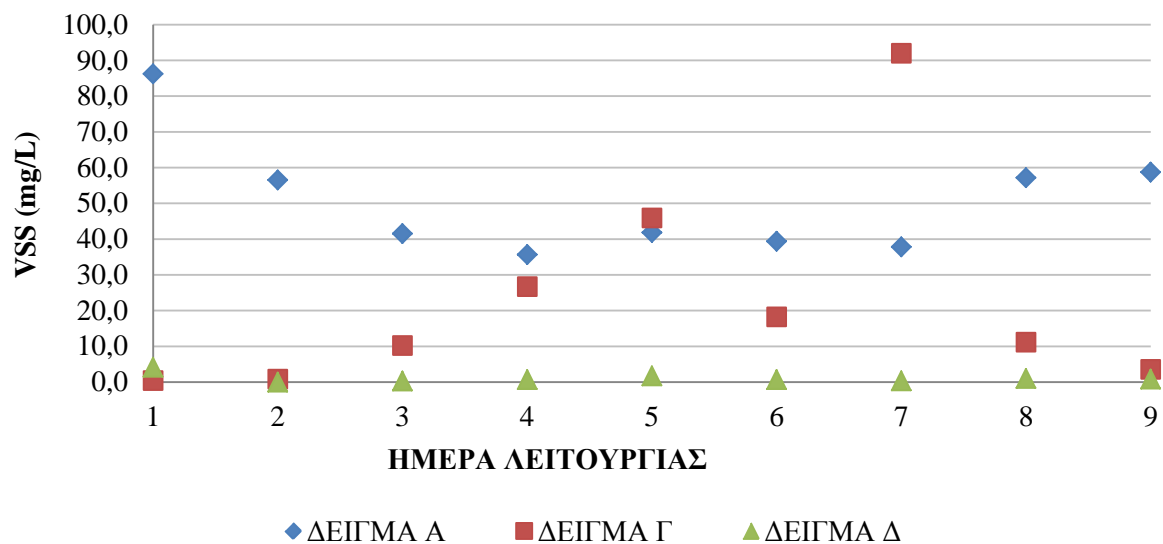
Σχήμα 4.62 Θολότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^{ου} κύκλου πειραμάτων)



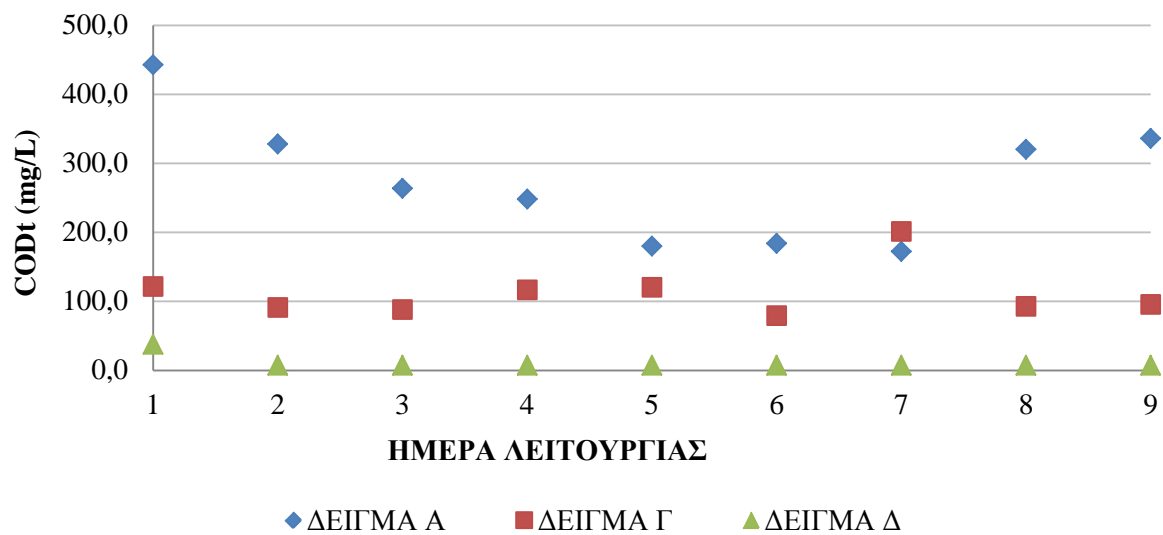
Σχήμα 4.63 Αγωγιμότητα ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^ο κύκλου πειραμάτων)



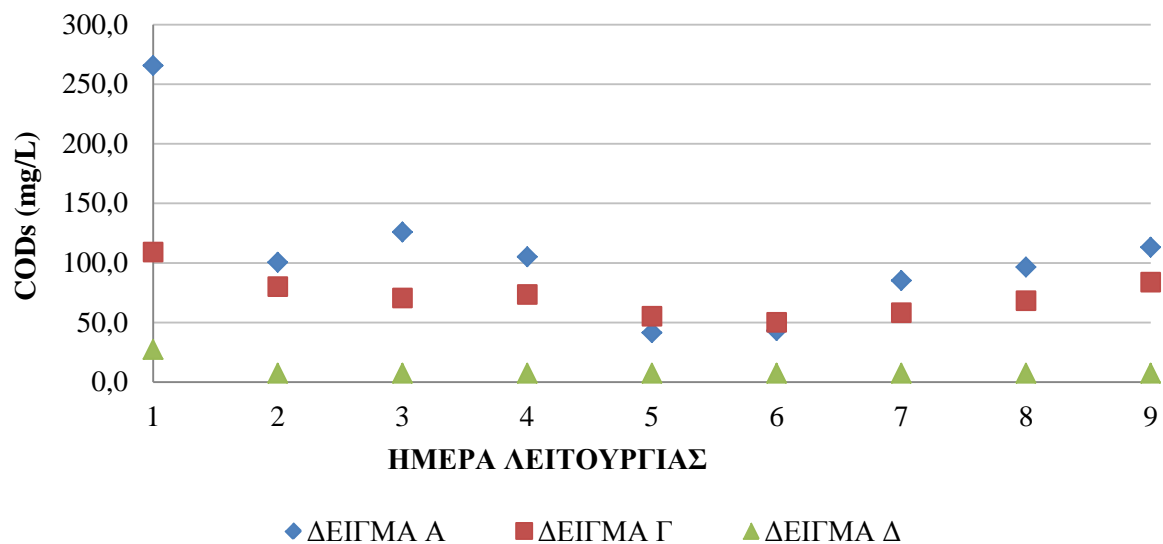
Σχήμα 4.64 TSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^ο κύκλου πειραμάτων)



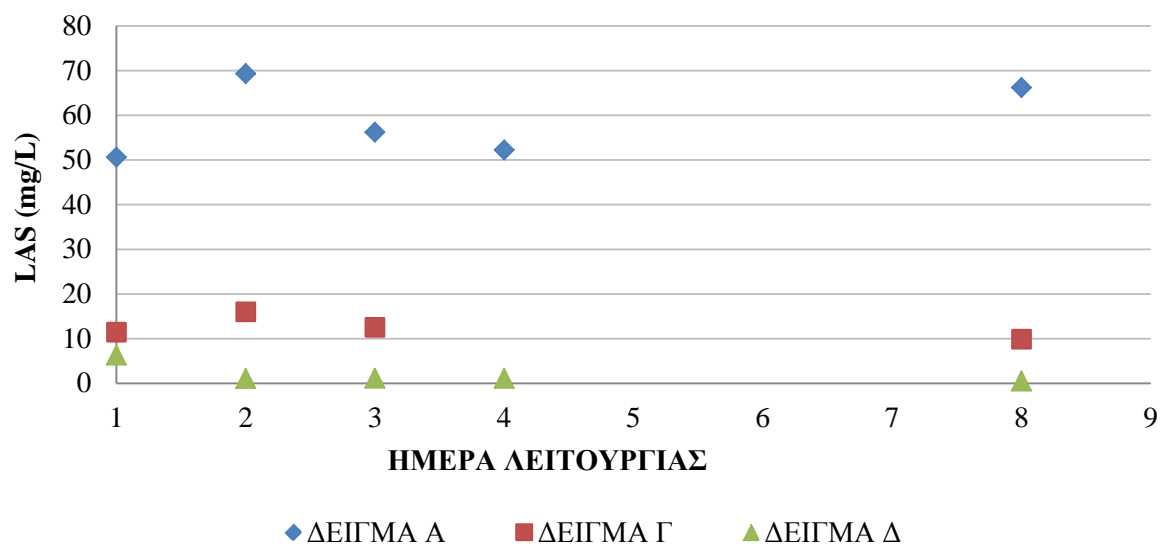
Σχήμα 4.65 VSS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^{ου} κύκλου πειραμάτων)



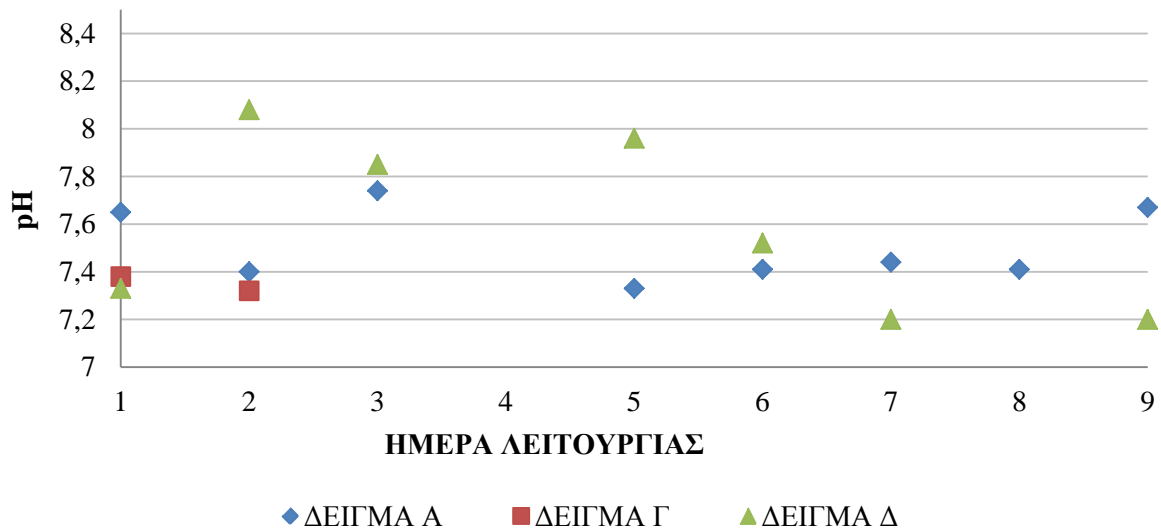
Σχήμα 4.66 CODt ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.67 CODs ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.68 LAS ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^{ου} κύκλου πειραμάτων)



Σχήμα 4.69 pH ανά στάδιο επεξεργασίας και ημέρα λειτουργίας (σύστημα επεξεργασίας 4^{ου} κύκλου πειραμάτων)

Συνοψίζοντας, στο σύστημα αυτό, η απομάκρυνση της θολότητας, των VSS, του σωματιδιακού COD και των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων, γίνεται κυρίως μέσω του συστήματος κροκίδωσης-αμμόφιλτρου, ενώ των TSS και του CODs, μέσω του ενεργού άνθρακα.

Το σύνολο των αποτελεσμάτων που αφορά τα ποιοτικά και χημικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού σε κάθε στάδιο επεξεργασίας για τον 4^ο πειραματικό κύκλο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.12 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας στον 4^ο κύκλο πειραμάτων

Στάδιο επεξεργασίας	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Θολότητα (NTU)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	COD _t (mg/L)	COD _s (mg/L)	LAS (mg/L)	pH (-)
A	413±101,8	52,3±24,63	57,1±30,2	50,5±16,1	275±90,5	109±65,7	59±8,4	7,51±0,15
Γ	484±103,2	17,09±24,32	34,80±50,35	23,23±29,59	112±36,9	72,2±17,8	12±2,6	6,82±0,41
Δ	573±114,3	0,61±0,34	1,08±1,25	1,08±1,25	10,88±10,13	9,70±6,61	2,0±2,4	7,48±0,40

4.6 Σύγκριση συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται σύγκριση μεταξύ έξι συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού που λειτούργησαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π. στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών. Τα συστήματα αυτά είναι :

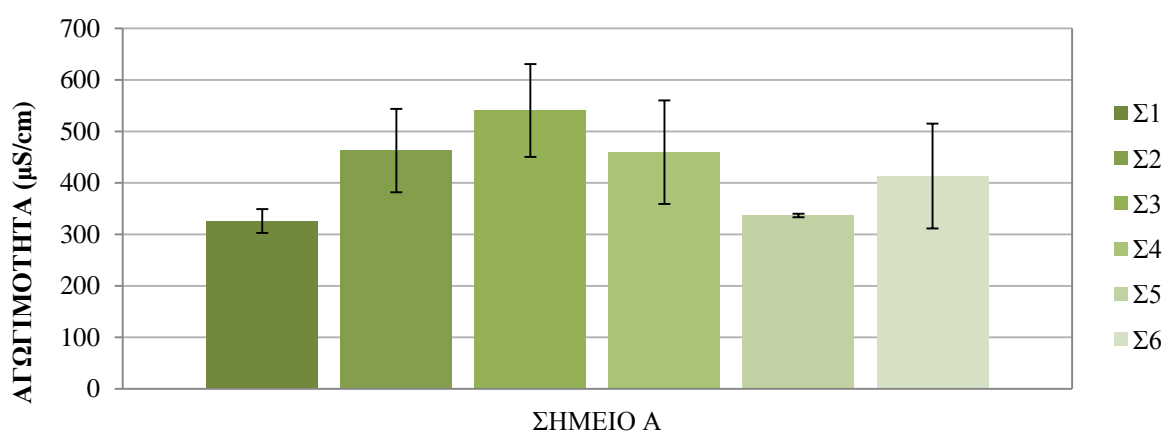
1. Σύστημα 1 : σύστημα που περιλαμβάνει καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα και επεξεργάζεται ροές από τη μπανιέρα και το νιπτήρα (Χαρχούση Δέσποινα (2014))
2. Σύστημα 2 : σύστημα που περιλαμβάνει καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα και επεξεργάζεται ροές από τη μπανιέρα, το νιπτήρα και το πλυντήριο ρούχων (Μενδρινού Παναγιώτα (2014))
3. Σύστημα 3 : σύστημα που περιλαμβάνει κροκίδωση-καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα και επεξεργάζεται ροές από τη μπανιέρα, το νιπτήρα και το πλυντήριο ρούχων (παρούσα εργασία και Μενδρινού Παναγιώτα (2014))
4. Σύστημα 4 : σύστημα που περιλαμβάνει κροκίδωση-καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα και επεξεργάζεται ροές από τη μπανιέρα, το νιπτήρα, το πλυντήριο ρούχων και το 1/3 της συνολικής ποσότητας που παράγεται από το νεροχύτη της κουζίνας (παρούσα εργασία)
5. Σύστημα 5 : σύστημα που περιλαμβάνει κροκίδωση-καθίζηση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα και επεξεργάζεται ροές από τη μπανιέρα, το νιπτήρα, το πλυντήριο ρούχων και τη συνολική ποσότητα που παράγεται από το νεροχύτη της κουζίνας (παρούσα εργασία)
6. Σύστημα 6 : σύστημα που περιλαμβάνει κροκίδωση-φίλτρο άμμου-φίλτρο ενεργού άνθρακα και επεξεργάζεται ροές από τη μπανιέρα, το νιπτήρα, το πλυντήριο ρούχων και το 1/3 της συνολικής ποσότητας που παράγεται από το νεροχύτη της κουζίνας (παρούσα εργασία)

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται διαγράμματα, στα οποία γίνεται σύγκριση της ποσοτικής μεταβολής των εξεταζόμενων γενικών ποιοτικών και χημικών χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού, καθώς και της ποσοστιαίας συνεισφοράς κάθε σταδίου επεξεργασίας στη μεταβολή αυτή. Επιπροσθέτως, τα παραπάνω συστήματα συγκρίνονται ως προς την

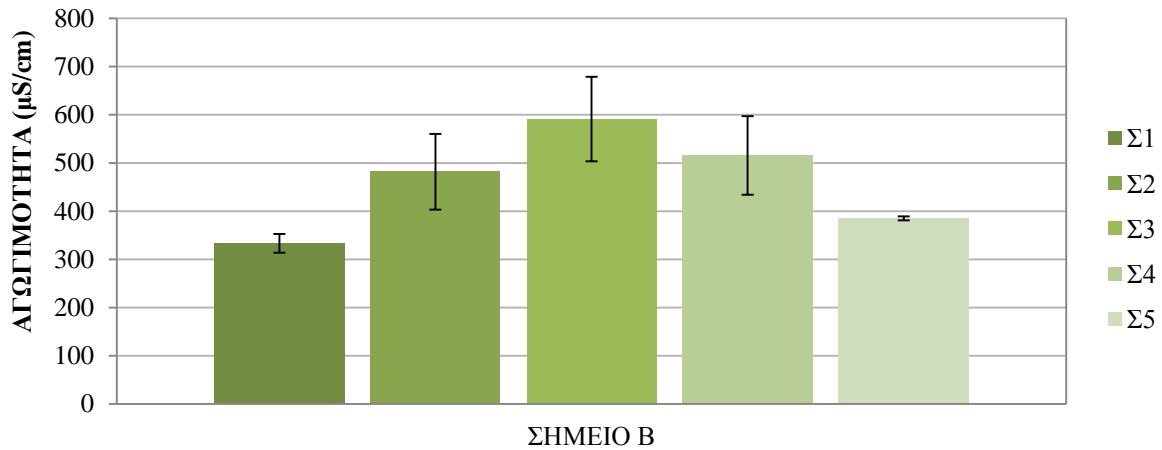
ποσότητα της παραγόμενης ιλύος και της περιεκτικότητάς της σε στερεά, καθώς και στην απαιτούμενη συχνότητα έκλυσης κάθε συστήματος.

4.6.1 Αγωγιμότητα

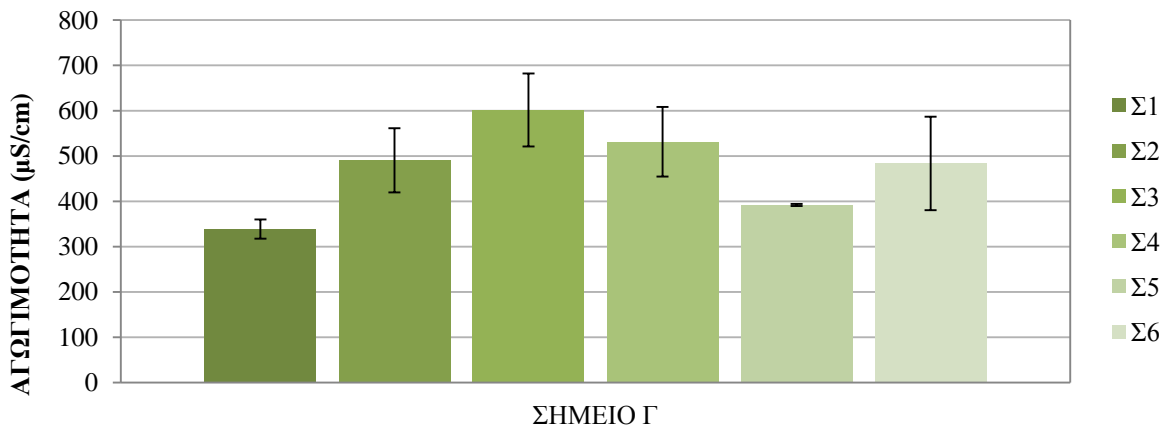
Συγκρίνοντας τα προαναφερθέντα έξι συστήματα, φαίνεται πως η αγωγιμότητα έχει αυξητική τάση, όσο τα λύματα κατευθύνονται προς την έξοδο του συστήματος επεξεργασίας. Η μεγαλύτερη αύξηση εμφανίζεται ανάμεσα στα σημεία Γ και Δ, μετά δηλαδή από τη φίλτρανση διαμέσου του ενεργού άνθρακα (Σχήματα 4.72-4.73, κυρίως στο σύστημα 3). Από το Σχήμα 4.70 φαίνεται επίσης, ότι το πλυντήριο ρούχων έχει πιθανότατα τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ιόντα, αφού η προσθήκη του στο μείγμα μπάνιου-νιπτήρα, αυξάνει κατά περίπου 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ την αγωγιμότητα των Σ2 και Σ3. Ωστόσο, όσο μικραίνει η συμμετοχή του προσθέτοντας λύματα από την κουζίνα, η αγωγιμότητα μειώνεται από τα 519 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στα 337 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Σ5). Οι διαφορές αυτές οφείλονται κυρίως στη διαφορετική σύσταση των καθαριστικών που χρησιμοποιούνται στις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες. Γενικά, λαμβάνοντας υπόψη και την τάξη μεγέθους των αποτελεσμάτων, θα μπορούσαμε να πούμε, ότι αυτές οι μεταβολές είναι αμελητέες και ότι η αγωγιμότητα δεν εμφανίζει ουσιαστικές διαφοροποιήσεις λόγω επεξεργασίας ή ακόμα και ροών (Σχήματα 4.70-4.73).



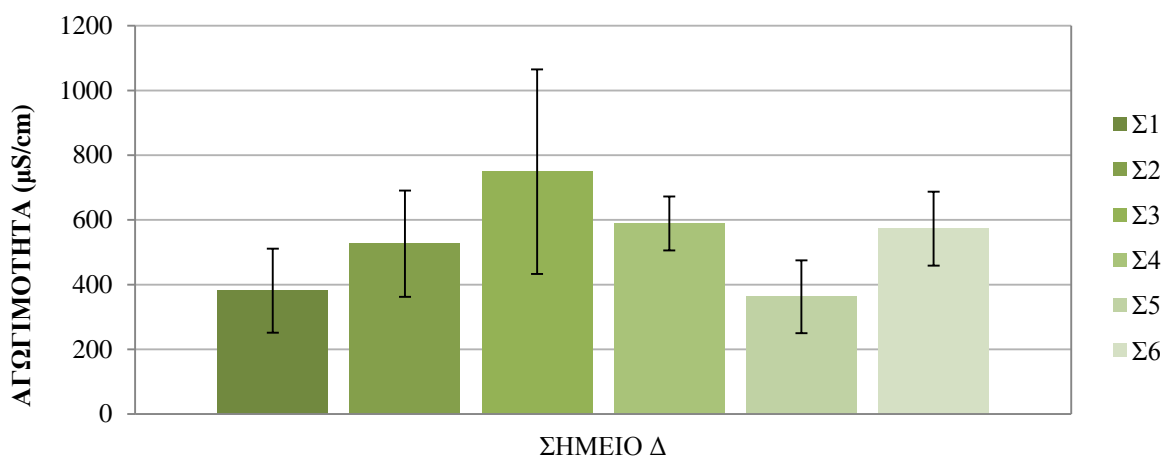
Σχήμα 4.70 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Α



Σχήμα 4.71 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Β



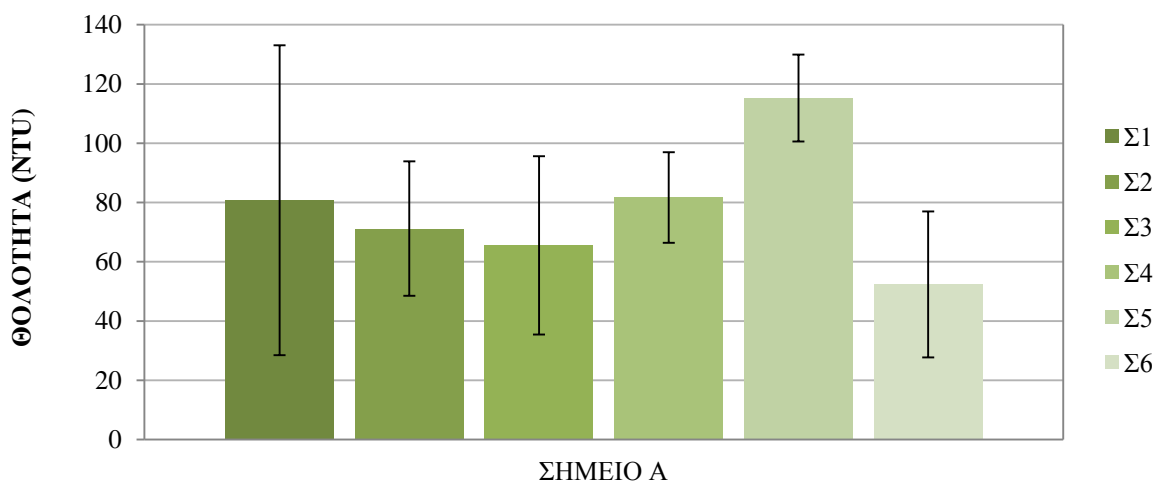
Σχήμα 4.72 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Γ



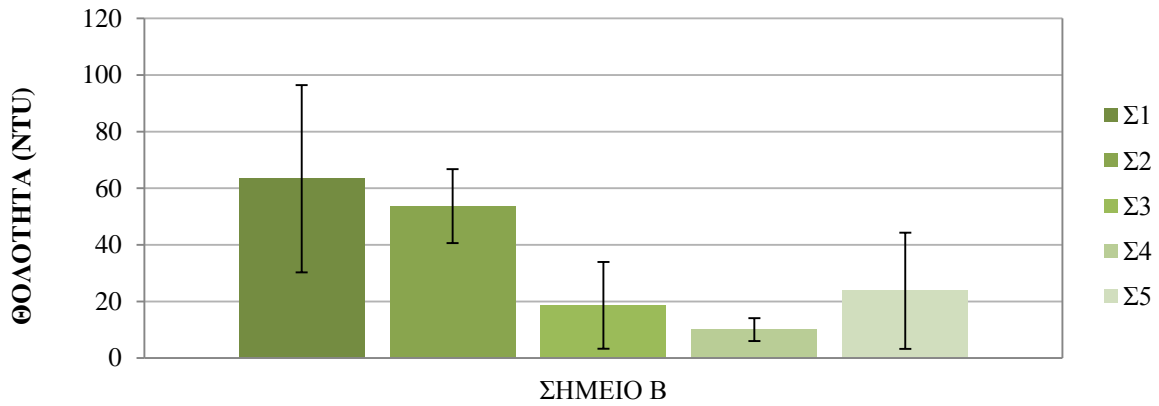
Σχήμα 4.73 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς την αγωγιμότητα στο σημείο Δ

4.6.2 Θολότητα

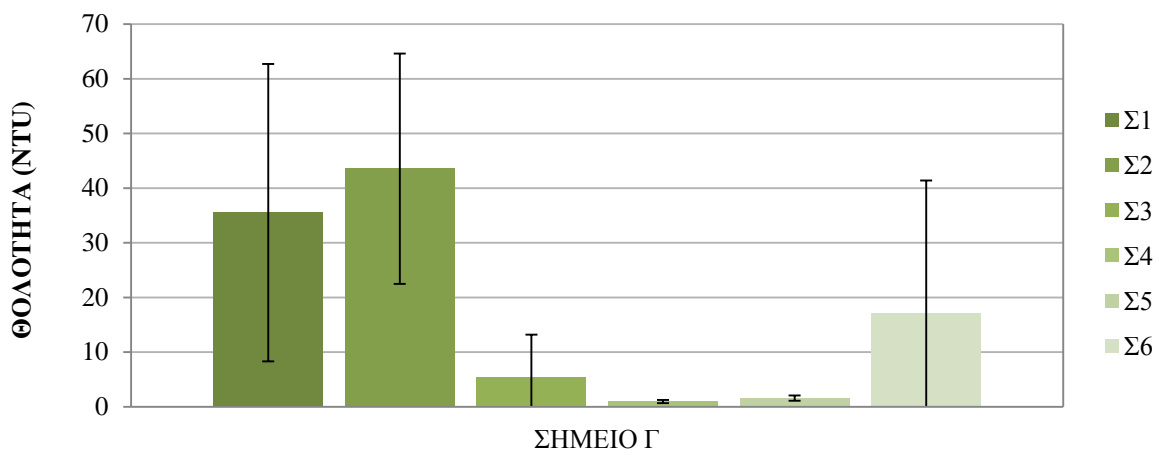
Σύμφωνα με το Σχήμα 4.74, η θολότητα αυξάνεται με την προσθήκη της ροής της κουζίνας. Ωστόσο, παρατηρώντας τη διαφορά των 30 NTU ανάμεσα στα Σ4 και Σ6, δύο συστήματα που επεξεργάζονται το ίδιο μείγμα γκρίζου νερού, εξάγεται το συμπέρασμα ότι σημαντική επίδραση έχει και η ροή της μπιανέρας, η θολότητα της οποίας εξαρτάται και από το είδος των σαπουνιών που χρησιμοποιούνται. Επίσης, παρατηρείται ότι τα συστήματα χωρίς κροκίδωση (Σ1 και Σ2), επιτυγχάνουν τελικές θολότητες (11,4 NTU και 10,4 NTU αντίστοιχα) που δεν ικανοποιούν τα όρια της ελληνικής νομοθεσίας για απεριόριστη άρδευση. Σημειώνεται ότι η θολότητα μειώνεται σε κάθε στάδιο επεξεργασίας και η μεγαλύτερη μείωση πραγματοποιείται μέσω φίλτρανσης από τον ενεργό άνθρακα. Όσον αφορά τα υπόλοιπα συστήματα (Σ3-Σ6, που έγινε κροκίδωση), φαίνεται ότι η τελική τιμή της (μικρότερη των 2 NTU) δεν επηρεάζεται από την προσθήκη δυσμενέστερων ροών (Σχήμα 4.77). Στα συστήματα αυτά, η καθοριστική διεργασία απομάκρυνσης της θολότητας είναι η καθίζηση, με ποσοστό απομάκρυνσης της τάξεως του 89% (Σχήμα 4.78).



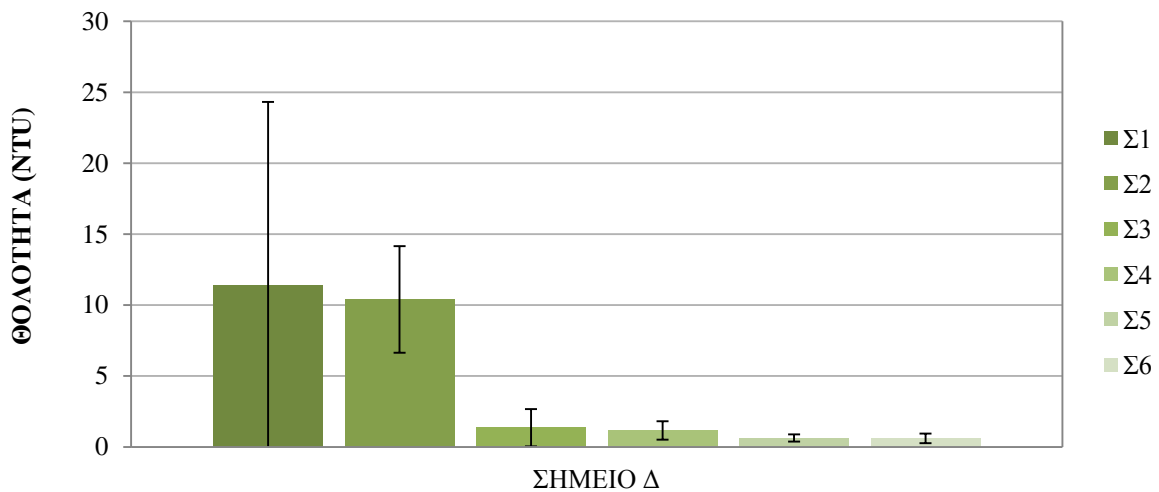
Σχήμα 4.74 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Α



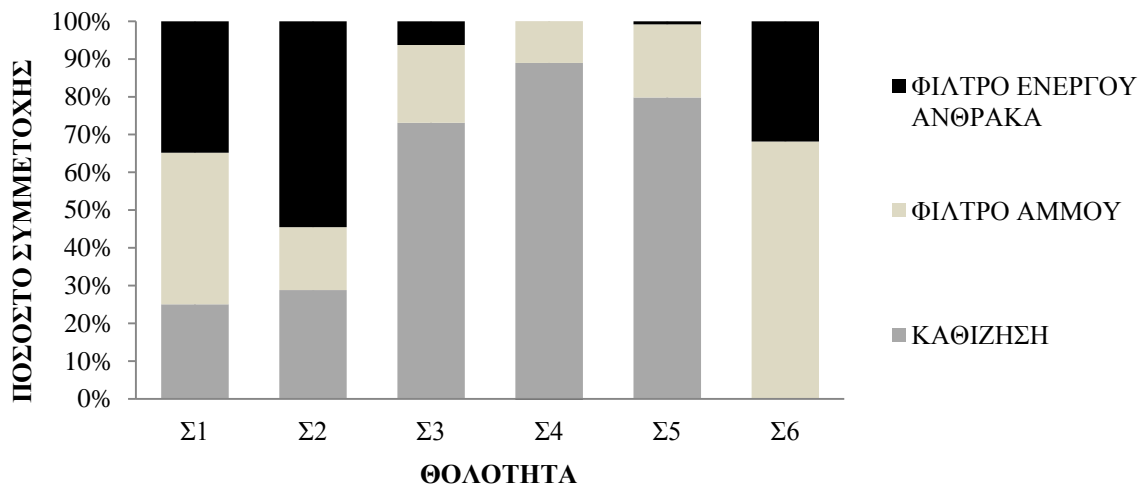
Σχήμα 4.75 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Β



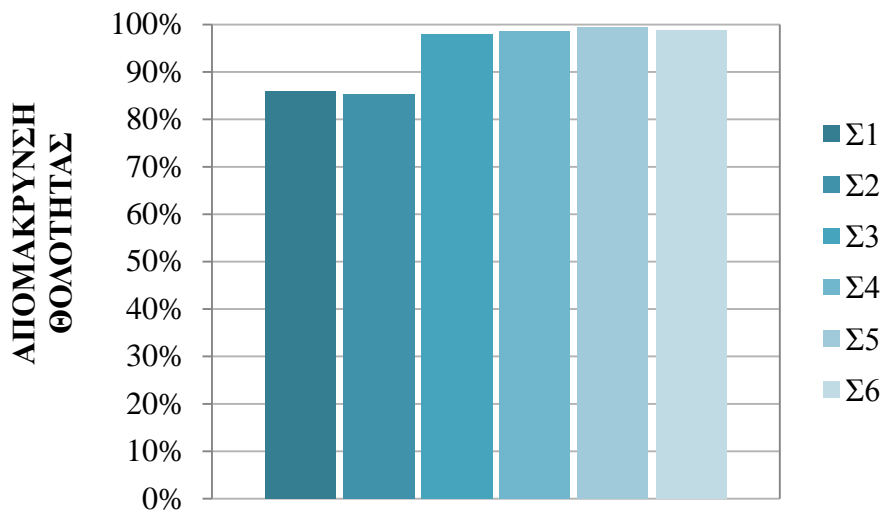
Σχήμα 4.76 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Γ



Σχήμα 4.77 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τη θολότητα στο σημείο Δ



Σχήμα 4.78 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση της θολότητας



Σχήμα 4.79 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση της θολότητας

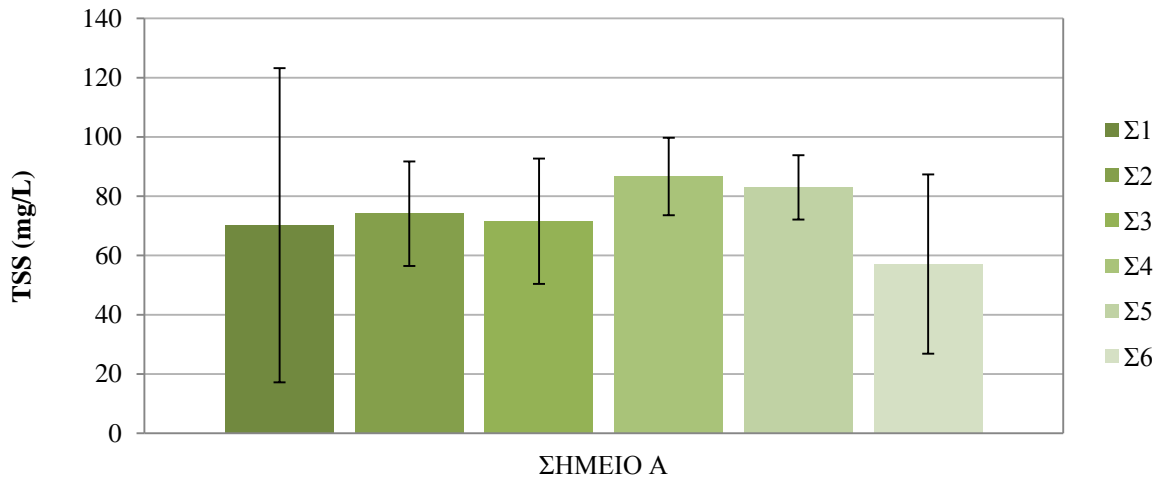
Στο σχήμα 4.79 φαίνεται ότι τα συστήματα που περιλαμβάνουν κροκίδωση έχουν συνολική απόδοση μεγαλύτερη του 98%, σε αντίθεση με τα Σ1 και Σ2, των οποίων η απόδοση είναι μικρότερη του 86%. Το σχήμα αυτό δείχνει επίσης, ότι χωρίς κροκίδωση, η αποτελεσματικότητα του συστήματος μειώνεται όταν προστίθενται «ισχυρότερες ροές» (το

Σ2 περιλαμβάνει και πλυντήριο ρούχων σε σχέση με το Σ1). Το φαινόμενο αυτό δεν παρατηρείται όταν υπάρχει κροκίδωση.

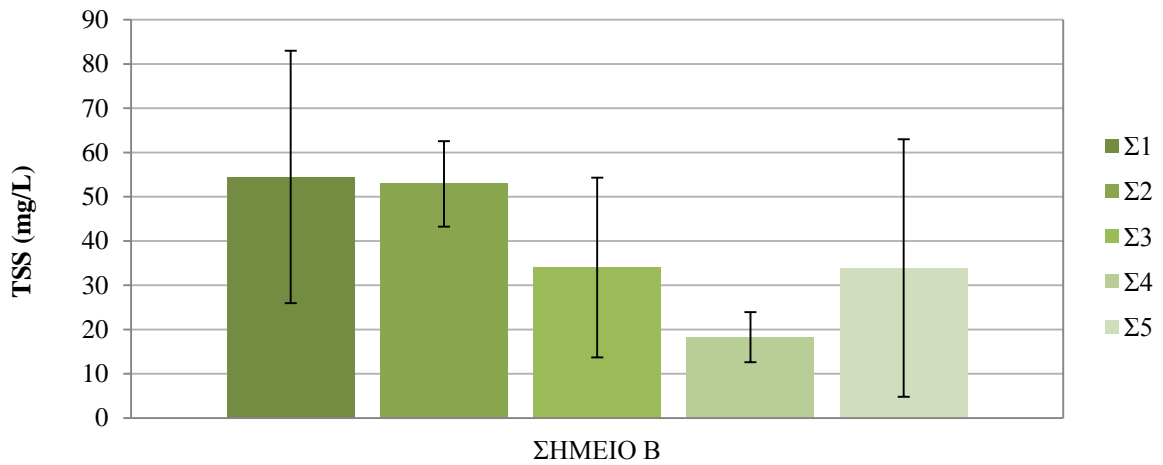
4.6.3 Ολικά αιωρούμενα και πτητικά στερεά (TSS και VSS αντίστοιχα)

Από το σχήμα 4.80, φαίνεται ότι σημαντική αύξηση στα ολικά αιωρούμενα στερεά (περίπου 20 mg/L) προκαλείται λόγω της προσθήκης της κουζίνας, με το 90% αυτών να είναι πτητικά. Επίσης, στο ίδιο σχήμα, φαίνεται ότι το ανεπεξέργαστο μείγμα γκρίζου νερού με τη μεγαλύτερη διακύμανση ήταν αυτό που περιείχε λύματα μόνο από τη μπανιέρα και το νιπτήρα (Σ1), εμφανίζοντας συγκεντρώσεις που έφταναν ακόμα και τα 120 mg/L. Στο ίδιο σύστημα (Σχήμα 4.84 και 4.90), τα TSS και VSS απομακρύνονται πρωτίστως λόγω διύλισης μέσω του αμμόφιλτρου (40%) και δευτερευόντως από τον ενεργό άνθρακα (απομάκρυνση 30%). Στο Σ2, το οποίο επεξεργάζεται και τη ροή του πλυντηρίου ρούχων, η μέγιστη απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών πραγματοποιείται μετά τον ενεργό άνθρακα. Σημειώνεται ότι στα συστήματα αυτά δεν γίνεται κροκίδωση, ενώ η μέση συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στην έξοδο είναι $TSS_{\Sigma 1} = 10,9 \text{ mg/L}$ και $TSS_{\Sigma 2} = 12,4 \text{ mg/L}$ (Σχήμα 4.83). Τέλος, τα συστήματα αυτά έχουν τη μικρότερη συνολική απόδοση στην απομάκρυνση των TSS και VSS (Σχήματα 4.85 και 4.91).

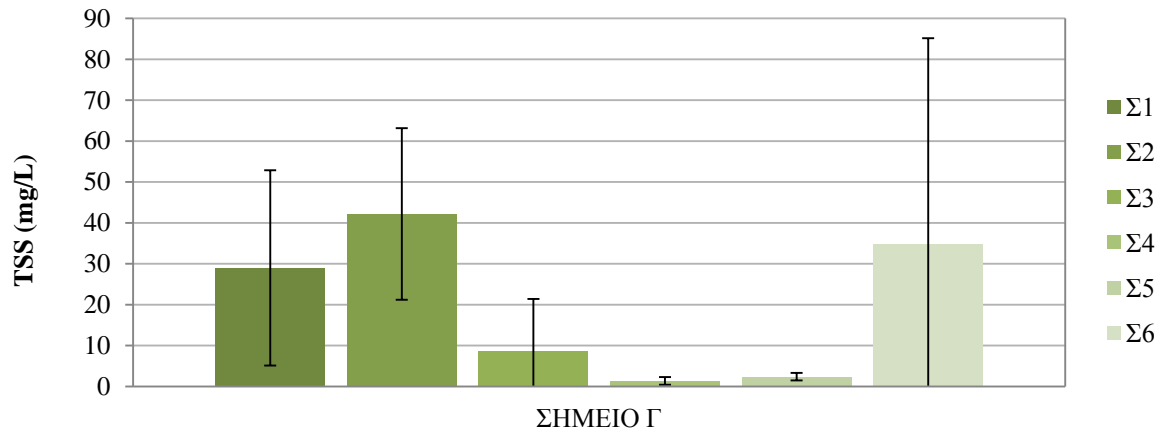
Στα συστήματα με κροκίδωση και καθίζηση (Σ3, Σ4 και Σ5), η μέγιστη απομάκρυνση ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών πραγματοποιείται στην καθίζηση (Σχήματα 4.84 και 4.90), ενώ στην τελική εκροή οι συγκεντρώσεις τους είναι μικρότερες από 3 mg/L (Σχήματα 4.83 και 4.89). Η συνολική απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών στα συστήματα αυτά είναι μεγαλύτερη από 96% (Σχήματα 4.85 και 4.91). Στο Σ6, στην απομάκρυνση των TSS φαίνεται ότι υπερισχύει η διύλιση μέσω του αμμόφιλτρου, ενώ των VSS, η διύλιση μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα (Σχήματα 4.84 και 4.90). Σε αυτό το σύστημα, η μέγιστη απομάκρυνση που επιτυγχάνεται είναι της τάξεως του 98% (Σχήματα 4.85 και 4.91) και οι συγκεντρώσεις στην έξοδο, μικρότερες των 2 mg/L (Σχήματα 4.83 και 4.89).



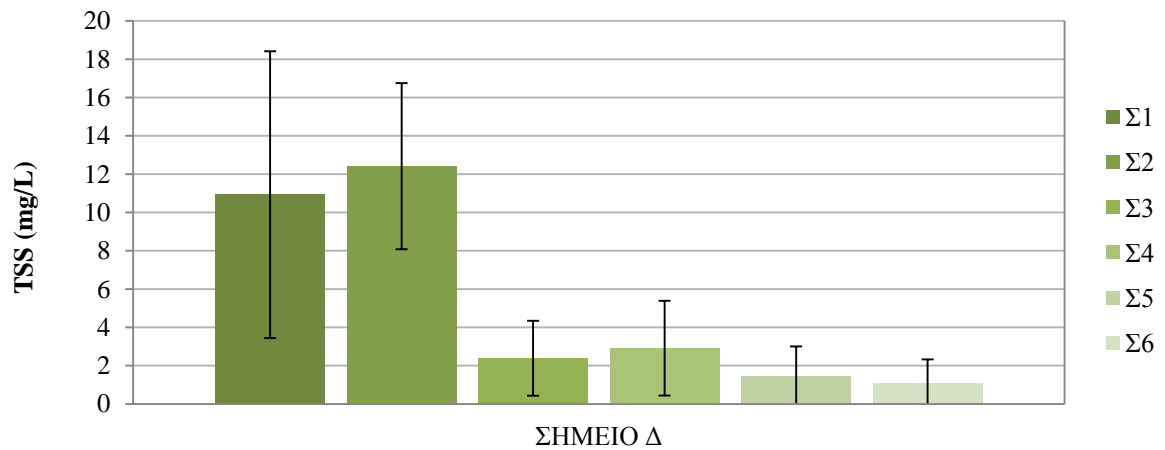
Σχήμα 4.80 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Α



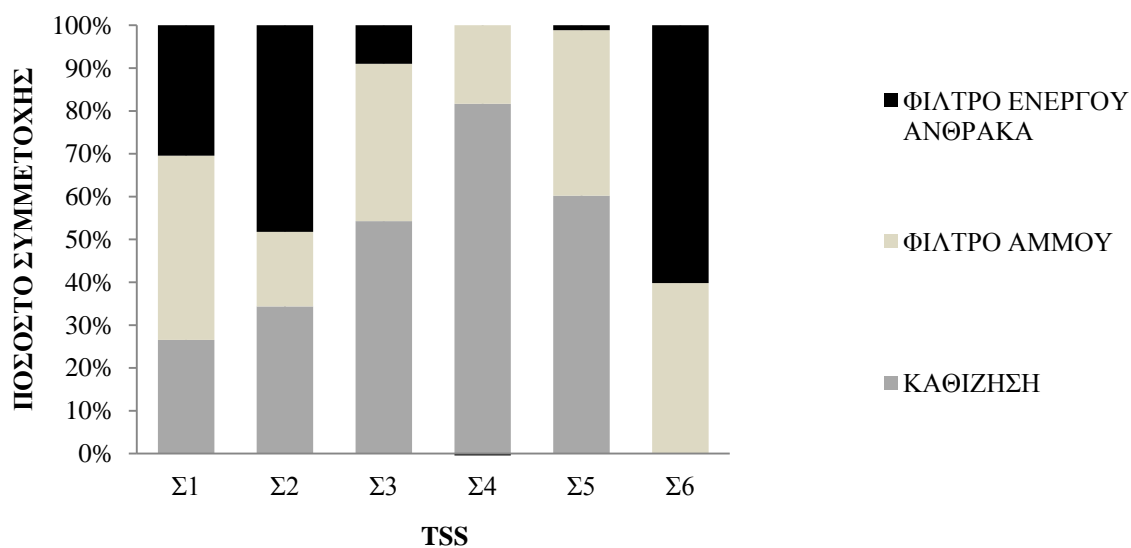
Σχήμα 4.81 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Β



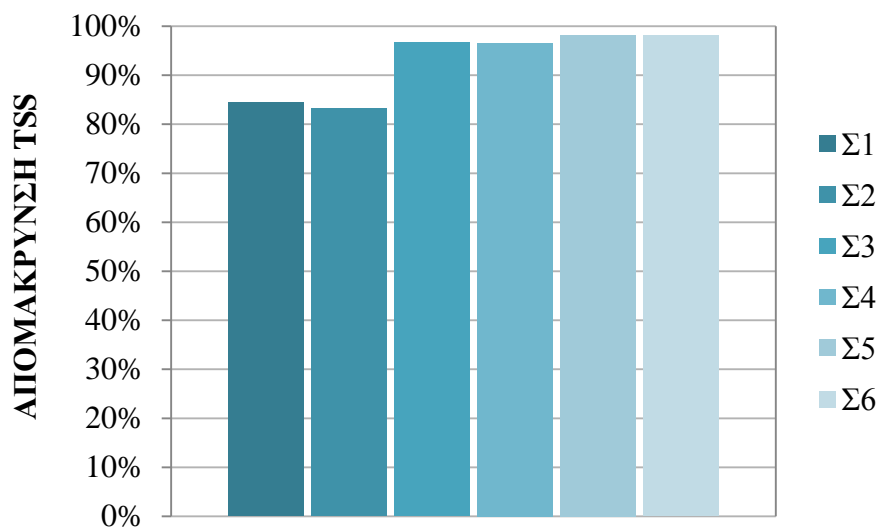
Σχήμα 4.82 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Γ



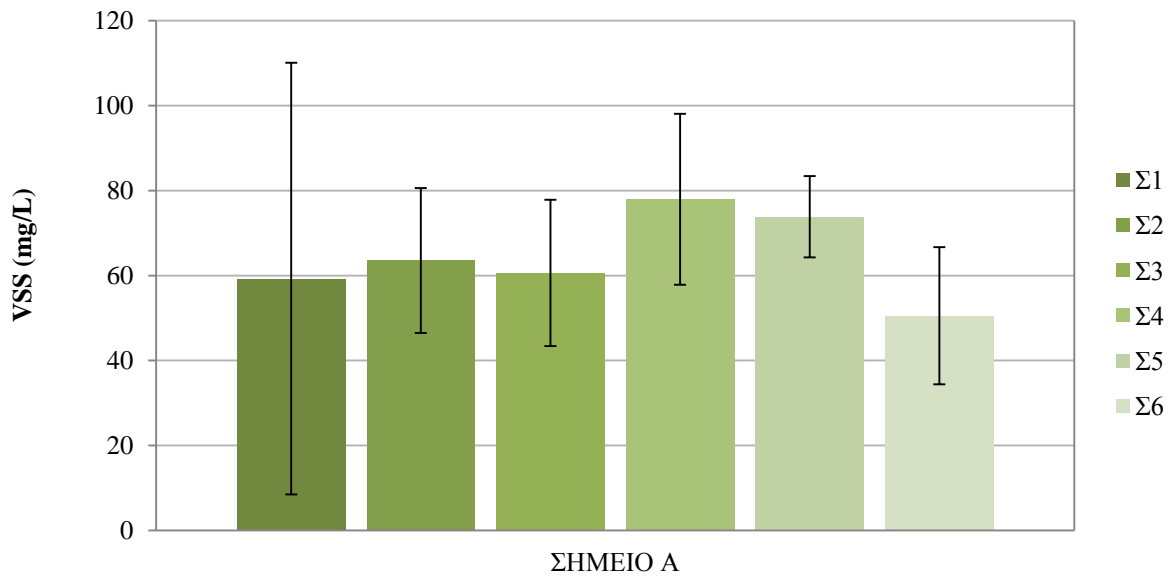
Σχήμα 4.83 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα TSS στο σημείο Δ



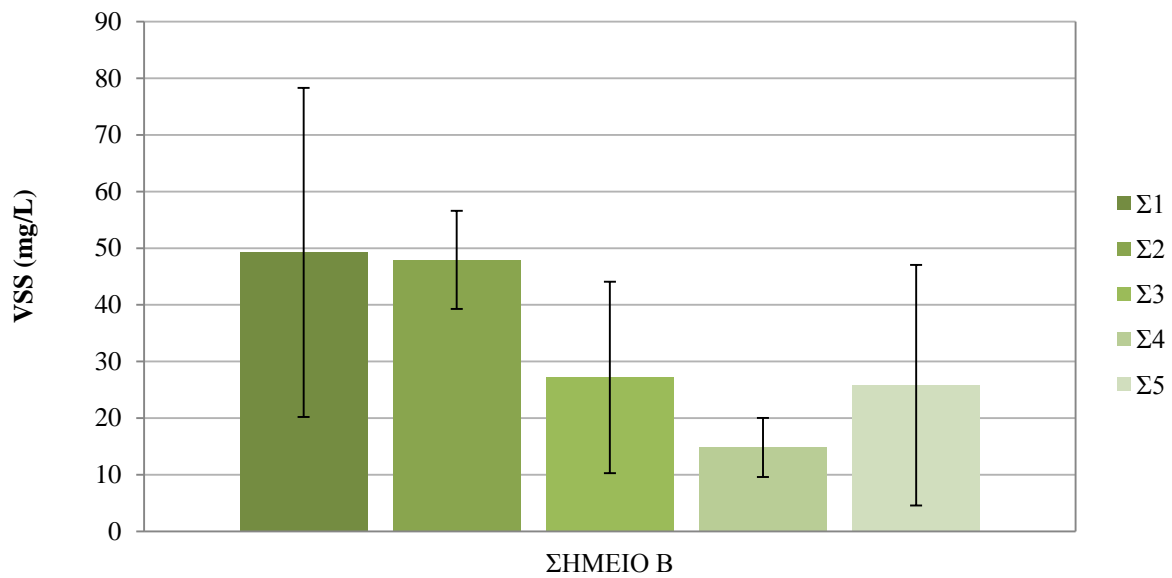
Σχήμα 4.84 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση των TSS



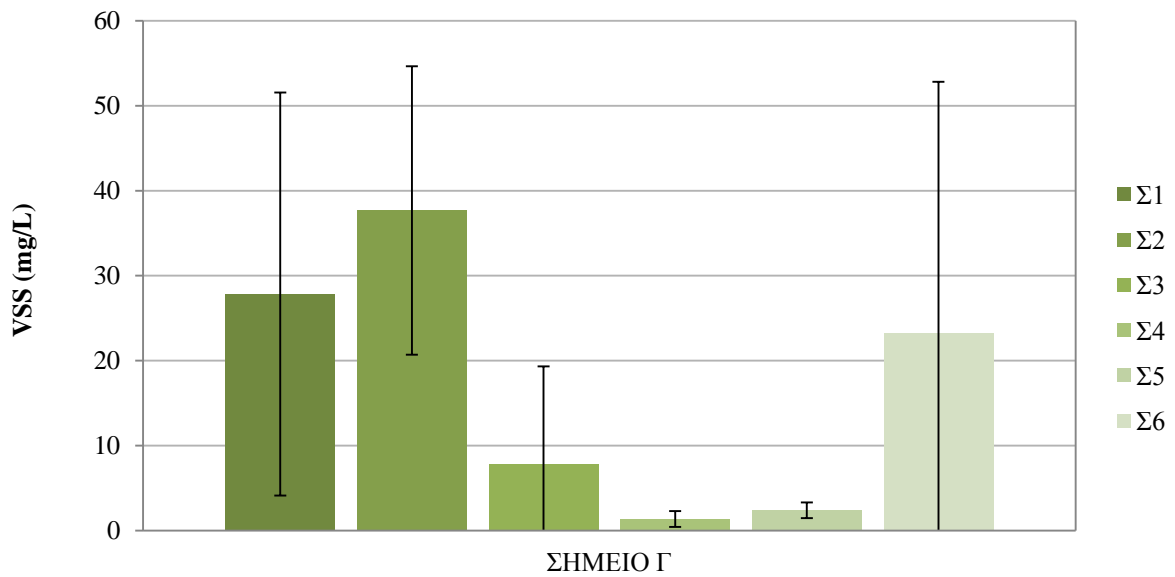
Σχήμα 4.85 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση των TSS



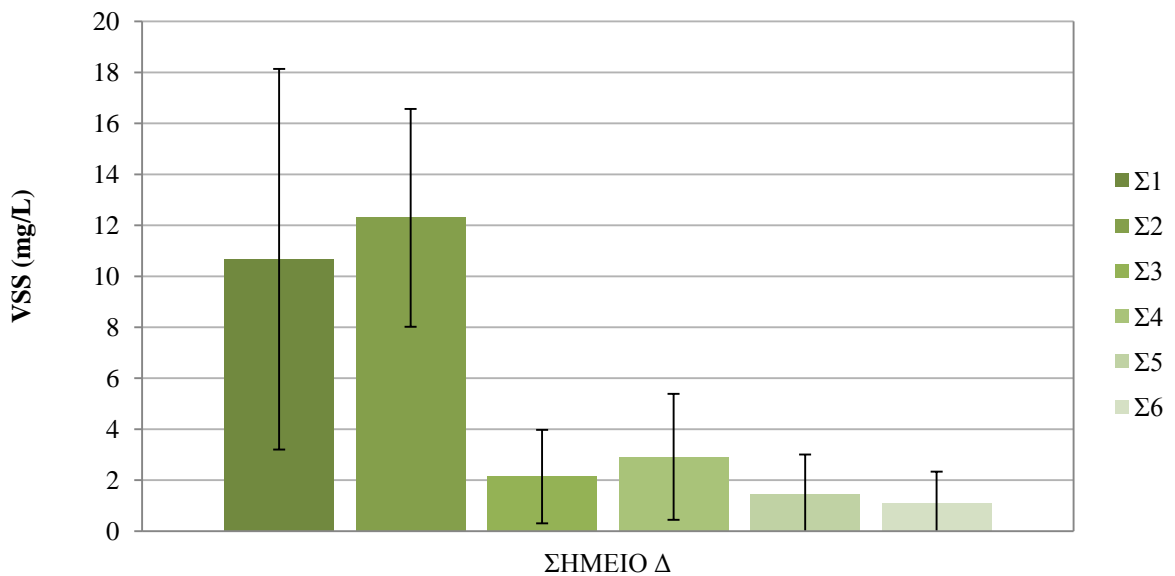
Σχήμα 4.86 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο A



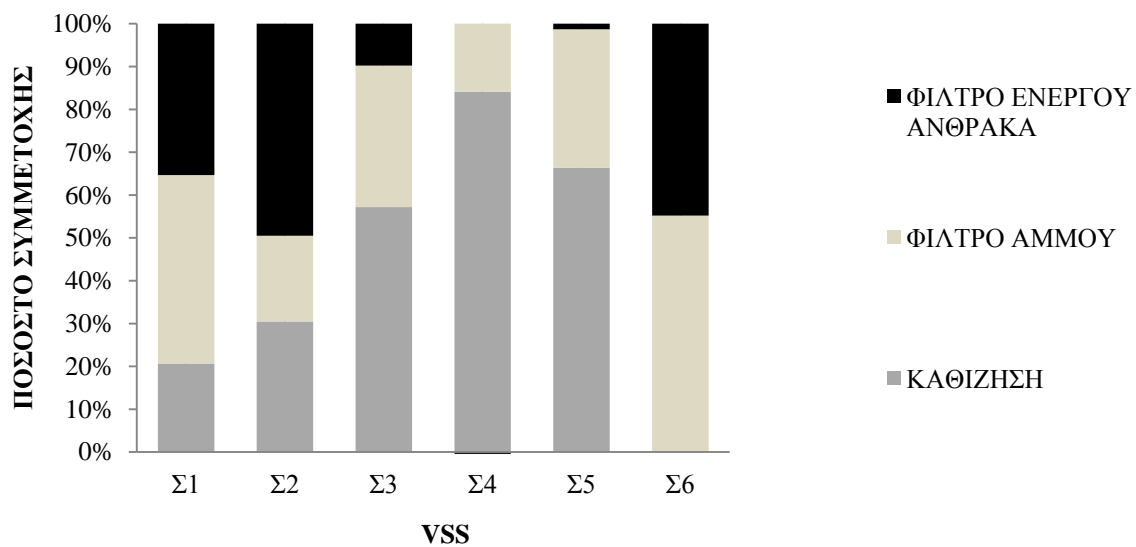
Σχήμα 4.87 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο B



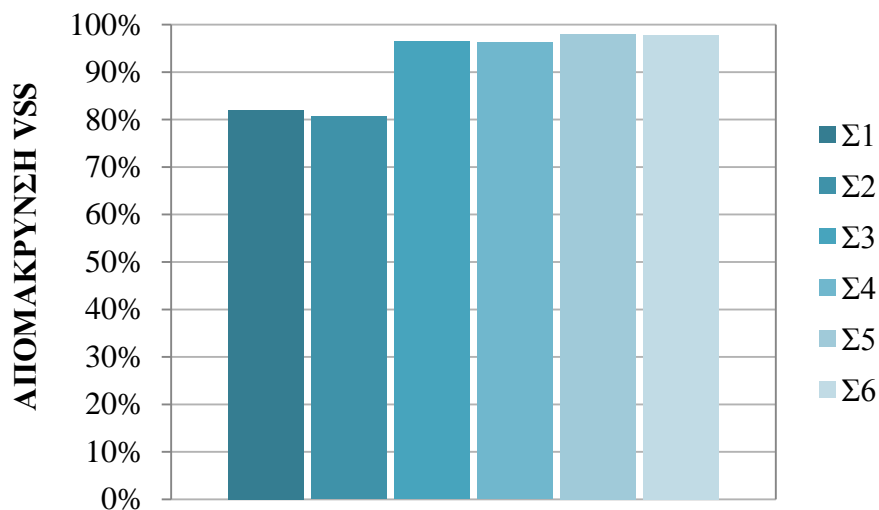
Σχήμα 4.88 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο Γ



Σχήμα 4.89 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα VSS στο σημείο Δ



Σχήμα 4.90 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση των VSS

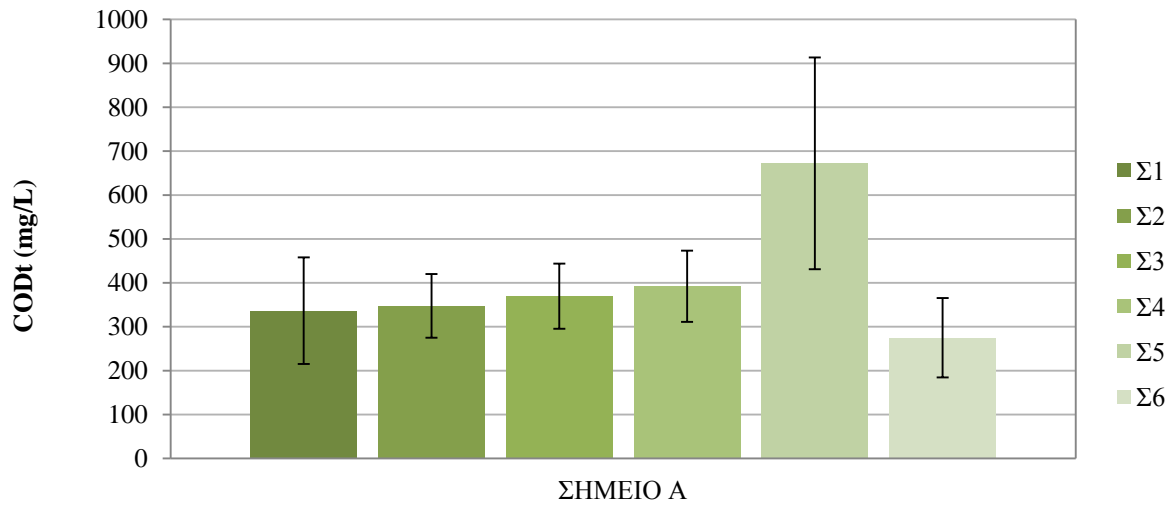


Σχήμα 4.91 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση των VSS

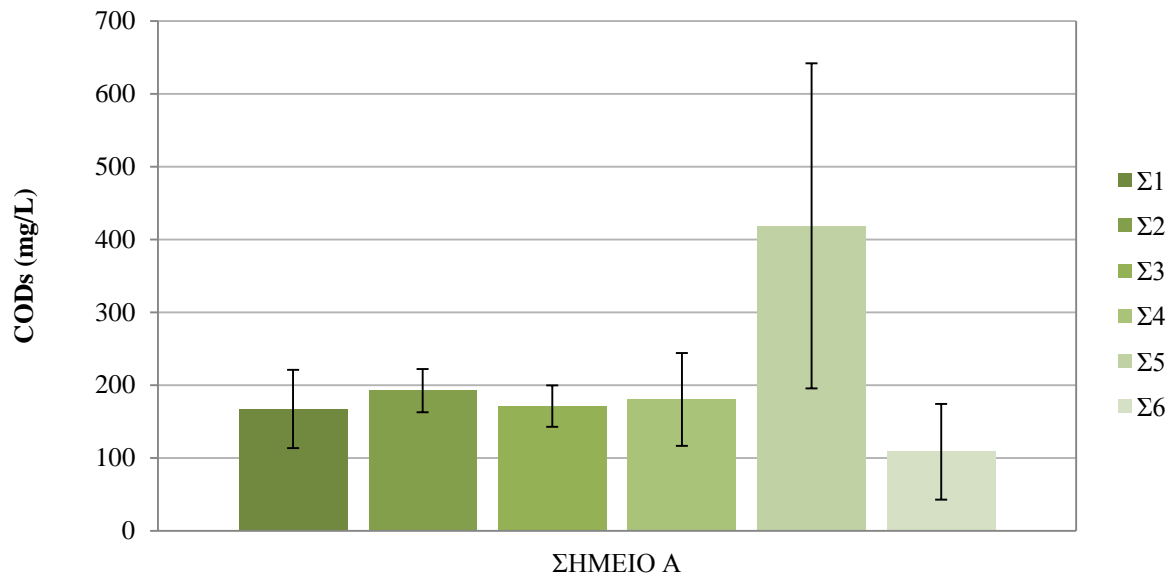
4.6.4 Ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (CODt και CODs αντίστοιχα)

Η προσθήκη του συνόλου των υγρών αποβλήτων της κουζίνας στο μείγμα του γκριζου νερού προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης του ολικού και διαλυτού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου κατά περίπου 200 mg/L σε σχέση με τα υπόλοιπα μείγματα (Σχήματα 4.92 και 4.93). Στα συστήματα χωρίς κροκίδωση, μεγαλύτερη συμμετοχή στην απομάκρυνση και των δύο μορφών του COD (σωματιδιακό και διαλυτό), έχει ο ενεργός άνθρακας (σε ποσοστό μεγαλύτερο του 70%), ενώ οι υπόλοιπες διεργασίες έχουν ίση συμμετοχή (μικρότερη του 15%). Στα Σ3-Σ5 που γίνεται κροκίδωση και καθίζηση, το 60% του CODt απομακρύνεται μέσω καθίζησης και το 70% του CODs μέσω του GAC. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι το 76% του ολικού COD που καθιζάνει είναι σωματιδιακό. Στα συστήματα αυτά η διύλιση μέσω του αμμόφιλτρου συμμετέχει στην απομάκρυνση σε ποσοστό μικρότερο του 10%. Όσον αφορά το Σ6 (σύστημα απευθείας διύλισης με κροκίδωση), το 63% του CODs προσροφάται στον ενεργό άνθρακα, ενώ το 62% του CODt κατακρατείται στο αμμόφιλοτρο. Από αυτό το 76% είναι σωματιδιακό.

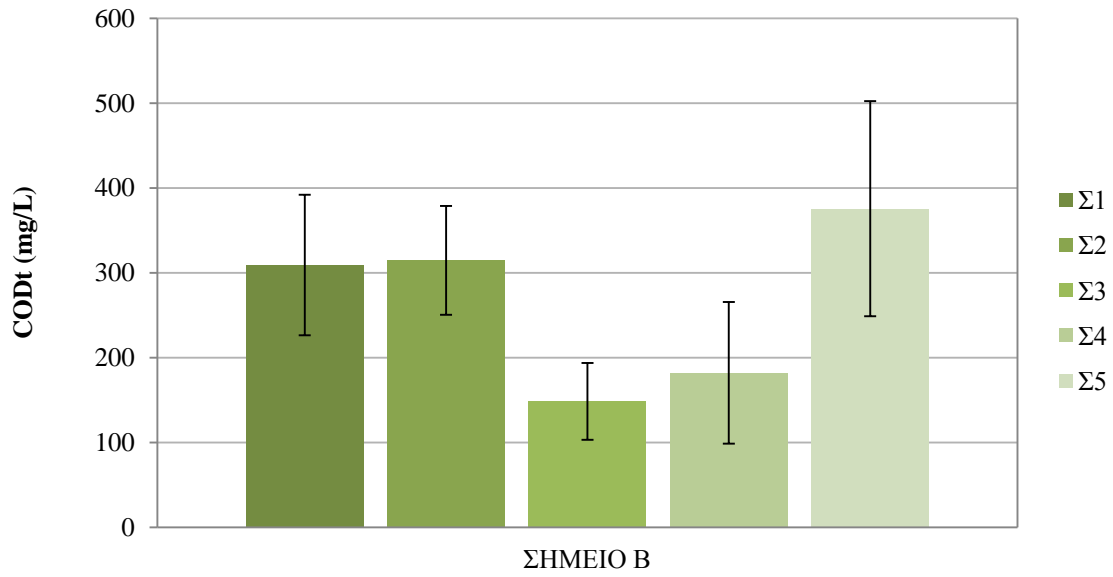
Η τελική εκροή βρίσκεται σε κάθε περίπτωση μέσα σε αποδεκτά όρια, αν και βελτιώνεται σημαντικά στα συστήματα με κροκίδωση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το CODt στα Σ1 και Σ2 έχει τιμή μεγαλύτερη των 25 mg/L, ενώ στα υπόλοιπα η τιμή αυτή δεν ξεπερνά τα 15 mg/L (εξαιρείται το Σ4 για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.3, που είχε και τη μικρότερη συνολική απόδοση). Στο Σχήμα 4.98, φαίνεται ότι η βέλτιστη εκροή (σε σχέση με το ολικό COD) είναι αυτή του Σ3. Τέλος, η μεγάλη τυπική απόκλιση στις τιμές του Σ5 οφείλεται στο σχετικά μικρό αριθμό δειγμάτων που λήφθηκαν, καθώς και στη μεταβαλλόμενη σύσταση των λυμάτων της κουζίνας.



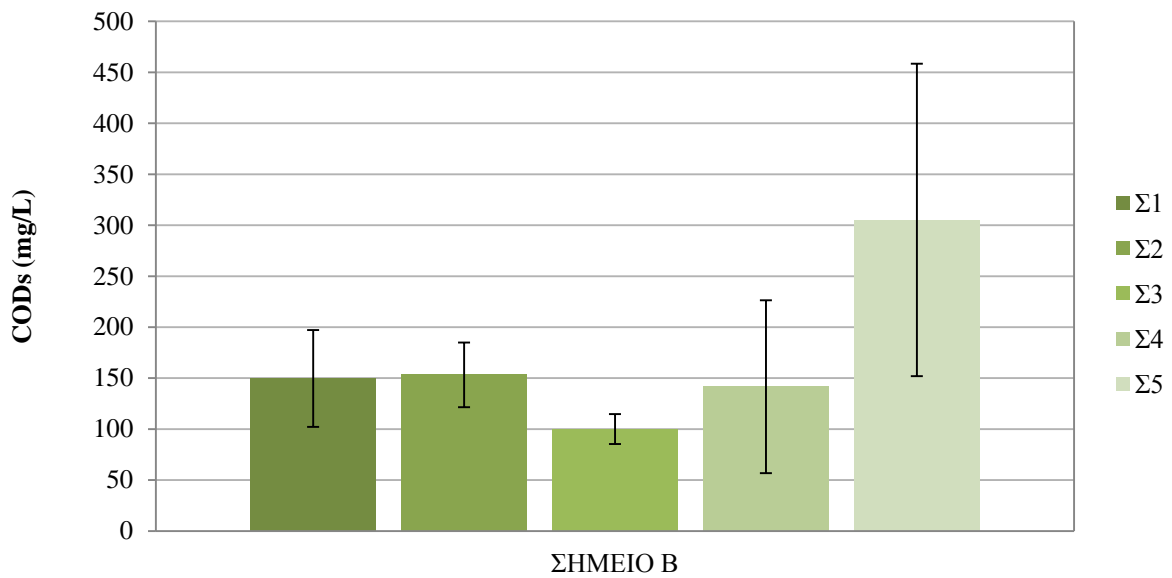
Σχήμα 4.92 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο A



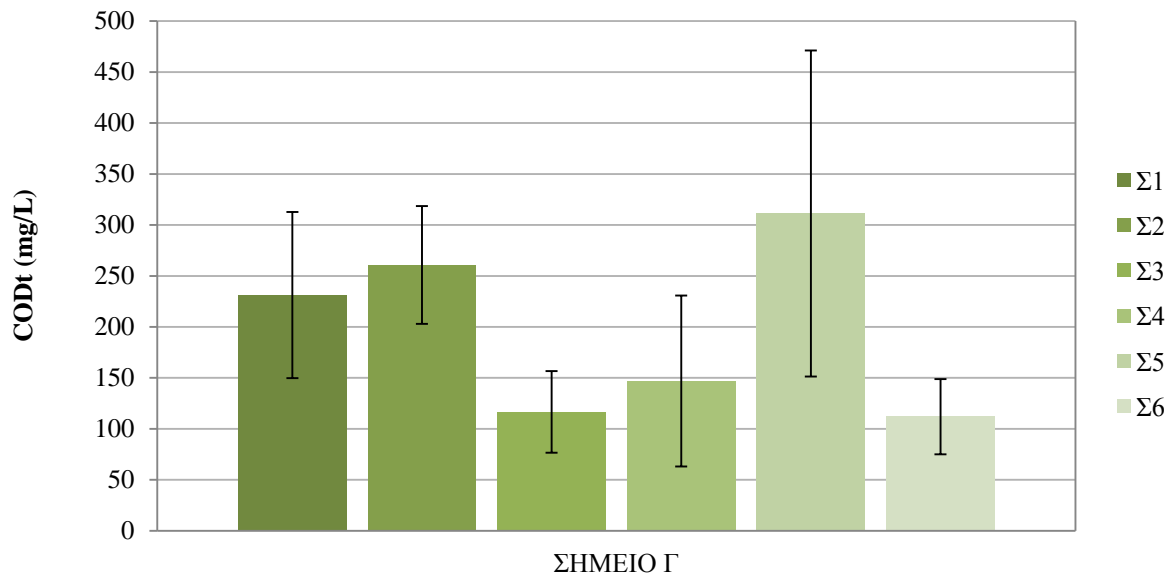
Σχήμα 4.93 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο A



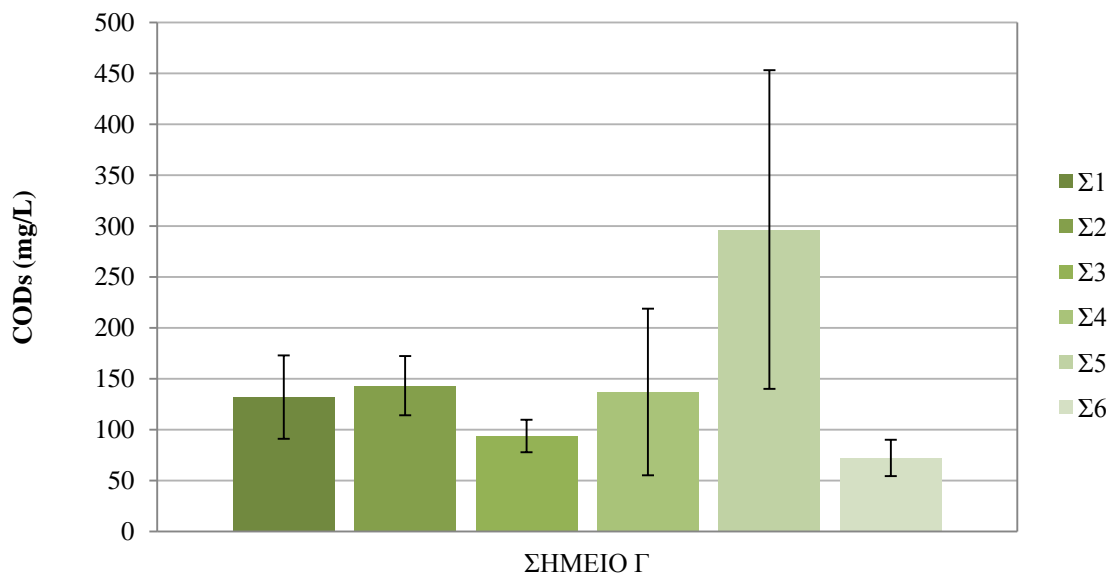
Σχήμα 4.94 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο B



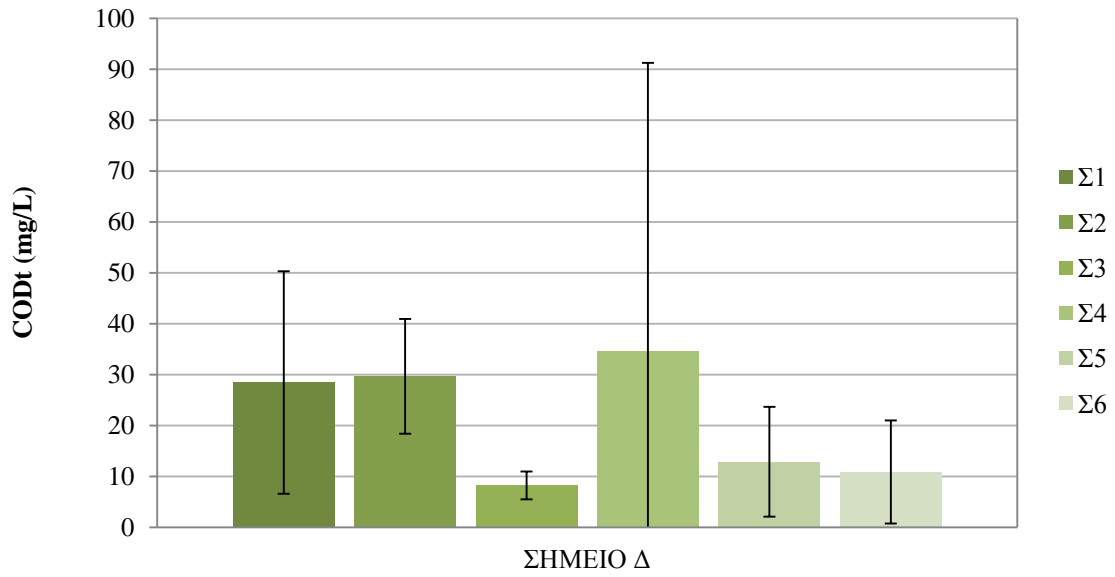
Σχήμα 4.95 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο B



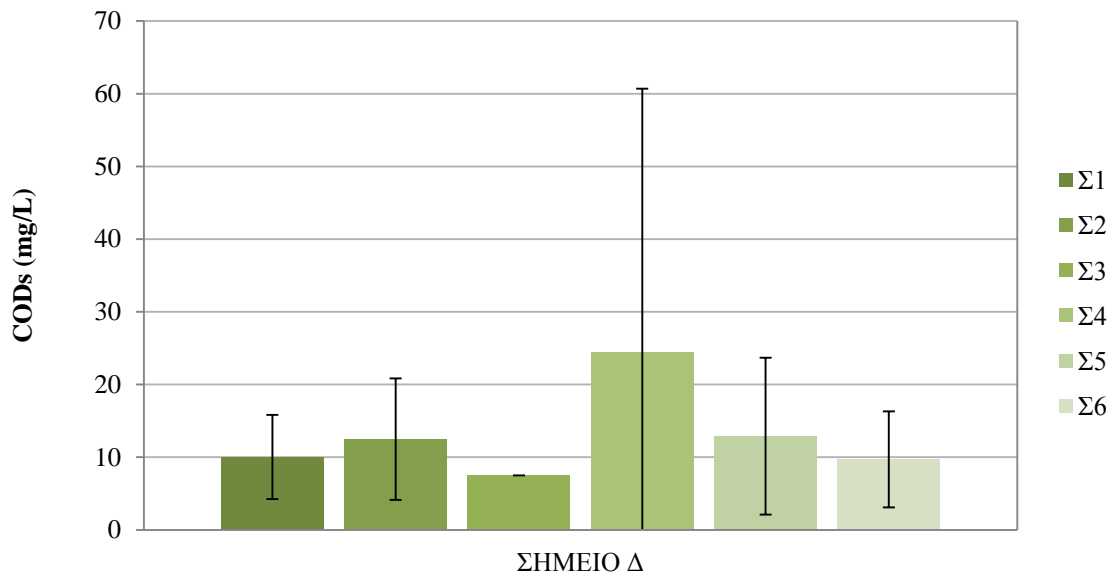
Σχήμα 4.96 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο Γ



Σχήμα 4.97 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο Γ

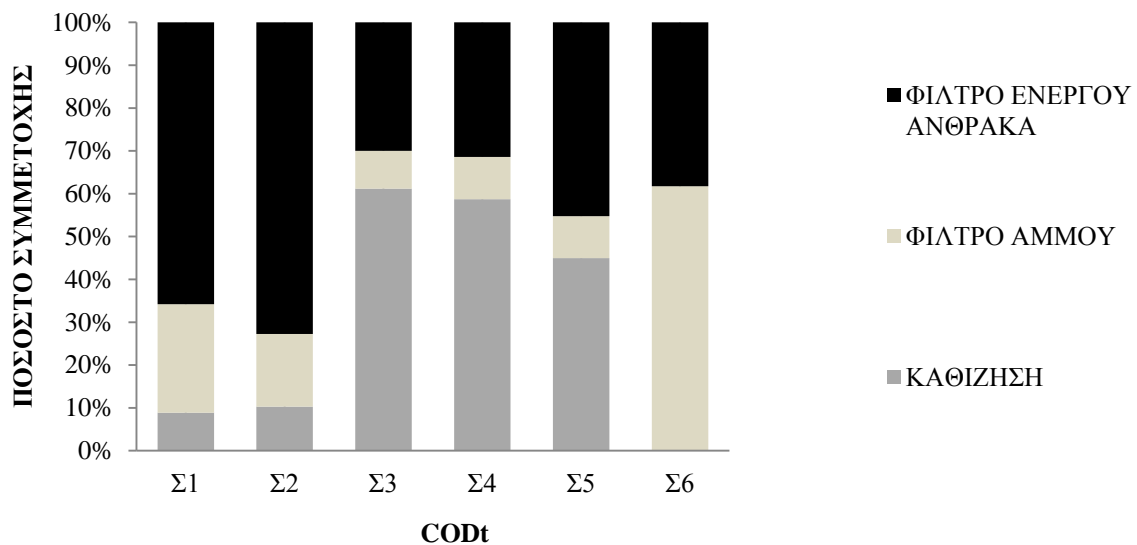


Σχήμα 4.98 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODt στο σημείο Δ

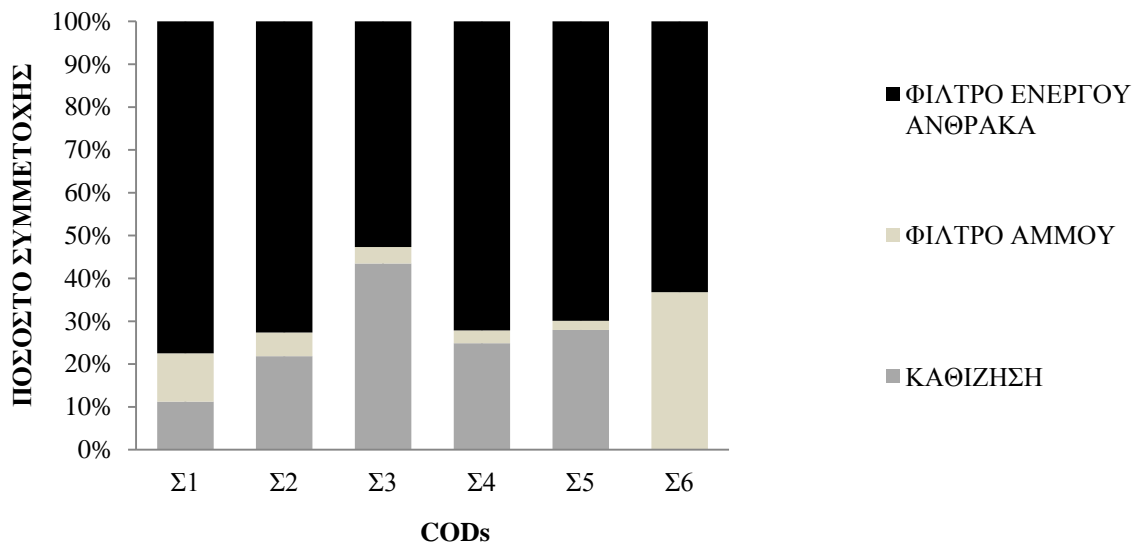


Σχήμα 4.99 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το CODs στο σημείο Δ

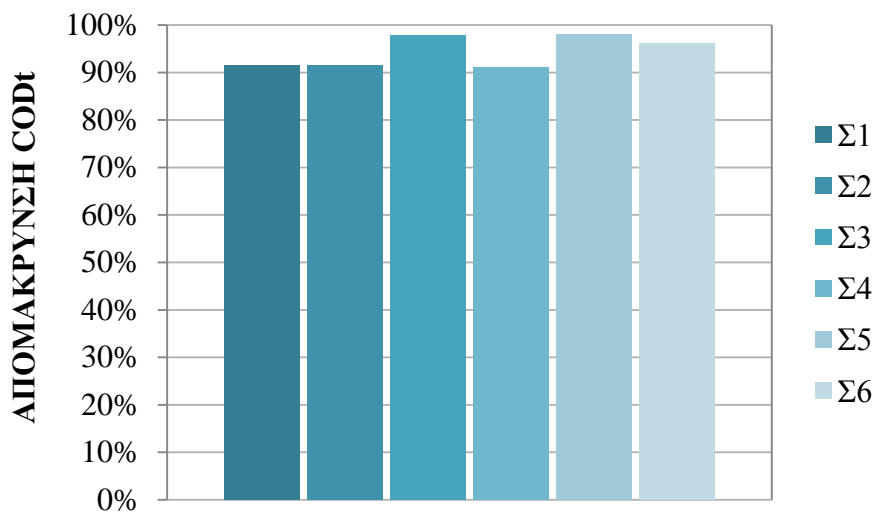
Στα Σχήματα 4.100 και 4.101, φαίνεται η αναλυτικά η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση του ολικού χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (CODt) και του διαλυτού (CODs), ενώ στα Σχήματα 4.102-4.103, παρουσιάζεται η συνολική απόδοση κάθε συστήματος όσον αφορά την απομάκρυνση αυτών των ρυπαντών. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω φαίνεται ότι τα συστήματα που είχαν και κροκίδωση έχουν καλύτερη συνολική απόδοση στην απομάκρυνση του CODt.



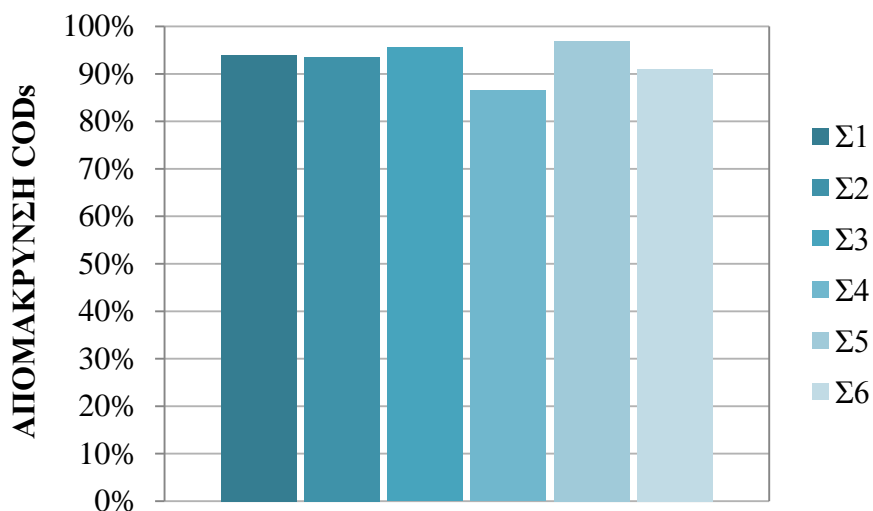
Σχήμα 4.100 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση του CODt



Σχήμα 4.101 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση του CODs



Σχήμα 4.102 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση του CODt

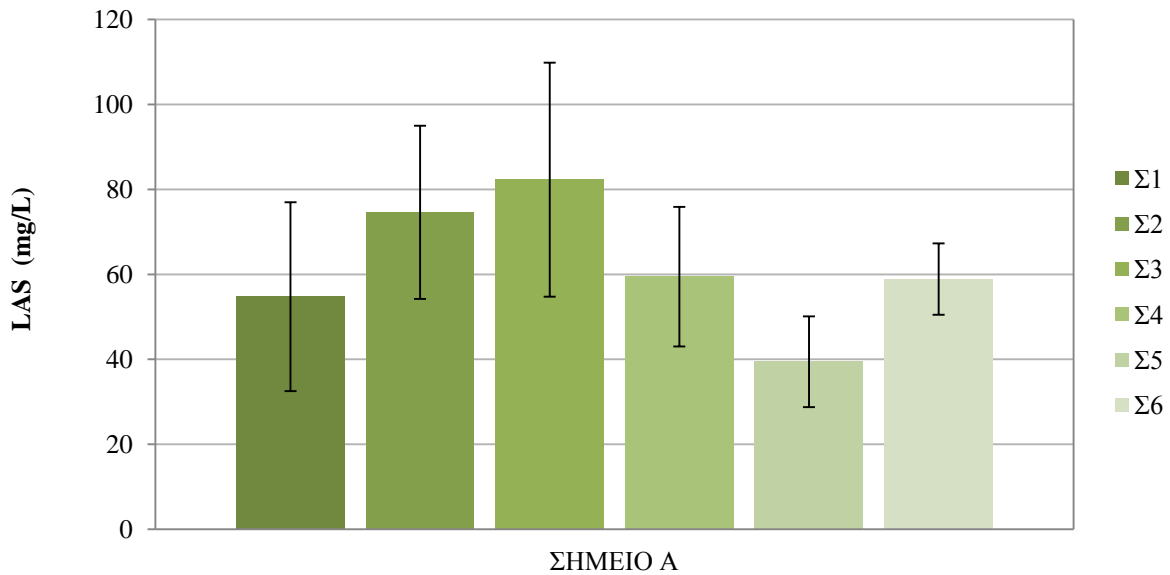


Σχήμα 4.103 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση του CODs

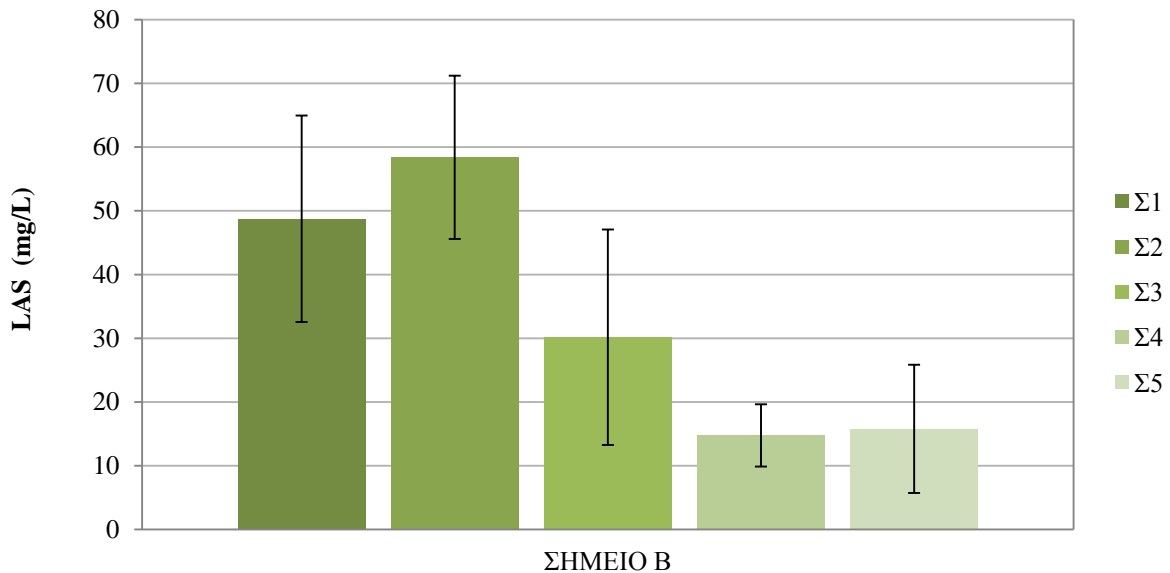
4.6.5 Ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS)

Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία (Πίνακας 2.7 παρούσας εργασίας) ότι η ροή του πλυντηρίου ρούχων έχει περίπου τετραπλάσια συγκέντρωση σε LAS (436 ± 288 mg/L) σε σχέση με τις ροές από τη μπανιέρα και την κουζίνα. Συνεπώς η προσθήκη της στο μείγμα νιπτήρα-μπανιέρας (συστήματα Σ2 και Σ3), αυξάνει σημαντικά την περιεκτικότητά του σε αυτά (από 50 mg/L στο Σ1 σε περίπου 80 mg/L στα Σ2 και Σ3). Το σύστημα με τη μικρότερη περιεκτικότητα σε LAS είναι το Σ5 (39 mg/L) (Σχήμα 4.104), το οποίο περιέχει ολόκληρη τη ροή της κουζίνας με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η συμμετοχή των υπολοίπων ροών και η συγκέντρωση σε LAS. Η διακύμανση της συγκέντρωσής τους είναι σχεδόν σταθερή στα Σ1-Σ3 σε όλα τα στάδια επεξεργασίας, αλλά αρκετά μεταβαλλόμενη στα υπόλοιπα συστήματα.

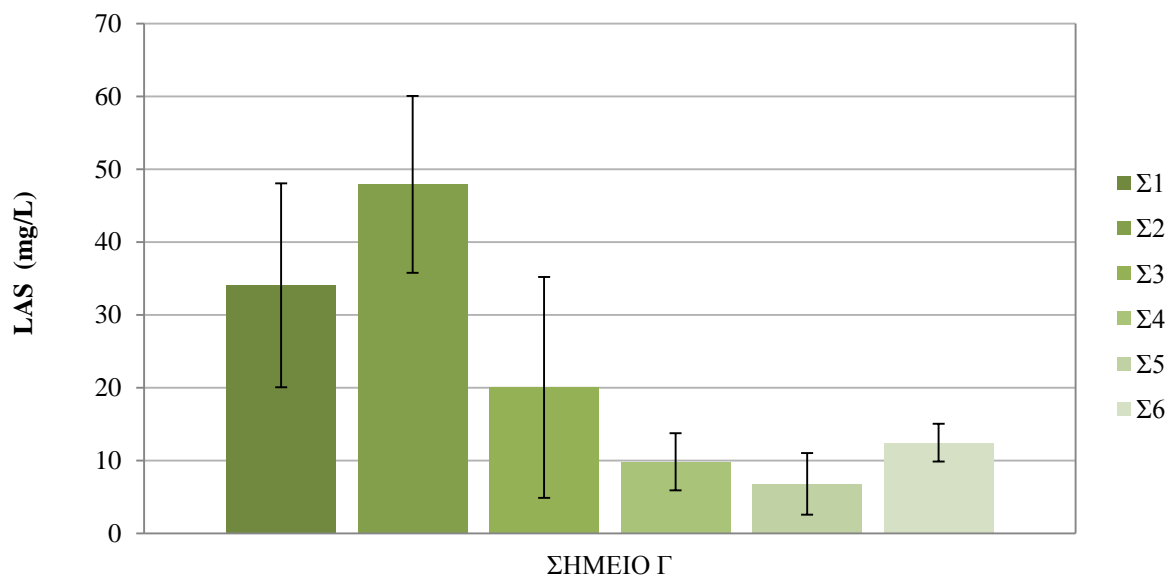
Στα συστήματα Σ1 και Σ2 που δεν γίνεται κροκίδωση, η μεγαλύτερη απομάκρυνση των LAS οφείλεται κατά κύριο λόγο στον ενεργό άνθρακα (ποσοστό απομάκρυνσης 63%), ενώ στα συστήματα Σ3, Σ4 και Σ5, στην καθίζηση, με ποσοστό απομάκρυνσης που φτάνει το 76%. Στο σύστημα Σ6, στο οποίο γίνεται κροκίδωση, αλλά όχι καθίζηση, η μεγαλύτερη απομάκρυνση γίνεται στο αμμόφιλτρο (82%) (Σχήμα 4.108).



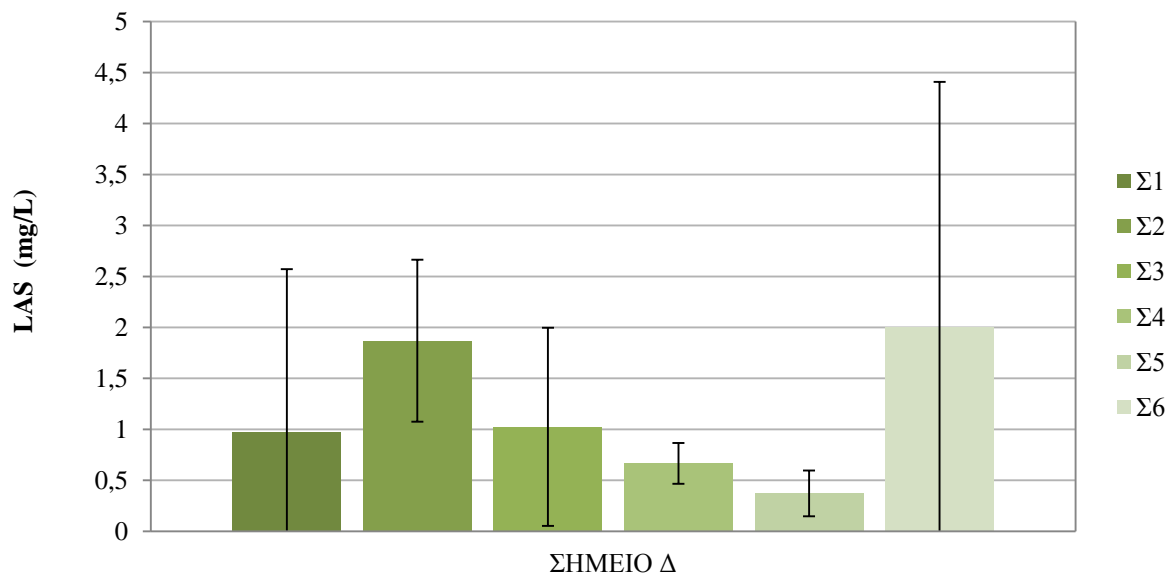
Σχήμα 4.104 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα LAS στο σημείο Α



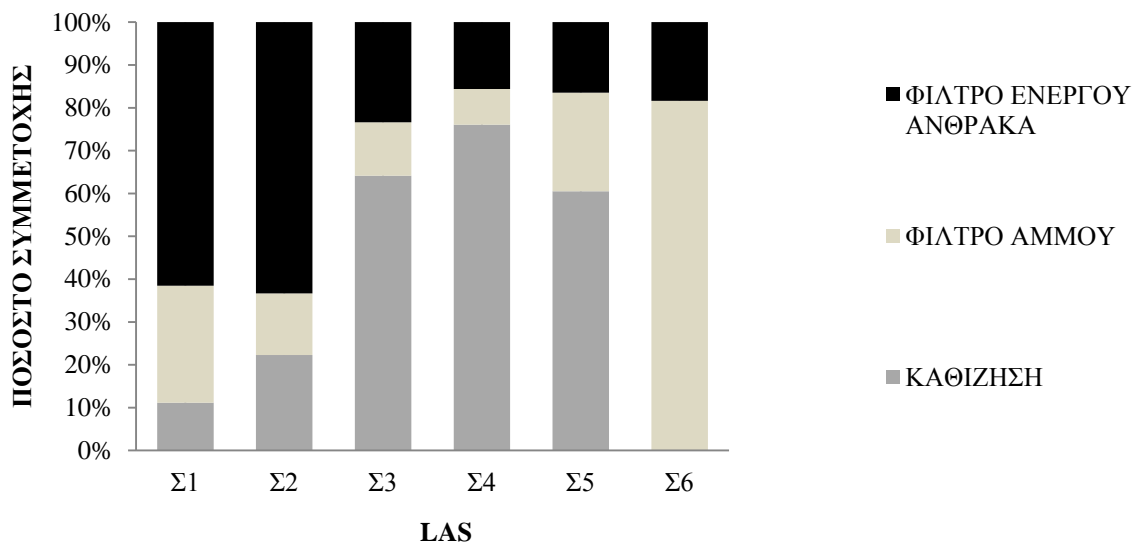
Σχήμα 4.105 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς τα LAS στο σημείο Β



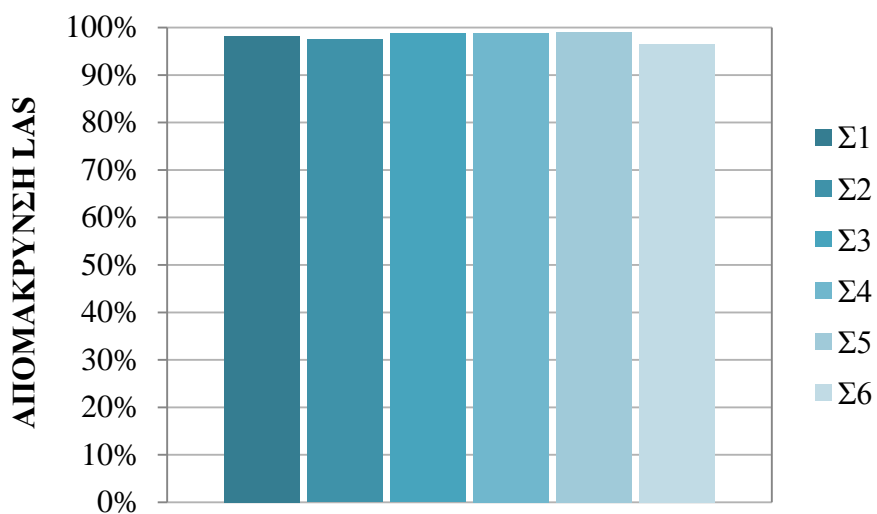
Σχήμα 4.106 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκριζού νερού ως προς τα LAS στο σημείο Γ



Σχήμα 4.107 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκριζού νερού ως προς τα LAS στο σημείο Δ



Σχήμα 4.108 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση των LAS



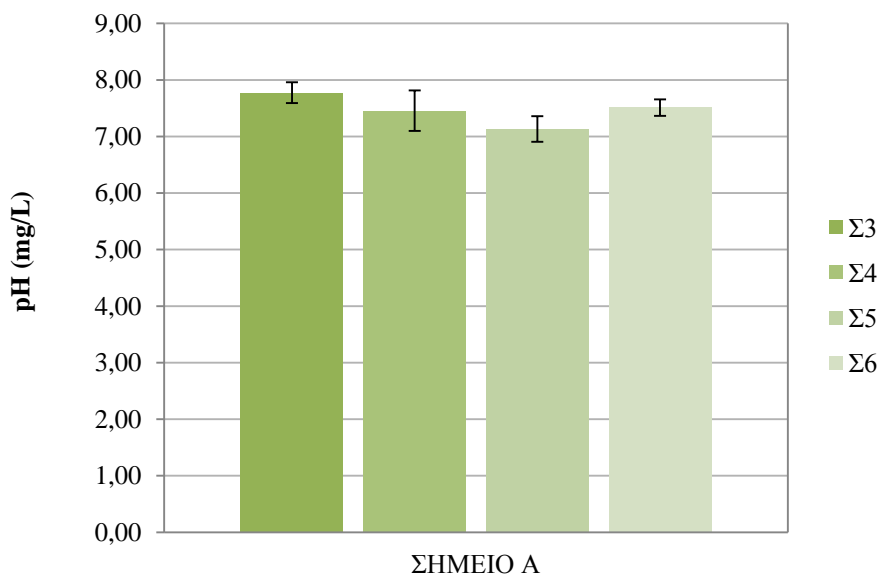
Σχήμα 4.109 Σύγκριση της συνολικής απόδοσης των φυσικοχημικών συστημάτων σε σχέση με την απομάκρυνση των LAS

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.106, όλα τα συστήματα μπορούν να πετύχουν στην τελική εκροή συγκεντρώσεις μικρότερες από 2 mg/L, εκτός από το σύστημα 6 (σύστημα χωρίς καθίζηση),

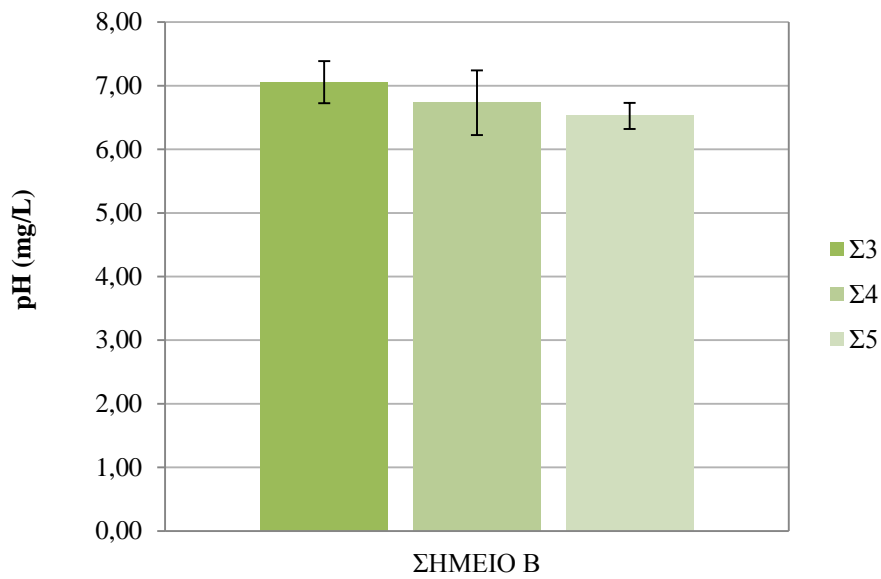
το οποίο έχει μεγάλη τυπική απόκλιση και εμφανίζει ακόμα και τιμές μεγαλύτερες των 5 mg/L. Μάλιστα, στο Σχήμα 4.109 φαίνεται ότι όσον αφορά την απομάκρυνση των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων στο γκρίζο νερό, το σύστημα αυτό έχει τη μικρότερη συνολική απόδοση, αλλά ακόμα και αυτή είναι μεγαλύτερη από 95%.

4.6.6 pH

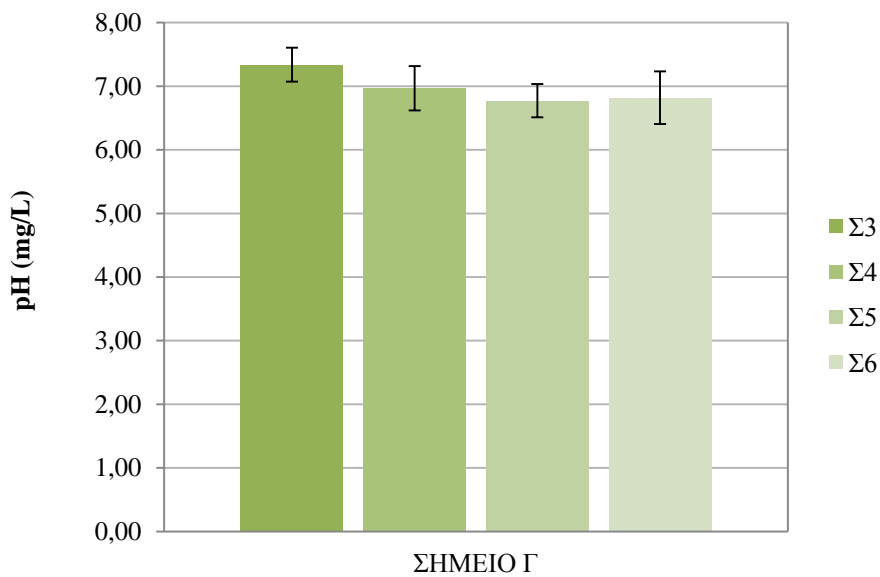
Το pH δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις ούτε ανάμεσα στα συστήματα, αλλά ούτε και μεταξύ των σταδίων επεξεργασίας, αν και με την προσθήκη κροκιδωτικού παρατηρείται μια αναμενόμενη μείωσή του (γίνεται δηλαδή περισσότερο όξινο). Πιο όξινο είναι και το pH των συστημάτων που επεξεργάζονται μείγμα που περιέχει και τη ροή από την κουζίνα. Σημειώνεται ότι στα Σ1 και Σ2 δε γινόταν μέτρηση του pH, οπότε η σύγκριση αφορά τα υπόλοιπα συστήματα.



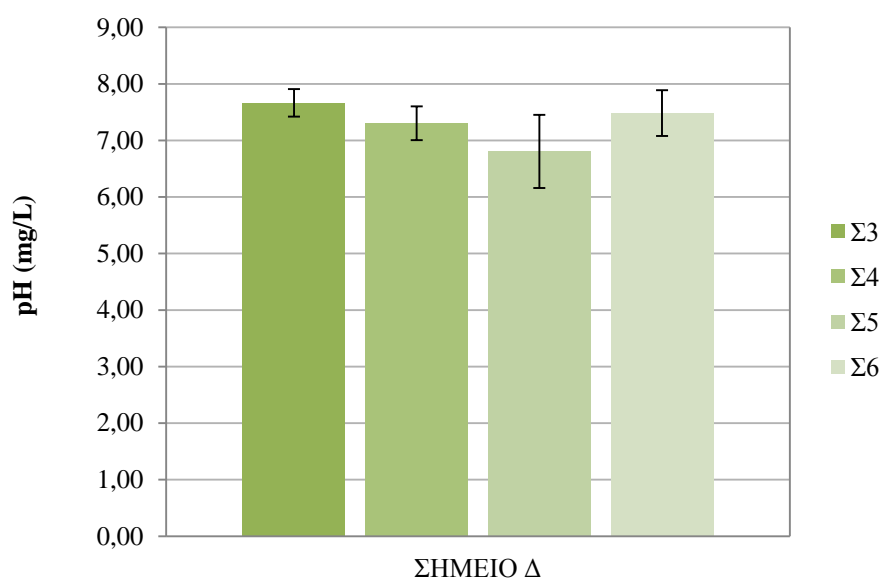
Σχήμα 4.110 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού ως προς το pH στο σημείο A



Σχήμα 4.111 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκριζου νερού ως προς το pH στο σημείο Β



Σχήμα 4.112 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκριζου νερού ως προς το pH στο σημείο Γ



Σχήμα 4.113 Σύγκριση φυσικοχημικών συστημάτων επεξεργασίας γκριζού νερού ως προς το pH στο σημείο Δ

4.6.7 Παραγόμενη ιλύς

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.13, η ποσότητα της ιλύος που παράγεται ημερησίως, αυξάνεται όσο τα λύματα γίνονται πιο ισχυρά, δηλαδή όσο αυξάνεται το ποσοστό συμμετοχής της κουζίνας στο μείγμα του γκριζού νερού. Για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής της ιλύος, έχει ληφθεί υπόψη και η συμπύκνωση που επέρχεται σε αυτή με την πάροδο του χρόνου. Σημειώνεται ότι για τα συστήματα Σ1 και Σ2 δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την ημερήσια παραγωγή ιλύος.

Πίνακας 4.13 Ημερήσια παραγωγή ιλύος στα εξεταζόμενα φυσικοχημικά συστήματα

Σύστημα	Ημερήσια παραγωγή ιλύος (mL)	Ετήσια παραγωγή ιλύος (L)
Σ3	96,5	32,9
Σ4	100	23,7
Σ5	150	45,6

Πίνακας 4.14 Συγκέντρωση ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών στην ιλύ των εξεταζόμενων φυσικοχημικών συστημάτων

Σύστημα	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	Ποσοστό VSS στα TSS
Σ3	7907±483	4609±413	58%
Σ4	12.359±657	8.629±452	70%
Σ5	10.411±384	8.156±356	78%

Στον Πίνακα 4.14 γίνεται σύγκριση των συστημάτων σε σχέση με την περιεκτικότητα της ιλύος σε ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά. Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, γίνεται σαφές ότι η αύξηση του ποσοστού συμμετοχής της κουζίνας στο μείγμα του προς επεξεργασία γκρίζου νερού, αυξάνει και την περιεκτικότητά της σε οργανικά στερεά.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω δεδομένα, γίνεται σαφές ότι η παρουσία των λυμάτων της κουζίνας προκαλεί ποικίλα προβλήματα σε σχέση με τη διαχείριση της ιλύος. Πιο συγκεκριμένα, ανακύπτουν προβλήματα που αφορούν την εύρεση του απαιτούμενου χώρου για την αποθήκευσή της, καθώς και για το χρόνο αποθήκευσης αυτής, ο οποίος πρέπει να είναι περιορισμένος λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε οργανικά στερεά.

4.6.8 Συχνότητα έκπλυσης φίλτρων

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4.15, στα συστήματα με κροκίδωση, προβλήματα υπερχειλίσσης (η μέγιστη στάθμη δηλαδή στα 62 cm) υπήρχαν στο φίλτρο της άμμου και μάλιστα, η συχνότητα έκπλυσης αυξανόταν όσο προστίθενται πιο «ισχυρές ροές». Καθημερινό σχεδόν πλύσιμο απαιτούσε το σύστημα της απευθείας διύλισης, στο οποίο παρατηρούνταν έμφραξη πριν ακόμα διέλθει η συνήθης ποσότητα λυμάτων (7 L). Όσον αφορά στον ενεργό άνθρακα των παραπάνω συστημάτων, η μέγιστη στάθμη δεν ξεπερνούσε συνήθως τα 20 cm, όμως και αυτός χρειαζόταν έκπλυση περίπου κάθε 8-10 ημέρες λειτουργίας, για την απομάκρυνση των στερεών που είχαν κατακρατηθεί. Πρέπει επίσης, να αναφερθεί ότι στα συστήματα που επεξεργάζονταν και τη ροή της κουζίνας, ο ενεργός άνθρακας μετά από περίπου 20 ημέρες λειτουργίας, έχασε την προσροφητική του ικανότητα και έπρεπε να αντικατασταθεί με καινούργιο. Σημειώνεται ακόμη για τον ενεργό άνθρακα, ότι εμφάνιζε προβλήματα υπερχειλίσσης μόνο στα συστήματα Σ1 και Σ2.

Πίνακας 4.15 Σύγκριση των εξεταζόμενων συστημάτων σε σχέση με τη συχνότητα έκπλυσης των φίλτρων λόγω υπερχειλίσης

Σύστημα	Συχνότητα έκπλυσης (ημέρες)
Σ1	10
Σ2	9
Σ3	6
Σ4	4
Σ5	>2
Σ6	1,2

4.6.9 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των συστημάτων με τα ελληνικά νομοθετικά όρια

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.4, στην Ελλάδα δεν έχει θεσπιστεί κάποιο νομοθετικό πλαίσιο που να αναφέρεται αποκλειστικά στην επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Υπάρχει ωστόσο οδηγία που αφορά γενικά την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αστικών αποβλήτων (Κ.Υ.Α. 145116/2011), η οποία θέτει όρια τα οποία αφορούν κυρίως μικροβιολογικές παραμέτρους, αιωρούμενα στερεά, θολότητα και BOD₅. Στα εξεταζόμενα έξι συστήματα (με την εξαίρεση του Σ1) δεν έχουν γίνει μικροβιολογικές αναλύσεις και προσδιορισμός του BOD₅. Συνεπώς, ο έλεγχος της καταλληλότητας της κάθε εκροής για επαναχρησιμοποίηση θα βασιστεί μόνο στη θολότητα και τα στερεά. Σύμφωνα λοιπόν με τις διπλωματικές εργασίες των Χαρχούση Δ. (2014) και Μενδρινού Π. (2014), οι εκροές των συστημάτων που δεν έχουν κροκίδωση, υπερβαίνουν τα θεσπισμένα όρια που αφορούν αυτές τις δύο παραμέτρους σχετικά με την απεριόριστη άρδευση, την αστική χρήση και το περιαστικό πράσινο, είναι όμως κατάλληλες για περιορισμένη άρδευση. Αντιθέτως, τα υπόλοιπα συστήματα πετυχαίνουν επιτρεπόμενη εκροή για όλες τις χρήσεις που αναφέρονται στην κείμενη ελληνική νομοθεσία (Πίνακας 4.16). Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι σε κάθε περίπτωση απαιτείται απολύμανση της τελικής εκροής πριν από οποιαδήποτε μορφή επαναχρησιμοποίησης, καθώς οι μικροβιολογικές αναλύσεις της Χαρχούση Δ., έδειξαν ότι η δύλιση από το φίλτρο της άμμου δεν επαρκεί για την απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών. Μάλιστα μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (E.P.A.), δείχνουν ότι η παρουσία του ενεργού άνθρακα

δημιουργεί τις κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών στην επιφάνειά του, οι οποίοι τελικά παρασύρονται στην έξοδο.

Πίνακας 4.16 Σύγκριση ορίων νομοθεσίας για απεριόριστη άρδευση και εκροής εξεταζόμενων συστημάτων

	TSS (mg/L)	Θολότητα (NTU)
	80% δειγμάτων	50% δειγμάτων
Σ1	> 11	9
Σ2	14,4	10,9
Σ3	2,63	0,89
Σ4	2,09	0,70
Σ5	0,68	0,45
Σ6	0,69	0,40
Νομοθεσία	≤ 10	≤ 2

4.7 Χαρακτηρισμός γκρίζου νερού από πλυντήριο πιάτων και ποικίλες πηγές

Παράλληλα με τα παραπάνω πειράματα, πραγματοποιήθηκε και ο χαρακτηρισμός γκρίζου νερού που προέρχεται από τη λειτουργία πλυντηρίου πιάτων. Τα αποτελέσματα αυτά προστίθενται στα αποτελέσματα που είχαν προκύψει από τη διπλωματική της Χαρχούση Δ. (2014) (Πίνακες 4.17-4.24) και παρουσιάζονται συνολικά για λόγους σύγκρισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επιμέρους ροών του γκρίζου νερού.

Πίνακας 4.17 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά διαφόρων ροών γκρίζου νερού

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος			Αγωγιμότητα μS/cm
		TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L	
	Κουζίνα	883±426	319±209	314±205	449±341
Χαρχούση Δέσποινα (2014)	Μπανιέρα	325±55,3	73,5±38,3	69,2±35,2	318±29,9
	Πλυντήριο ρούχων	1085±608	169±96,1	139±90,3	653±423
	Νιπτήρας	373±96,0	90,5±68,3	58,9±48,3	318±26,8
Παρούσα εργασία	Πλυντήριο πιάτων	2535±1053,4	11±1,3	10±0,5	2199±752,6

Πίνακας 4.18 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μεμονωμένων ροών γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

<u>Αναφορά</u>	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος		
		TS g/p.e./d	TSS g/p.e./d	VSS g/p.e./d
	Κουζίνα	26,4±12,4	9,44±6,27	9,30±6,09
Χαρχούση Δέσποινα (2014)	Μπανιέρα	12,0±2,52	2,62±1,21	2,49±1,17
	Πλυντήριο ρούχων	20,4±10,5	3,10±1,57	2,51±1,29
	Νιπτήρας	4,10±1,44	1,00±0,83	0,65±0,58
Παρούσα εργασία	Πλυντήριο πιάτων	4,56±1,90	0,20±0,002	0,16±0,001

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.17, σε σχέση με τις υπόλοιπες ροές, η ροή του πλυντηρίου ρούχων εμφανίζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ολικά στερεά (TS), καθώς και τη μεγαλύτερη διακύμανση σε αυτά, αλλά ταυτόχρονα, παρουσιάζει πολύ μικρές συγκεντρώσεις ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών. Στη βιβλιογραφία, για το πλυντήριο πιάτων έχουν αναφερθεί τιμές της τάξεως του 45-1500 mg/L TS, 15-440 mg/L TSS και 10-370 mg/L VSS (Friedler E, 2004). Ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί η υψηλή τιμή της αγωγιμότητας (2199±752,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$), η οποία οφείλεται στη χρήση απορρυπαντικών με μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυτά ιόντα (νατρίου, χλωρίου, καλίου, ασβεστίου, ανθρακικά, κλπ.). Επίσης, έγινε και μέτρηση της θολότητας, η οποία βρέθηκε ίση με 47±38,1 NTU.

Στον Πίνακα 4.21 παρουσιάζονται συνοπτικά οι χημικές ιδιότητες των λυμάτων που παράγονται από το πλυντήριο πιάτων. Το pH τους βρέθηκε ότι είναι αρκετά βασικό (pH=10), ενώ παρουσιάζουν και πολύ μικρή περιεκτικότητα σε ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS) (7±5,6 mg/L). Η συγκέντρωση του COD είναι της ίδιας τάξεως με αυτές της μπανιέρας και του νιπτήρα, ενώ ο λόγος CODt/BOD₅ είναι περίπου 2,5, όσο περίπου και στα τυπικά αστικά λύματα. Επίσης, η ροή αυτή, σε σχέση με τις υπόλοιπες, είναι αρκετά φτωχή σε άζωτο και διαλυτό φώσφορο, αλλά εμφανίζει αρκετά μεγάλες συγκεντρώσεις ολικού φωσφόρου (187,1±51,4 mg/L), γεγονός που δεν αποτελεί έκπληξη αφού τα καθαριστικά του πλυντηρίου πιάτων περιέχουν φωσφορικά άλατα σε ποσοστό 15-30%. Στον Πίνακα 4.19 φαίνονται ορισμένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων για κάθε ροή. Παρατηρείται ότι οι

συγκεντρώσεις αυτές είναι αρκετά χαμηλές, ενώ για αρκετά μέταλλα βρίσκονται κάτω του ορίου ποσοτικού προσδιορισμού.

Πίνακας 4.19 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σε διάφορες ροές του γκρίζου νερού

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος					
	Cd	Pb	Cr	Ni	Zn	Cu
	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	μg/L
Κουζίνα*	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,091±0,071	27±27
Μπανιέρα*	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,078±0,069	35±47
Πλυντήριο ρούχων*	<0,15	3,9±3,3	7,3±7,1	<5,0	0,20±0,16	43±29
Νιπτήρας*	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	7,3±9,4
Πλυντήριο πιάτων**	-	3,65±0,9	<2,5	<5,0	0,076±0,015	16,23±1,0

* Χαρχούση Δ., 2014

** Παρούσα εργασία

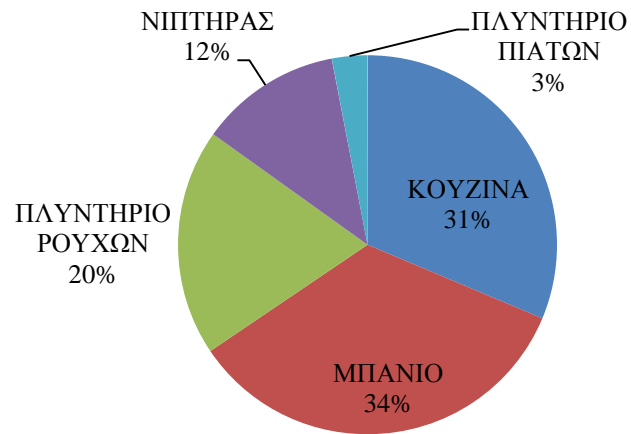
Πίνακας 4.20 Βαρέα μέταλλα στο μεικτό γκρίζο νερό σε μονάδες βάρους (μg ή mg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος			
	Pb	Cr	Zn	Cu
	μg/p.e./d	μg/p.e./d	mg/p.e./d	μg/p.e./d
Κουζίνα	-	-	2,59±1,92	858±918
Μπανιέρα	-	-	2,66±1,98	1172±1553
Πλυντήριο ρούχων	61,5±38,9	123±115	3,19±2,15	713±391
Νιπτήρας	-	-	0,514±0,398	93±134
Πλυντήριο πιάτων	6,57±1,61	-	0,14	29,2±1,8

* Χαρχούση Δ., 2014

** Παρούσα εργασία

Στο Σχήμα 4.114, παρουσιάζεται η συνεισφορά του γκρίζου νερού που παράγεται από τη χρήση του πλυντηρίου πιάτων στο συνολικό οικιακό γκρίζο νερό, η οποία είναι πολύ μικρή και μπορεί να χαρακτηριστεί ως αμελητέα.



Σχήμα 4.114 Ποσοστιαία συνεισφορά κάθε ροής στο οικιακό γκρίζο νερό

Πίνακας 4.21 Χημικές ιδιότητες μεμονωμένων ροών γκρίζου νερού

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	pH	Παράμετρος										
		COD _t mg/L	COD _s mg/L	BOD ₅ mg/L	PO ₄ -P mg/L	TP mg/L	LAS mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	NO ₂ -N μg/L	TKN mg/L	TN mg/L
Κουζίνα*	6,90±0,42	1119±476	518±225	831±358	1,5±2,8	2,7±3,1	87±76	0,20±0,26	1,1±1,2	20±17	5,5±4,8	6,5±5,0
Μπανιέρα*	7,49±0,17	390±125	193±113	263±83,9	<0,050	0,10±0,14	78±34	0,53±0,28	<0,23	12±11	2,6±2,2	2,7±2,2
Πλυντήριο ρούχων*	8,19±0,76	2072±1401	1165±920	1363±950	0,22±0,66	1,2±0,81	436±288	1,4±1,1	0,68±0,53	75±56	5,5±5,2	6,2±5,3
Νιπτήρας*	7,64±0,25	427±192	272±203	305±129	0,60±1,2	1,3±2,0	42±26	0,33±0,50	0,24±0,29	<10	2,3±2,0	2,5±1,9
Πλυντήριο** πιάτων	10±0,2	411±59	307±2,9	184,6±24,8	<0,05	187,1±51,4	7±5,6	0,11 ±0,07	0,440 ±0,065	49±6	<0,5	< 1

*Χαρχούση Δέσποινα (2014)

**Παρούσα εργασία

Πίνακας 4.22 Χημικές ιδιότητες μεμονωμένων ροών γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (mg ή g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος										
	COD	COD	BOD	PO ₄ -P	TP	LAS	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	TKN	TN
	g/p.e./d	g/p.e./d	g/p.e./d	mg/p.e./d	mg/p.e./d	g/p.e./d	mg/p.e./d	mg/p.e./d	mg/p.e./d	mg/p.e./d	mg/p.e./d
Κουζίνα*	33,8±15,8	16,1±8,85	25,2±12,7	40,0±72,5	76,9±79,7	2,48±2,11	6,00±7,41	34±41,2	0,551±0,427	157±137	192±147
Μπανιέρα*	14,2±4,83	6,98±3,77	9,62±3,65	-	3,44±4,68	2,81±1,24	0,938±12,1	-	0,469±0,543	89,3±66,1	92,4±65,8
Πλυντήριο ρούχων*	35,4±20,5	19,9±15,0	23,3±14,2	3,21±8,92	22,3±12,9	7,54±4,72	30,9±30,6	11,9±7,69	1,65±1,60	110±99,3	123±103
Νιπτήρας*	4,93±2,94	3,22±2,88	3,50±1,91	7,55±16,8	15,9±28,0	0,453±0,297	3,14±3,89	2,73±3,37	-	25,0±24,0	27,6±23,2
Πλυντήριο** πιάτων	0,92±0,11	0,44±0,01	0,33±0,045	-	342±92	< 0,1	-	< 1	-	< 1	< 2

*Χαρχούση Δέσποινα (2014)

**Παρούσα εργασία

Ταυτόχρονα, έγινε και χαρακτηρισμός δειγμάτων από την είσοδο ενός βιολογικού συστήματος γκρίζου νερού και τα αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με μείγμα γκρίζου νερού που είχε χαρακτηρίσει η Χαρχούση Δ. (2014), καθώς και με ένα μείγμα, του οποίου τα χαρακτηριστικά προσδιορίστηκαν με λογιστικές πράξεις (Τύπος Α με την προσθήκη του πλυντηρίου πιάτων). Οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν πρωί και απόγευμα. Στον Πίνακα 4.23 παρουσιάζονται τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 4.23 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μεικτού γκρίζου νερού

Αναφορά	Τύπος γκρίζου νερού	Παράμετρος			
		TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L	Αγωγιμότητα μS/cm
Χαρχούση Δέσποινα (2014)	Τύπος Α ¹	649±151	168±70,3	155±63,4	-
Παρούσα εργασία	Τύπος Β ²	725	168,3	155,3	-
	Μεικτό	459±80,9	92,6±27,8	75,1±20,8	510±11,3

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² πλυντήριο πιάτων, κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

Αρχικά, έγινε μέτρηση της θολότητας του μείγματος, η οποία έδειξε ότι αυτή είναι αρκετά υψηλή και ίση με 137±40,7 NTU. Όσον αφορά στα υπόλοιπα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του, εμφανίζει χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τους δύο τύπους γκρίζου νερού, αν και οι διαφορές αυτές δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές (Πίνακας 4.23). Παρόμοια εικόνα εμφανίζουν και τα χημικά χαρακτηριστικά του (Πίνακας 4.25) Σημειώνεται ότι ο λόγος του CODt/BOD₅ είναι περίπου ίσος με 2, δηλαδή λίγο μικρότερος σε σχέση με τα τυπικά αστικά λύματα. Το μεικτό αυτό γκρίζο νερό είναι αρκετά φτωχό σε άζωτο και φώσφορο, με την εξαίρεση της αμμωνίας (NH₄-N), η οποία έχει συγκέντρωση ίση με 10 mg/L (Πίνακας 4.25). Αντιθέτως, έχει υψηλή περιεκτικότητα σχεδόν σε όλα τα εξεταζόμενα βαρέα μέταλλα (πίνακας 4.24). Η παρουσία αυτών οφείλεται πιθανότατα στα υλικά των σωληνώσεων του δικτύου μεταφοράς ή της οικίας από την οποία προήλθαν τα δείγματα.

Πίνακας 4.24 Βαρέα μέταλλα στο μεικτό γκρίζο νερό

Μεικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος					
	Cd	Pb	Cr	Ni	Zn	Cu
	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/L	μg/L
Τύπου Α ^{1,*}	<0,15	<2,5	2,6±1,5	<5,0	0,092±0,034	29±26
Τύπου Β ^{2,*}	<0,15	<2,5	2,63	<5,0	0,095	29,34
Μεικτό**	-	5,6±1,4	<2,5	5,4±0,6	0,32±0,09	47,5±12

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

* Χαρχούση Δ., 2014

** Παρούσα εργασία

Πίνακας 4.25 Χημικές ιδιότητες μεικτού γκριζού νερού

Παράμετρος												
Τύπος γκρίζο νερού	pH	COD _t mg/L	COD _s mg/L	BOD ₅ mg/L	PO ₄ -P mg/L	TP mg/L	LAS mg/L	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	NO ₂ -N μg/L	TKN mg/L	TN mg/L
Τύπου Α ^{1,*}	-	903±286	470±259	630±233	0,54±0,77	1,23±0,89	135±48	0,63±0,43	0,54±0,41	29,0±19,5	4,1±2,7	4,6±2,7
Τύπου Β ^{2,**}	-	918	477	635	0,54	1,23	141	0,65	0,55	29,0	4,1	4,8
Μεικτό ^{**}	7±0,001	471,5±57,3	235,5±3,5	247,81±27,	<0,05	0,82±0,15	60,9±4,7	10,0±0,2	0,22±0,15	<10	8,82±0,22	< 20

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² πλυντήριο πιάτων, κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

*Χαρχούση Δέσποινα (2014)

**Παρούσα εργασία

5. Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα από την επεξεργασία του γκρίζου νερού

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας ενός φυσικοχημικού συστήματος γκρίζου νερού αποτελούμενου κατά σειρά από μονάδες κροκίδωσης, καθίζησης και διύλισης σε φίλτρο άμμου και ενεργού άνθρακα. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν συνολικά 4 κύκλοι πειραμάτων. Στους πρώτους 3 κύκλους, το σύστημα αποτελούνταν από δεξαμενή κροκίδωσης, δεξαμενή καθίζησης, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα, ενώ χρησιμοποιήθηκαν μείγματα γκρίζου νερού διαφορετικής σύστασης. Στον 4^ο κύκλο πειραμάτων, αφαιρέθηκε η δεξαμενή καθίζησης και πραγματοποιούνταν απευθείας διύλιση του κροκιδωμένου μείγματος γκρίζου νερού σε φίλτρο άμμου και στη συνέχεια σε φίλτρο ενεργού άνθρακα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα αυτά συγκρίθηκαν με τα πειραματικά δεδομένα προηγούμενων διπλωματικών εργασιών. Τέλος, πραγματοποιήθηκε χαρακτηρισμός των ποιοτικών χαρακτηριστικών δειγμάτων γκρίζου νερού προερχόμενων από τα υγρά απόβλητα της χρήσης πλυντηρίου πιάτων, καθώς και δειγμάτων γκρίζου νερού από μια οικία στην Κρήτη.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα :

Για τα συστήματα χωρίς κροκίδωση :

- Στο σύστημα 1, στο οποίο γίνεται επεξεργασία γκρίζου νερού που προέρχεται από τη μπανιέρα και το νιπτήρα, παρατηρούνται σημαντικές συγκεντρώσεις ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών, καθώς και θολότητας. Βασικός μηχανισμός απομάκρυνσης και των τριών αυτών ποιοτικών χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού αποτελεί η διύλιση μέσω του αμμόφιλτρου. Αντιθέτως, η απομάκρυνση όλων των μορφών του COD και των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS) πραγματοποιείται κυρίως μέσω του ενεργού άνθρακα.
- Στο σύστημα 2, προστίθεται και η ροή του πλυντηρίου ρούχων, με αποτέλεσμα να σημειωθεί αύξηση των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS). Κύριος μηχανισμός

απομάκρυνσης τους είναι η διύλιση μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα και δευτερευόντως η καθίζηση. Σημειώνεται ότι η αρχική θολότητα και οι συγκεντρώσεις των στερεών και του COD κινούνται στα ίδια επίπεδα με αυτά του Σ1, ενώ η απομάκρυνσή τους συντελείται κυρίως μέσω του ενεργού άνθρακα.

Για τα συστήματα με κροκίδωση :

- Στο σύστημα 3, στο οποίο γίνεται επεξεργασία του ίδιου μείγματος με αυτό του Σ2, παρατηρήθηκε μια μεταβολή ως προς το ποσοστό συμμετοχής κάθε διεργασίας στην απομάκρυνση των ρύπων του γκρίζου νερού. Ειδικότερα, κύριος μηχανισμός απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών, της θολότητας, του σωματιδιακού COD και των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS) είναι η καθίζηση (και ασφαλώς η προηγηθείσα κροκίδωση – συσσωμάτωση στην περίπτωση της θολότητας και των αιωρούμενων στερεών), ενώ η διύλιση μέσω του φίλτρου του ενεργού άνθρακα αποτελεί σημαντικό μηχανισμό για την απομάκρυνση του διαλυτού COD.
- Στα συστήματα 4 και 5 γίνεται επεξεργασία μείγματος γκρίζου νερού που περιέχει και τη ροή της κουζίνας σε διαφορετική αναλογία. Ομοίως με το σύστημα 3, η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, της θολότητας, του σωματιδιακού COD και των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS) πραγματοποιείται κυρίως στη δεξαμενή καθίζησης, ενώ το διαλυτό COD μειώνεται κυρίως λόγω προσρόφησης μέσω του φίλτρου ενεργού άνθρακα.
- Στο σύστημα 6, το οποίο επεξεργάζεται μείγμα γκρίζου νερού ίδιου με του Σ4 (αποτελούμενου από υγρά απόβλητα από το νιπτήρα, το μπάνιο, το πλυντήριο ρούχων και την κουζίνα), γίνεται κροκίδωση και απευθείας διύλιση των λυμάτων μέσω του αμμόφιλτρου και στη συνέχεια του φίλτρου ενεργού άνθρακα. Σε αυτό το σύστημα, η απομάκρυνση της θολότητας, των VSS, του σωματιδιακού COD και των LAS, γίνεται κυρίως μέσω του συστήματος κροκίδωσης-αμμόφιλτρου, ενώ του CODs, μέσω του ενεργού άνθρακα. Βασική διαφοροποίηση του συστήματος αυτού από τα προηγούμενα είναι ότι η παραγόμενη ιλύς δε συσσωρεύεται στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης, αλλά απομακρύνεται με την έκπλυση του φίλτρου άμμου, αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο πιθανές οχλήσεις (π.χ. οσμές) λόγω της συγκέντρωσης οργανικού υλικού. Επισημαίνεται όμως η αναγκαιότητα για καθημερινή έκπλυση του φίλτρου άμμου, η οποία καθιστά το υδατικό ισοζύγιο δυσμενές.

Με βάση τα αποτελέσματα από τη λειτουργία όλων των συστημάτων διαπιστώθηκε ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου γκρίζου νερού στα συστήματα με την κροκίδωση, το καθιστούν κατάλληλο τόσο για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση όσο και για περιαστική και αστική χρήση (σε συμφωνία με τα οριζόμενα στην Κ.Υ.Α. 145116/2011). Σε αντίθεση με τα ανωτέρω, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου γκρίζου νερού του συστήματος χωρίς κροκίδωση, πληρούν τις προϋποθέσεις για επαναχρησιμοποίησή του μόνο για περιορισμένη άρδευση, ακόμα και στην περίπτωση που επεξεργάζονται οι «ασθενέστερες ροές» (μπάνιο, νιπτήρας).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να επιτευχθούν τα ανωτέρω είναι η περαιτέρω επεξεργασία του γκρίζου νερού σε σύστημα απολύμανσης για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και την επίτευξη των ορίων της κείμενης νομοθεσίας.

Η σύγκριση των συστημάτων ως προς την παραγωγή ιλύος και τη συχνότητα έκπλυσης των φίλτρων έδειξε ότι με την προσθήκη της ροής του πλυντηρίου ρούχων και κυρίως της κουζίνας, αυξάνεται η ημερήσια παραγόμενη ιλύς, καθώς και το ποσοστό των VSS σε αυτή. Επίσης, αυξάνεται και η συχνότητα έμφραξης του φίλτρου της άμμου, με αποτέλεσμα να απαιτούνται σημαντικές ποσότητες νερού για την έκπλυση του. Ταυτόχρονα, η προσθήκη της κουζίνας επιβαρύνει ιδιαίτερα και το φίλτρο του ενεργού άνθρακα, με αποτέλεσμα να απαιτείται συχνή αντικατάστασή του και να αυξάνεται το λειτουργικό κόστος του συστήματος.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, φαίνεται ότι η εγκατάσταση ενός συστήματος γκρίζου νερού σε οικιακό επίπεδο είναι οικονομικά συμφέρουσα και τεχνικά ευχερέστερη όταν αφορά στην επεξεργασία μόνο των «ασθενέστερων ροών», δηλαδή της μπανιέρας και του νιπτήρα, καθώς η απαίτηση για έκπλυση των φίλτρων δεν είναι τόσο συχνή και η ιλύς έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε οργανικά στερεά, με αποτέλεσμα να μπορεί να αποθηκευτεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, χωρίς τη δημιουργία δυσάρεστων οσμών. Επίσης, το επεξεργασμένο γκρίζο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια εντός της οικίας (π.χ. στο καζανάκι της τουαλέτας). Σε περίπτωση που υπάρχει απαίτηση για μεγαλύτερες ποσότητες (π.χ. άρδευση κήπων), η επεξεργασία των υγρών που παράγονται από το πλυντήριο ρούχων

παρουσιάζει ενδιαφέρον, ενώ η προσθήκη των υγρών αποβλήτων από την κουζίνα, επιβαρύνει σημαντικά το γκρίζο νερό και είναι προτιμότερο να αποφεύγεται.

Όσον αφορά στο χαρακτηρισμό του γκρίζου νερού από το πλυντήριο πιάτων, κύρια χαρακτηριστικά του είναι το υψηλό pH, η μεγάλη περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά, η υψηλή αγωγιμότητα και η μεγάλη περιεκτικότητα σε φώσφορο. Αυτά τα χαρακτηριστικά σχετίζονται άμεσα με τη χρήση απορρυπαντικών σκευασμάτων τα οποία είναι πλούσια σε διαλυτά ιόντα (φωσφορικά, χλωριούχο νάτριο, κ.α.). Σε σχέση με τα υγρά απόβλητα από το νεροχύτη της κουζίνας, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων από τη χρήση του πλυντηρίου πιάτων χαρακτηρίζονται από χαμηλές συγκεντρώσεις αζώτου και ανιονικών τασιενεργών ενώσεων. Τέλος, το μείγμα γκρίζου νερού που αναλύθηκε παρουσιάζει χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που προκύπτουν από το λογιστικό προσδιορισμό της ποιότητας του γκρίζου νερού από τα χαρακτηριστικά των επιμέρους ροών του, με εξαίρεση τις υψηλότερες συγκεντρώσεις αζώτου και βαρέων μετάλλων, με τα τελευταία πιθανότατα να προέρχονται από τα υλικά των σωληνώσεων της οικίας.

5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Έχοντας ως στόχο τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος επεξεργασίας του γκρίζου νερού, θα μπορούσε να μελετηθεί :

- η αποτελεσματικότητα άλλων κροκιδωτικών εκτός του θειικού αργιλίου
- η αύξηση του ύψους των φίλτρων
- η χρήση διστρωματικών ή πολυστρωματικών φίλτρων

Επίσης, θα είχε ενδιαφέρον η μελέτη και η εύρεση διαφόρων σεναρίων για τη διάθεση της λάσπης που παράγεται λόγω της καθίζησης.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ανδρεαδάκης Α.Δ., Επεξεργασία Νερού Βασικές Αρχές και Διεργασίες, Έκδοση Α, 300 σελίδες, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2008

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

ΚΥΑ 145116, Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011

Χαρχούση Δ., Χαρακτηρισμός και Επεξεργασία Γκρίζου Νερού, Μεταπτυχιακή 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

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

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
- 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
- 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
- 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 Fytaysi 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., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., and Judd, S., Technologies for domestic wastewater recycling, *Urban Water*, Volume 1, pages 285-292, 1999
- 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
- Li, Z., Gulyas, H., Jahn, M., Gajurel, D., and Otterpohl, R., Grey water treatment by constructed wetlands in combination with TiO₂ – 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
- Nolde, E., Grey water reuse systems for toilet flushing in multistory buildings over ten years of experience in Berlin, *Urban Water*, Volume 1, pages 275-284, 1999
- 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
- 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
- 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
- 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

Ιστοσελίδες

www2.keelpno.gr

www.aqua2use.com

www.azdeq.gov
www.dep.state.fl.us
www.dwc-water.com
www.ecoplay.nl
www.enviro-friendly.com
www.fbr.de
www.greyter.com
www.hansgrohe.com
www.hcd.ca.gov
www.hc-sc.gc.ca
www.mlsi.gov.cy
www.nuvaleproducts.com
www.oregon.gov
www.pub.gov.sg
www.public.health.wa.gov.au
www.statistics.gr
www.yourhome.gov.au
www.watersavertech.com