



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΚΡΙΖΟΥ ΝΕΡΟΥ

Δέσποινα Χαρχούση

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Επιβλέπων: Κ. Νουτσόπουλος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΚΡΙΖΟΥ ΝΕΡΟΥ

Δέσποινα Χαρχούση

Αθήνα, Ιούλιος 2014

Επιβλέπων: Κ. Νουτσόπουλος, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

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

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Λέκτορα στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για τον χρόνο που μου αφιέρωσε και τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο Δ.Π.Μ.Σ. «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Κουρή για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια της εργασίας και κυρίως για την εκμάθηση των μεθόδων ανάλυσης όπως και για τη διεξαγωγή σημαντικού μέρους των αναλύσεων κατά τον χαρακτηρισμό του γκρίζου νερού. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Μαντζιάρα για την καθοδήγηση, τις υποδείξεις και τη βοήθεια του κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας. Ευχαριστώ θερμά την υποψήφια διδάκτορα Έλενα Κουμάκη, η οποία επωμίστηκε το βάρος των αναλύσεων των εκχυλισμένων δειγμάτων, καθώς και την κ. Κλαίρη Γκέγκα για τη διεξαγωγή των μικροβιολογικών αναλύσεων. Επίσης, ευχαριστώ την υποψήφια διδάκτορα Κορνηλία Αντωνίου για τις χρήσιμες υποδείξεις της κατά τη διάρκεια των αναλύσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους εργαζόμενους στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας για το άριστο κλίμα συνεργασίας και τη βοήθειά τους.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είχε ως αντικείμενο τον χαρακτηρισμό και την επεξεργασία του γκρίζου νερού. Ως γκρίζο νερό χαρακτηρίζονται τα οικιακά υγρά απόβλητα, εκτός του μαύρου νερού δηλαδή των αποβλήτων της τουαλέτας. Το γκρίζο νερό μπορεί να προέρχεται από την κουζίνα, το πλυντήριο ρούχων και το μπάνιο. Τα λύματα που προέρχονται από το μπάνιο είναι λιγότερο επιβαρυνμένα και αναφέρονται ως ασθενές γκρίζο νερό.

Τα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού προσδιορίστηκαν από την ανάλυση δειγμάτων που προέρχονταν από τρεις οικίες με διαφορετικά χαρακτηριστικά κατοίκων. Κατά τον προσδιορισμό της παροχής του γκρίζου νερού, διαπιστώθηκε ότι αυτό αποτελεί σχεδόν το 72% των οικιακών λυμάτων. Οι υψηλότερες παροχές είναι αυτές του γκρίζου νερού του νεροχύτη και της μπανιέρας. Επίσης, προσδιορίστηκαν παράμετροι γκρίζου νερού που προέρχεται από την κουζίνα, τη μπανιέρα, το πλυντήριο ρούχων και τον νιπτήρα. Διαπιστώθηκε ότι οι δραστηριότητες που διενεργούνται σε κάθε πηγή γκρίζου νερού καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του, ενώ πολλές παράμετροι επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις συνήθειες των κατοίκων. Όσο αφορά στο οργανικό φορτίο και τα στερεά, οι ροές της μπανιέρας και του νιπτήρα είναι λιγότερο επιβαρυνμένες. Η ροή του πλυντηρίου ρούχων περιέχει υψηλή συγκέντρωση οργανικού φορτίου και τασιενεργών ενώσεων ενώ η ροή της κουζίνας χαρακτηρίζεται από την υψηλή συγκέντρωση COD και το χαμηλό pH.

Παρόλο που το γκρίζο νερό αποτελεί το λιγότερο επιβαρυνμένο κλάσμα των οικιακών λυμάτων, απαιτείται επεξεργασία πριν την επαναχρησιμοποίηση του. Στα πλαίσια της εργασίας μελετήθηκε η επεξεργασία ασθενούς γκρίζου νερού με τη χρήση ενός σύνθετου συστήματος επεξεργασίας, το οποίο αποτελείται από φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα. Κατά την επεξεργασία, τα λύματα παρέμεναν στη δεξαμενή καθίζησης για 20 ώρες και στη συνέχεια διοχετεύονταν σε φίλτρο άμμου καθοδικής ροής. Η εκροή του φίλτρου αυτού εισερχόταν σε φίλτρο κοκκώδους ενεργού άνθρακα. Η παρακολούθηση των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας οδήγησε στα εξής συμπεράσματα: η απομάκρυνση στερεών μετά τη διέλευση των λυμάτων από το φίλτρο άμμου είναι της τάξης του 50%, αλλά η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου είναι περιορισμένη (30%). Το φίλτρο του ενεργού άνθρακα βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων, καθώς επιτυγχάνεται συνολική απομάκρυνση COD_t 92%. Ωστόσο, το επεξεργασμένο γκρίζο νερό δεν έχει χαρακτηριστικά κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση. Το στάδιο της απολύμανσης είναι απαραίτητο, ενώ με σκοπό τη μεγαλύτερη απομάκρυνση των στερεών και του οργανικού φορτίου προτείνεται να μελετηθεί η χρήση κροκίδωσης.

Abstract

Introduction

Household wastewater consists of greywater and blackwater. Greywater is the wastewater produced in bathtubs, showers, hand basins, kitchen sinks, dishwashers and laundry machines and blackwater is the wastewater which comes from toilets. Separation of greywater and blackwater and greywater reuse is increasingly promoted as greywater is less contaminated than household wastewater, which contains blackwater (Eriksson et al., 2002). Wastewater from the kitchen sinks is usually excluded from greywater, as it is relatively high in grease and oils. On the other hand, mixed greywater produced in bathtubs, showers and hand basins, called light greywater, has lower concentrations in contaminants than mixed greywater produced in bathtubs, showers, hand basins, kitchen sinks, dishwashers and laundry machines.

The aim of this thesis is the greywater characterization (quantity and quality) as well as the evaluation of the light greywater treatment using sand filtration and granular activated carbon (GAC) adsorption processes. For greywater quantitative and qualitative characterization, data and wastewater samples were collected from three residences with different number of inhabitants: Residence A (one inhabitant), B (two inhabitants) and C (four inhabitants).

Quantitative greywater characterization

In order to estimate the amount of greywater and household wastewater produced in households in Greece, the average daily water consumption in Residences A, B and C was estimated. The greywater production was estimated as the sum of wastewater produced daily in bathtubs, showers, hand basins, kitchen sinks, dishwashers and laundry machines and household wastewater was estimated as the sum of the amount of greywater and blackwater produced during a typical day.

To estimate the amount of greywater produced in kitchen sink, in bathtub/shower and in hand basin, the duration of the use of kitchen, bathtub and hand basin tap per day was recorded during one week. In particular, in hand basins and in kitchen sinks, the use for its purpose was recorded (cooking activities, hand cleaning, dish and glass washing, fruit and vegetables washing in the kitchen and shaving, hand cleaning and teeth cleaning in the hand basin) and the total use was estimated based on these results. In addition, the water consumption per tap was estimated and based on the results the wastewater production in each residence and each source (bathtubs, showers, hand basins, kitchen sinks) was estimated.

The average amount of greywater produced in laundry machine, dishwasher and toilet in each residence was calculate based on the average number of uses of laundry machine, dishwasher and toilet flush per day recorded and the amount of water consumed per use.

Average greywater production was estimated to be $98,1 \pm 29,5$ L per person per day whereas the total household wastewater production was $135 \pm 31,6$ L per person per day. In Figure 1, different sources contribution in total household wastewater production per residence is given. Major sources of wastewater are toilet flush, bathtub and kitchen sink (Figure 1). Greywater production estimated varies from 49 L per person per day to 166 L per person per day. About 60% of greywater consists of light greywater, which is the greywater produced in bathrooms. In kitchen sink the activity which has the greater contribution on water consumption is the dish and glass washing and in hand basin is the hand cleaning.

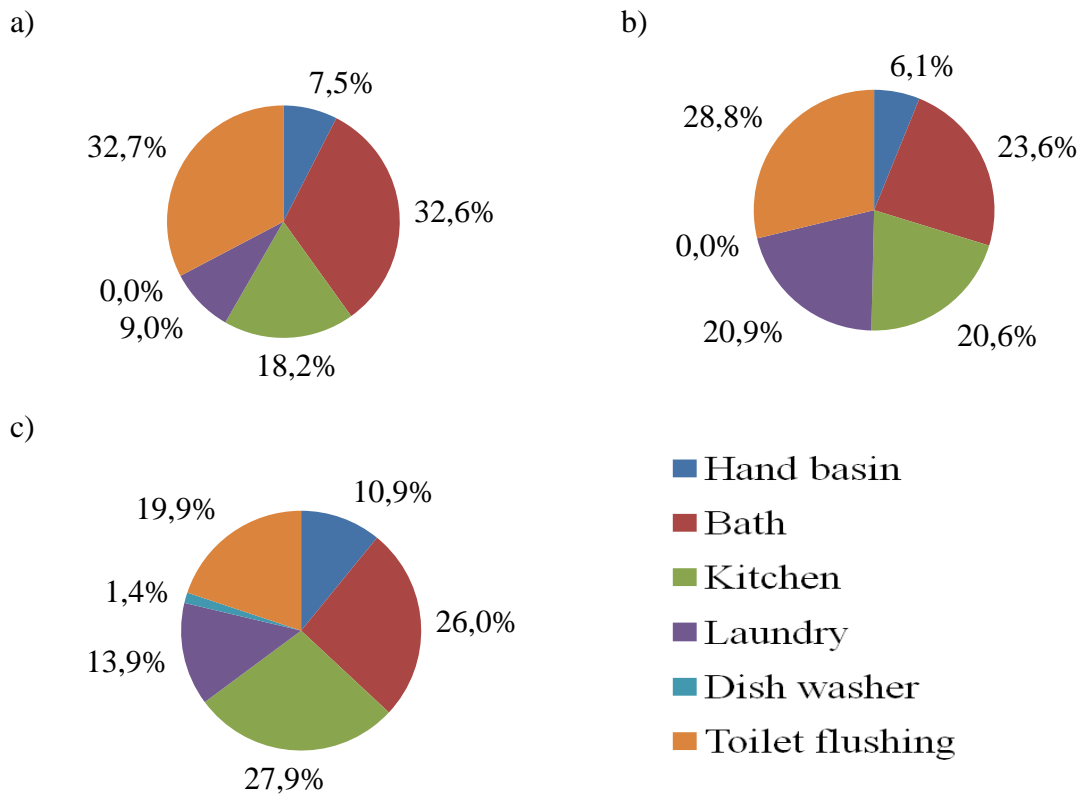


Figure 1 Household wastewater sources contribution in total production in a) residence A, b) residence B and c) residence C

Qualitative greywater characterization

Sampling

Samples of greywater produced in kitchen sinks, bathtubs, laundry machines and hand basins were collected from residences A, B and C four different days for greywater quality characterization. Samples from kitchen sink were collected based on the contribution of each activity (cooking activities, hand cleaning, dish and glass washing, fruit and vegetables washing) that takes place in kitchen. Based on the same procedure, the samples from hand basin were collected, that means that the appropriate amounts of greywater produced by shaving, hand cleaning and teeth cleaning were mixed. Samples were analyzed in Sanitary Engineering Laboratory of the School of Civil Engineering, at the National Technical University of Athens.

General quality greywater characteristics

Conductivity and content in total solids (TS), total suspended solids TSS and volatile suspended solids (VSS) were determined in greywater produced in different sources (Table 1). Greywater from laundry machine is high in total solids (1085 ± 608 mg/L), whereas in greywater from kitchen high total and volatile suspended solids concentrations were recorded, with average concentrations 319 ± 209 mg/L and 314 ± 205 , respectively. Bathtub and hand basin greywater have similar characteristics and are less contaminated than kitchen and laundry greywater.

Table 1 General quality greywater characteristics

Sources	TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L	Conductivity μ S/cm
Kitchen	883 \pm 426	319 \pm 209	314 \pm 205	449 \pm 341
Bathtub	325 \pm 55,3	73,5 \pm 38,3	69,2 \pm 35,2	318 \pm 29,9
Laundry	1085 \pm 608	169 \pm 96,1	139 \pm 90,3	653 \pm 423
Hand basin	373 \pm 96,0	90,5 \pm 68,3	58,9 \pm 48,3	318 \pm 26,8

Chemical greywater characteristics

Samples were also analyzed in total COD (COD_t), soluble COD (COD_s), BOD₅ and linear alkylbenzene sulfonates (LAS). As shown in Table 2, greywater produced in bathtub and hand basin proved to be the less contaminated flows of greywater, with average COD_t concentrations 390 mg/L and 427 mg/L, respectively, COD_s concentrations 193 mg/L and 272 mg/L, respectively, BOD₅ concentrations 263 mg/L and 305 mg/L, respectively, and LAS concentrations 78 mg/L and 42 mg/L respectively. On the other hand COD_t, COD_s and BOD₅ were present in considerable higher concentrations in kitchen greywater (1119 \pm 476 mg/L, 518 \pm 225 mg/L, 831 \pm 358 mg/L, respectively) because of the presence of food particles and detergents. The average value of pH in kitchen greywater was 6,90. Laundry greywater is alkaline (average pH value 8,19 \pm 0,76) and high in COD_t, COD_s and BOD₅ content (2072 \pm 1401 mg/L, 1165 \pm 920 mg/L and 1363 \pm 950 mg/L, respectively). High organic matter and high LAS concentrations (436 \pm 288 mg/L) were present in laundry wastewater mainly because of the detergents used.

In Table 3, metal concentrations in greywater are presented. Potential metal sources in greywater could be plumbing materials, cutlery, jewellery, coins, home maintenance products, arts and craft products, dental fillings (Eriksson and Donner, 2009). In the present study, Cd, Pb, Cr, Ni, Zn and Cu concentrations were determined. Most concentrations were found to be below detection limits, but Zn and Cu were present in higher concentrations, especially in the laundry greywater (0,20 \pm 0,16 mg/L and 43 \pm 29 μ g/L, respectively).

Greywater samples were also analyzed in nonylphenol (NP), nonylphenol mono-ethoxylate (NP1EO), nonylphenol di-ethoxylate (NP2EO), triclosan (TCS) and bisphenol-A (BPA). NP, NP1EO, NP2EO, TCS and BPA are organic compounds that are characterized as endocrine disruptors. An endocrine disruptor is a synthetic chemical that can mimic or block hormones and disrupt the body's normal functions. NP1EO and NP2EO are commonly used in detergents, paints, pesticides, personal care products, and plastics. Triclosan is used as an antiseptic agent in many detergents and personal care products and BPA is primarily used to make plastic. As shown in Table 4, NP was found in high concentrations in greywater samples, especially in laundry greywater (61,8 \pm 91,5 μ g/L). NP1EO and NP2EO were present in higher concentrations in greywater that is produced in bathtubs and laundries, than in kitchen and hand basin greywater. Triclosan and BPA greater concentrations were recorded in the bathtub greywater.

Table 2 Chemical greywater characteristics

Sources	pH	COD _t mg/L	COD _s mg/L	BOD ₅ mg/L	LAS mg/L
Kitchen	6,90±0,42	1119±476	518±225	831±358	87±76
Bathtub	7,49±0,17	390±125	193±113	263±83,9	78±34
Laundry	8,19±0,76	2072±1401	1165±920	1363±950	436±288
Hand basin	7,64±0,25	427±192	272±203	305±129	42±26

Table 3 Metals concentrations in greywater

Sources	Cd µg/L	Pb µg/L	Cr µg/L	Ni µg/L	Zn mg/L	Cu µg/L
Kitchen	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,091±0,071	27±27
Bathtub	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,078±0,069	35±47
Laundry	<0,15	3,9±3,3	7,3±7,1	<5,0	0,20±0,16	43±29
Hand basin	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	7,3±9,4

Table 4 Endocrine disruptors concentrations in greywater

Sources	NP µg/L	NP1EO µg/L	NP2EO µg/L	TCS µg/L	BPA µg/L
Kitchen	15,2±18,5	1,46±2,03	1,30±2,84	0,089±0,097	0,097±0,124
Bathtub	32,8±12,7	3,22±2,68	2,39±1,49	0,436±0,385	0,701±0,510
Laundry	61,8±91,5	2,76±3,44	2,89±4,46	0,099±0,087	0,439±0,467
Hand basin	3,66±1,71	0,465±0,403	0,206±0,150	0,208±0,232	0,027±0,026

As in residences studied (A, B and C) there is no separate greywater collection system, mixed greywater could not be collected and analyzed. Therefore, the major mixed greywater characteristics were estimated based on the contribution of each greywater source in total amount of greywater produced daily and the concentrations presented on Tables 1 and 2 (Table 5). In particular, three different types of greywater were studied. Type A is the mixed greywater produced in kitchen, bathtub, laundry machine, hand basin; Type B is the greywater produced in bathtub, laundry machine and hand basin and Type C is the greywater produced in bathtub and hand basin. It is obvious that the light greywater-Type C is the less

contaminated, the concentration of each pollutant is significantly lower than the concentration in greywater A whereas greywater A and B have similar characteristics.

Table 5 Majors pollutants in mixed greywater

Type of mixed greywater	TS mg/L	TSS mg/L	COD _t mg/L	BOD ₅ mg/L	LAS mg/L
Type A ¹	649±151	168±70,3	903±286	630±233	135±48
Type B ²	543±151	100±31,1	810±346	542±242	162±84,5
Type C ³	336±49,5	79,2±31,2	401±112	274±73,1	68,4±25,6

¹ greywater produced in kitchen, bathtub, laundry machine, hand basin

² greywater produced in bathtub, laundry machine, hand basin

³ greywater produced in bathtub, hand basin

Greywater treatment

Greywater were collected from bathtubs and hand basins and mixed according to the contribution of each of source on greywater production. An advanced treatment system (sedimentation, sand filtration and GAC adsorption) was adopted in order to treat the greywater samples four days per week. Greywater retention time in the settling tank was about 20 hours and afterwards greywater passed through sand and granular activated carbon filters. Samples from the untreated greywater (Raw) and settling tank, sand filter and GAC filter effluents were collected twice a week and analyzed in turbidity, TSS, VSS, COD_t, COD_s, LAS.

Sedimentation and sand filtration decreased the turbidity from 80,8 NTU to 35,5 NTU, the TSS from 70,2 mg/L to 29 mg/L and VSS concentrations from 59,3 mg/L to 27,8 mg/L, but COD and LAS concentrations were not significantly decreased. On the contrary, when greywater passed through GAC filter COD and LAS were significantly decreased (Table 6). Average COD_t concentration of treated greywater is 28,4 mg/L, average COD_s concentration was below the detection limit and LAS was decreased from 55±22 mg/L to 0,98±1,6 mg/L. Fresh greywater (GAC filter effluent) was also analyzed in endocrine disruptors and E. Coli. It was proved that after GAC adsorption endocrine disruptors concentrations were significantly decreased, but the E. Coli removal was not proved satisfied, as in fresh greywater were detected 543 E. Coli/100 mL (average value).

Table 6 Greywater characteristics during treatment process

Sources	Turbidity NTU	TSS mg/L	VSS mg/L	COD _t mg/L	COD _s mg/L	LAS mg/L
Raw	80,8±52,3	70,2±53,0	59,3±50,8	337±121	167±53,8	55±22
Sedimentation	63,4±33,1	54,5±28,5	49,2±29,1	309±82,8	150±47,5	49±16
Sand filter	35,5±23,9	29,0±23,9	27,8±23,7	231±81,5	132±41,0	34±14
GAC filter	11,4±13,0	10,9±7,49	10,7±7,47	28,4±21,9	<15	0,98±1,6

Conclusions

Greywater quantity and quality are highly variable because they reflect the lifestyle of residents and the choice of products (detergents, personal care products, etc) used in households. However, greywater can be reused for a range of applications such as irrigation, fire protection, toilet flushing, concrete production and washing of vehicle and windows. Mixed greywater originating from bathtub and hand basin proved to be less contaminated than mixed greywater that is produced in kitchen, bathtub, laundry machine, hand basin. In addition, fresh greywater characteristics after sedimentation, sand filtration and GAC adsorption exceeds the limits set by the Greek legislation for unrestricted irrigation and urban reuse. However, sedimentation, sand filtration and GAC adsorption in conjunction with a disinfection method could be reused for restricted irrigation.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	iii
Περίληψη.....	v
Abstract	vii
Κατάλογος Πινάκων.....	xv
Κατάλογος Σχημάτων	xix
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Σκοπός της εργασίας.....	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας	2
Κεφάλαιο 2: Χαρακτηρισμός και επεξεργασία γκρίζου νερού.....	3
2.1 Ποσότητα γκρίζου νερού.....	3
2.2 Χαρακτηριστικά γκρίζου νερού	5
2.2.1 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού	5
2.2.2 Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού	8
2.2.3 Μικροβιολογικές παράμετροι γκρίζου νερού	12
2.3 Μέθοδοι επεξεργασίας γκρίζου νερού.....	14
2.3.1 Χημικά συστήματα επεξεργασίας.....	14
2.3.2 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας.....	15
2.3.3 Βιολογικά συστήματα επεξεργασίας	15
2.3.4 Σύνθετα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού φίλτρων άμμου και ενεργού άνθρακα.....	16
2.4 Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού – χρήσεις και θεσμικό πλαίσιο	17
Κεφάλαιο 3: Πειραματικό πρωτόκολλο και εργαστηριακές μέθοδοι	25
3.1 Χαρακτηρισμός γκρίζου νερού και περιγραφή διαδικασίας δειγματοληψιών	25
3.1.1 Προσδιορισμός παραγόμενης ποσότητας γκρίζου νερού και οικιακών λυμάτων ...	25
3.1.2 Διαδικασία δειγματοληψιών με σκοπό τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού.....	26
3.2 Περιγραφή εργαστηριακού συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού.....	27
3.2.1 Λύματα προς επεξεργασία	27
3.2.2 Περιγραφή συστήματος επεξεργασίας.....	27
3.2.3 Περιγραφή της λειτουργίας της εγκατάστασης επεξεργασίας και της δειγματοληψίας	29
3.2.4 Έκπλυση φίλτρων άμμου και ενεργού άνθρακα.....	30
3.3 Εργαστηριακές μέθοδοι.....	31

3.3.1 Προσδιορισμός στερεών (TS, TSS, VSS)	31
3.3.2 Προσδιορισμός χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD)	32
3.3.3 Προσδιορισμός βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD ₅)	33
3.3.4 Προσδιορισμός αμμωνιακού (NH ₄ -N), νιτρικού (NO ₃ -N) και νιτρώδους αζώτου (NO ₂ -N).....	33
3.3.5 Προσδιορισμός pH, αγωγιμότητας και θολότητας	34
3.3.6 Προσδιορισμός ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS)	34
3.3.7 Προσδιορισμός ολικού (TP) και διαλυτού φωσφόρου (PO ₄ -P)	35
3.3.8 Προσδιορισμός ολικού κατά Kjeldahl αζώτου (TKN)	35
3.3.9 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων.....	35
3.3.10 Προσδιορισμός μικροοργανικών ενώσεων.....	36
Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση και ανάλυση αποτελεσμάτων	41
4.1 Χαρακτηριστικά γκρίζου νερού	41
4.1.1 Κατανομή γκρίζου νερού στις διάφορες οικιακές χρήσεις.....	41
4.1.2 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης.....	47
4.1.3 Χημικές ιδιότητες γκρίζου νερού.....	54
4.1.4 Χαρακτηριστικά μικτού γκρίζου νερού με διαφορετική σύνθεση	85
4.1.5 Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών χαρακτηριστικών γκρίζου νερού.....	89
4.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας γκρίζου νερού.....	96
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	111
5.1 Συμπεράσματα από τον χαρακτηρισμό του γκρίζου νερού.....	111
5.2 Συμπεράσματα από τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας	111
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	112
Αναφορές.....	113
Παράρτημα Α: Αποτελέσματα δειγματοληψιών χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	117
Παράρτημα Β: Αποτελέσματα επεξεργασίας γκρίζου νερού.....	131

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1	Μέση παροχή γκρίζου νερού και μικτών οικιακών λυμάτων ανά κάτοικο (p.e.) και ημέρα (d).....	3
Πίνακας 2.2	Κύριοι ρύποι/χαρακτηριστικά γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης (Wright, 1986, Eriksson et al., 2002).....	6
Πίνακας 2.3	Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού	7
Πίνακας 2.4	Χημικές ιδιότητες ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού	10
Πίνακας 2.5	Βαρέα μέταλλα στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό.....	11
Πίνακας 2.6	Μικροοργανικές ενώσεις στο ανεπεξέργαστο μικτό γκρίζο νερό.....	11
Πίνακας 2.7	Πηγές μικροοργανικών ενώσεων στο γκρίζο νερό	12
Πίνακας 2.8	Μικροβιολογικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού	13
Πίνακας 2.9	Βιβλιογραφική ανασκόπηση σύνθετου συστήματος επεξεργασίας, κροκίδωσης-φίλτρου άμμου και ενεργού άνθρακα.....	16
Πίνακας 2.10	Όρια επαναχρησιμοποίησης σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA, 2012).....	18
Πίνακας 2.11	Όρια επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων που δεν χρησιμοποιούνται για πόση (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011)	19
Πίνακας 2.12	Όρια επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011)	20
Πίνακας 2.13	Όρια επαναχρησιμοποίησης για αστικές και περιαστικές χρήσεις στην Ελλάδα (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011).....	20
Πίνακας 2.14	Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων σε ανακτημένα λύματα (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011)	21
Πίνακας 2.15	Επιτρεπόμενες χρήσεις και όρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένου γκρίζου νερού στην Δυτική Αυστραλία	22
Πίνακας 2.16	Όρια επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων οικιακών υγρών αποβλήτων για τον καθαρισμό της τουαλέτας, στον Καναδά (www.healthcanada.gc.ca)	23
Πίνακας 3.1	Δραστηριότητες ανά πηγή γκρίζου νερού.....	26
Πίνακας 3.2	Παράμετροι που μελετήθηκαν κατά τον χαρακτηρισμό του γκρίζου νερού	27
Πίνακας 3.3	Χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστων λυμάτων στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας	27
Πίνακας 3.4	Χαρακτηριστικά πιλοτικών στηλών.....	28
Πίνακας 3.5	Χαρακτηριστικά χαλαζιακής άμμου	29

Πίνακας 3.6	Χαρακτηριστικά κοκκώδους ενεργού άνθρακα GAC.....	29
Πίνακας 4.1	Μέση παροχή γκρίζου νερού και μικτών οικιακών λυμάτων ανά κάτοικο και ημέρα (L ανά κάτοικο και ημέρα).....	41
Πίνακας 4.2	Ποσοστιαία συνεισφορά γκρίζου νερού στο σύνολο των υγρών οικιακών αποβλήτων.....	42
Πίνακας 4.3	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών γκρίζου νερού.....	47
Πίνακας 4.4	Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d).....	47
Πίνακας 4.5	Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης.....	55
Πίνακας 4.6	Βαρέα μέταλλα στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	55
Πίνακας 4.7	Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης σε μονάδες βάρους (mg ή g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)	56
Πίνακας 4.8	Βαρέα μέταλλα στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης σε μονάδες βάρους (μg ή mg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d).....	56
Πίνακας 4.9	Μικροοργανικές ενώσεις στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	57
Πίνακας 4.10	Μικροοργανικές ενώσεις στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης σε μονάδες βάρους (μg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)	57
Πίνακας 4.11	Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μικτού γκρίζου νερού	86
Πίνακας 4.12	Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μικτού γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)	86
Πίνακας 4.13	Χημικές ιδιότητες μικτού γκρίζου νερού	87
Πίνακας 4.14	Βαρέα μέταλλα στο μικτό γκρίζο νερό	87
Πίνακας 4.15	Χημικές ιδιότητες μικτού γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (mg ή g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d).....	88
Πίνακας 4.16	Βαρέα μέταλλα στο μικτό γκρίζο νερό σε μονάδες βάρους (μg ή mg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d).....	88
Πίνακας 4.17	Μικροοργανικές ενώσεις στο μικτό γκρίζο νερό	89
Πίνακας 4.18	Μικροοργανικές ενώσεις στο μικτό γκρίζο νερό σε μονάδες βάρους (μg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d).....	89
Πίνακας 4.19	Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών γκρίζου νερού.....	92
Πίνακας 4.20	Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών χημικών παραμέτρων γκρίζου νερού	93
Πίνακας 4.21	Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στο γκρίζο νερό	94

Πίνακας 4.22	Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών τιμών μέσου ρυπαντικού φορτίου μικτού γκρίζου νερού.....	94
Πίνακας 4.23	Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών τιμών μικροοργανικών ενώσεων σε μικτό γκρίζο νερό Τύπου Α.....	95
Πίνακας 4.24	Σύγκριση χαρακτηριστικών μικτού γκρίζου νερού και οικιακών λυμάτων .	95
Πίνακας 4.25	Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας.....	96
Πίνακας 4.26	E. Coli στα επεξεργασμένα λύματα.....	101
Πίνακας 4.27	Συγκέντρωση μικροοργανικών ενώσεων στα επεξεργασμένα λύματα.....	101
Πίνακας 4.28	Στάθμη φίλτρου άμμου και απομάκρυνση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά στάδιο επεξεργασίας.....	109
Πίνακας 4.29	Στάθμη φίλτρου ενεργού άνθρακα και απομάκρυνση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά στάδιο επεξεργασίας.....	110
Πίνακας A.1	Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	117
Πίνακας A.2	Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά τη δεύτερη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	118
Πίνακας A.3	Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την τρίτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	119
Πίνακας A.4	Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την τέταρτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	120
Πίνακας A.5	Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	121
Πίνακας A.6	Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά τη δεύτερη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	122
Πίνακας A.7	Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά την τρίτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	123
Πίνακας A.8	Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά την τέταρτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	124
Πίνακας A.9	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	125
Πίνακας A.10	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων κατά τη δεύτερη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	126
Πίνακας A.11	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο νερό του δικτύου.....	127
Πίνακας A.12	Συγκεντρώσεις μικροοργανικών ενώσεων κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	128
Πίνακας A.13	Συγκεντρώσεις μικροοργανικών ενώσεων κατά την τρίτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού.....	129

Πίνακας Β.1	Αποτελέσματα επεξεργασίας γκρίζου νερού	131
-------------	-----------------------------------------------	-----

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1	Σύνθεση οικιακών αποβλήτων κατά α) www.pub.gov.sg , β) NSW Health (2000), γ) Friedler et al. (2011) και δ) www.yourhome.gov.au	4
Σχήμα 2.2	Σύνθεση γκρίζου νερού κατά α) NSW Health (2000) και β) Friedler et al. (2011).....	5
Σχήμα 3.1	Εγκατάσταση επεξεργασίας γκρίζου νερού.....	28
Σχήμα 3.2	Περισταλτική αντλία.....	30
Σχήμα 3.3	Προσδιορισμός ολικών στερεών με τη χρήση φούρνου 103°C (αριστερά), ξηραντήρα (κέντρο) και ζυγού ακριβείας (δεξιά).....	31
Σχήμα 3.4	Συσκευή διήθησης.....	32
Σχήμα 3.5	Φούρνος 550°C.....	32
Σχήμα 3.6	Αντιδραστήρια Hach για τον προσδιορισμό COD (αριστερά), φασματοφωτόμετρο (κέντρο) και χωνευτής (δεξιά).....	33
Σχήμα 3.7	pH-μετρο WTW (αριστερά), αγωγιμόμετρο WTW (κέντρο) και θολόμετρο Hach 2100P (δεξιά).....	34
Σχήμα 3.8	Αντιδραστήρια προσδιορισμού ανιονικών τασιενεργών της Hach.....	35
Σχήμα 3.9	Φούρνος γραφίτη AAS Perkin Elmer 3110/HGA600 (αριστερά) και AAS φλόγας Perkin Elmer Analyst 200 (δεξιά).....	36
Σχήμα 3.10	Συσκευή εκχύλισης κενού.....	36
Σχήμα 3.11	Αέριος χρωματογράφος Agilent 7890A συζευγμένο με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C.....	39
Σχήμα 4.1	Παροχή γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης και ημέρα καταγραφής.....	42
Σχήμα 4.2	Παροχή γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης και ημέρα καταγραφής.....	42
Σχήμα 4.3	Παροχή γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης και ημέρα καταγραφής.....	43
Σχήμα 4.4	Σύνθεση οικιακών λυμάτων και καταμερισμός γκρίζου νερού ανά οικιακή χρήση σε Οικία Α (α και β), Οικία Β (γ και δ) και Οικία Γ (ε και στ) αντίστοιχα.....	44
Σχήμα 4.5	Σύνθεση γκρίζου νερού που παράγεται στον νεροχύτη, ανά οικία.....	45
Σχήμα 4.6	Σύνθεση γκρίζου νερού που παράγεται στον νιπτήρα, ανά οικία.....	46
Σχήμα 4.7	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικών στερεών στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	48
Σχήμα 4.8	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικών στερεών στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	49
Σχήμα 4.9	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	49

Σχήμα 4.10	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	50
Σχήμα 4.11	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση συγκέντρωσης πτητικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	50
Σχήμα 4.12	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	51
Σχήμα 4.13	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση αγωγιμότητας στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης	... 51
Σχήμα 4.14	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή αγωγιμότητας στο γκρίζο νερό ανά οικία..	52
Σχήμα 4.15	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικών στερεών ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό.....	53
Σχήμα 4.16	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικών αιωρούμενων στερεών ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό.....	53
Σχήμα 4.17	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση πτητικών αιωρούμενων στερεών ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό.....	54
Σχήμα 4.18	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση pH στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης ..	58
Σχήμα 4.19	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή pH στο γκρίζο νερό ανά οικία	58
Σχήμα 4.20	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	59
Σχήμα 4.21	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	60
Σχήμα 4.22	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	60
Σχήμα 4.23	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	61
Σχήμα 4.24	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	61
Σχήμα 4.25	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	62
Σχήμα 4.26	Μέση συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό που προέρχεται από το πλυντήριο ρούχων ανά οικία.....	62
Σχήμα 4.27	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό.....	63
Σχήμα 4.28	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό.....	63
Σχήμα 4.29	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό.....	64

Σχήμα 4.30	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση διαλυτού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης	65
Σχήμα 4.31	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση διαλυτού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά οικία	65
Σχήμα 4.32	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	66
Σχήμα 4.33	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά οικία	66
Σχήμα 4.34	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση διαλυτού φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	67
Σχήμα 4.35	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	67
Σχήμα 4.36	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης	68
Σχήμα 4.37	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	69
Σχήμα 4.38	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση τασιενεργών ενώσεων στο γκρίζο νερό ανά οικία	69
Σχήμα 4.39	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση αμμωνιακού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης	70
Σχήμα 4.40	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία	70
Σχήμα 4.41	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση νιτρικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	71
Σχήμα 4.42	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	71
Σχήμα 4.43	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση νιτρώδους αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	72
Σχήμα 4.44	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση νιτρώδους αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία	72
Σχήμα 4.45	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού κατά Kjeldahl αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	73
Σχήμα 4.46	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού κατά Kjeldahl αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	73
Σχήμα 4.47	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	74
Σχήμα 4.48	Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία.....	74

Σχήμα 4.49	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση αμμωνιακού αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	75
Σχήμα 4.50	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση νιτρικού αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	75
Σχήμα 4.51	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση νιτρώδους αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	76
Σχήμα 4.52	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού κατά Kjeldahl αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	76
Σχήμα 4.53	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	77
Σχήμα 4.54	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	78
Σχήμα 4.55	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση μονο–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης	78
Σχήμα 4.56	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση δι–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης	79
Σχήμα 4.57	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση τρικλοζάνης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	79
Σχήμα 4.58	Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση δισφαινόλης Α στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης.....	80
Σχήμα 4.59	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	80
Σχήμα 4.60	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση μονο–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	81
Σχήμα 4.61	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση δι–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	81
Σχήμα 4.62	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση τρικλοζάνης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	82
Σχήμα 4.63	Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση δισφαινόλης Α ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό	82
Σχήμα 4.64	Ποσοστιαία συνεισφορά μάζας ανά πηγή προέλευσης στο συνολικό φορτίο στερεών	83
Σχήμα 4.65	Ποσοστιαία συνεισφορά μάζας ανά πηγή προέλευσης στη συνολική ζήτηση οξυγόνου.....	84
Σχήμα 4.66	Ποσοστιαία συνεισφορά μάζας ανά πηγή προέλευσης στο συνολικό φορτίο των χημικών ιδιοτήτων του γκρίζου νερού	84
Σχήμα 4.67	Μέση αγωγιμότητα στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού	96
Σχήμα 4.68	Μέση τιμή θολότητας στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού	97

Σχήμα 4.69	Μέση συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	97
Σχήμα 4.70	Μέση συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	98
Σχήμα 4.71	Μέση συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	98
Σχήμα 4.72	Μέση συγκέντρωση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	99
Σχήμα 4.73	Μέση συγκέντρωση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	99
Σχήμα 4.74	Μέση συγκέντρωση εννεύλοφαινόλης στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	102
Σχήμα 4.75	Μέση συγκέντρωση μονο–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	102
Σχήμα 4.76	Μέση συγκέντρωση δι–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	103
Σχήμα 4.77	Μέση συγκέντρωση τρικλοζάνης στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	103
Σχήμα 4.78	Μέση συγκέντρωση δισφαινόλης Α στο σύστημα επεξεργασίας γκριζου νερού	104
Σχήμα 4.79	Αγωγιμότητα ανά δειγματοληψία και θέση	104
Σχήμα 4.80	Τιμές θολότητας ανά δειγματοληψία και θέση	105
Σχήμα 4.81	Συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών ανά δειγματοληψία και θέση	105
Σχήμα 4.82	Συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών ανά δειγματοληψία και θέση.	106
Σχήμα 4.83	Συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά δειγματοληψία και θέση	106
Σχήμα 4.84	Συγκέντρωση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά δειγματοληψία και θέση	107
Σχήμα 4.85	Συγκέντρωση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων ανά δειγματοληψία και θέση	107
Σχήμα 4.86	Μέγιστη στάθμη φίλτρου άμμου κατά τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας	108
Σχήμα 4.87	Μέγιστη στάθμη φίλτρου ενεργού άνθρακα κατά τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας.....	109

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Το νερό είναι ένας ανανεώσιμος πόρος, ο οποίος είναι ωστόσο περιορισμένος. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη και ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχουν επιφέρει αύξηση της ζήτησης νερού και της ρύπανσης των υδατικών πόρων.

Η αυξανόμενη πίεση στους υδατικούς πόρους καθιστά αναγκαία την ορθολογικότερη διαχείριση αυτών και κατ' επέκταση η ανάγκη επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων κρίνεται επιτακτική. Η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού σε δραστηριότητες που δεν απαιτούν ποιότητα πόσιμου νερού μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Γκρίζο νερό (greywater/graywater/γκρι νερό) αποτελούν τα οικιακά υγρά λύματα εκτός από τα απόβλητα της τουαλέτας (μαύρο νερό). Τα λύματα μπορεί να προέρχονται από την κουζίνα, το πλυντήριο ρούχων και το μπάνιο (Eriksson et al., 2002, Schäfer et al., 2006, Ottoson and Stenström, 2003). Ωστόσο, τα λύματα που προέρχονται από την κουζίνα (αποχέτευση νεροχύτη και πλυντηρίου πιάτων) συχνά εξαιρούνται από το γκρίζο νερό, κυρίως λόγω της περιεκτικότητας τους σε λίπη και έλαια (Fane, 2009).

Η επεξεργασία και η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού έχει συνεχώς ευρύτερη εφαρμογή κυρίως λόγω του μικρότερου οργανικού και μικροβιακού φορτίου σε σχέση με τα συνήθη αστικά λύματα τα οποία εμπεριέχουν και το μαύρο νερό (Eriksson et al., 2002). Δεδομένου ότι το γκρίζο νερό αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παραγόμενης ποσότητας λυμάτων εντός μίας οικίας, επιτάσσεται ο σχεδιασμός κατάλληλων εγκαταστάσεων επεξεργασίας γκρίζου νερού.

Σύμφωνα με τους Eriksson και Donner (2009) τα επιτόπια συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού περιγράφονται συχνά ως πρακτική ορθολογικής διαχείρισης του νερού. Τα συστήματα επεξεργασίας που έχουν αναπτυχθεί διαφέρουν ως προς το βαθμό πολυπλοκότητας καθώς και ως προς τη μέθοδο επεξεργασίας (φυσική, χημική, βιολογική ή συνδυασμός αυτών). Το επιθυμητό επίπεδο επεξεργασίας εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων λυμάτων όσο και από τον σκοπό επαναχρησιμοποίησης.

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε ο προσδιορισμός της παραγόμενης ποσότητας γκρίζου νερού καθώς και των χαρακτηριστικών του. Η παροχή του γκρίζου νερού προσεγγίστηκε έπειτα από εβδομαδιαία καταγραφή της οικιακής κατανάλωσης νερού σε δείγμα τριών κατοικιών ενώ για τον χαρακτηρισμό συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν δείγματα που προέρχονταν από τέσσερις πηγές γκρίζου νερού (κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρα). Επιπλέον, στα πλαίσια της εργασίας, μελετήθηκε πειραματική διάταξη επεξεργασίας γκρίζου νερού, με σκοπό τον προσδιορισμό του βαθμού απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου. Το σύστημα αποτελείται από φίλτρα άμμου και κοκκώδους ενεργού άνθρακα σε σειρά και το προς επεξεργασία γκρίζο νερό προερχόταν από το μπάνιο (από τον νιπτήρα και τη μπανιέρα). Τα χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου νερού ελέγχονταν τόσο στην έξοδο του φίλτρου άμμου όσο και στην έξοδο από το φίλτρο του ενεργού άνθρακα.

Οι αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει:

- (α) Το παρόν κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί την εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας.
- (β) Το Κεφάλαιο 2, όπου πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση στα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού. Επίσης, γίνεται αναφορά σε μεθόδους επεξεργασίας καθώς και στο θεσμικό πλαίσιο επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων.
- (γ) Το Κεφάλαιο 3, στο οποίο περιγράφεται το πρωτόκολλο δειγματοληψίας γκρίζου νερού καθώς και το σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού και η λειτουργία του. Επίσης, το Κεφάλαιο 3 περιλαμβάνει περιγραφή των εργαστηριακών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού.
- (δ) Το Κεφάλαιο 4, στο οποίο γίνεται παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά τον χαρακτηρισμό των τεσσάρων ροών γκρίζου νερού. Επίσης, στο Κεφάλαιο αυτό προσεγγίζονται τα χαρακτηριστικά του μικτού γκρίζου νερού. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία του γκρίζου νερού και πραγματοποιείται σύγκριση των χαρακτηριστικών του επεξεργασμένου νερού με τα όρια επαναχρησιμοποίησης.
- (ε) Το Κεφάλαιο 5, όπου αναφέρονται τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας πειραματικής εργασίας και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στο τέλος της εργασίας, παρατίθενται οι Αναφορές καθώς και τα Παραρτήματα Α και Β στα οποία παρουσιάζονται σε Πίνακες αναλυτικά τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας.

Κεφάλαιο 2: Χαρακτηρισμός και επεξεργασία γκρίζου νερού

2.1 Ποσότητα γκρίζου νερού

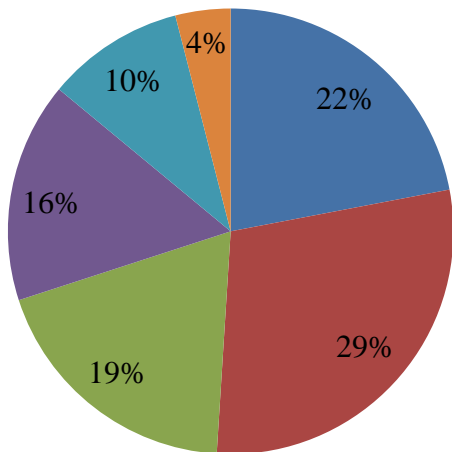
Το γκρίζο νερό αποτελεί το 60-80% των οικιακών υγρών αποβλήτων (www.pub.gov.sg, NSW Health, 2000, Antonopoulou et al., 2013, Allen et al., 2010, Friedler et al., 2011). Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η σύνθεση των μικτών οικιακών υγρών αποβλήτων και στο Σχήμα 2.2 η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε πηγής γκρίζου νερού στη συνολική ημερήσια παραγόμενη ποσότητα γκρίζου νερού σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Η μεγαλύτερη ποσότητα γκρίζου νερού προέρχεται από τη μπανιέρα και σχεδόν το 60% του γκρίζου νερού αφορά στο ασθενές γκρίζο νερό (light greywater). Ως ασθενές γκρίζο νερό χαρακτηρίζονται τα οικιακά υγρά απόβλητα που προέρχονται από το μπάνιο, δηλαδή τη μπανιέρα και τον νιπτήρα, καθώς το κλάσμα αυτό του γκρίζου νερού αποτελεί το λιγότερο επιβαρυνόμενο.

Η μέση ημερήσια παροχή γκρίζου νερού έχει προσεγγιστεί σε ποικίλες έρευνες, παρουσιάζει ωστόσο μεγάλη μεταβλητότητα (Πίνακας 2.1). Η διακύμανση της παραγόμενης ποσότητας γκρίζου νερού ανά κατοικία και ανά περιοχή οφείλεται σε κοινωνικούς, οικονομικούς και άλλους παράγοντες. Η εποχή επηρεάζει επίσης την ποσότητα των παραγόμενων αποβλήτων. Στην Αυστραλία σημειώνεται ιδιαίτερα υψηλή παροχή (140 L ανά κάτοικο και ημέρα) (www.greywater.com.au), ενώ στη Γερμανία, στη Σουηδία και στη Νορβηγία η αντίστοιχη παροχή είναι μικρότερη από 100 L σε νεόδμητες περιοχές (Ridderstolpe, P., 2004). Οι Palmquist and Hanæus (2005) μελέτησαν τα χαρακτηριστικά του γκρίζου και του μαύρου νερού σε κατοικίες στη Σουηδία οι οποίες διαθέτουν χωριστό δίκτυο σωληνώσεων συλλογής γκρίζου νερού. Η παροχή του γκρίζου νερού που προσδιορίστηκε είναι ίση με 66 L ανά κάτοικο και ημέρα και η αντίστοιχη παροχή μαύρου νερού 28,5 L. Σύμφωνα με τους Antonopoulou et al. (2013) η παροχή γκρίζου νερού στην Ελλάδα είναι 82,6±49,3 L ανά κάτοικο και ημέρα, ενώ η παροχή μικτών οικιακών αποβλήτων είναι αντίστοιχα 142±58,1 L.

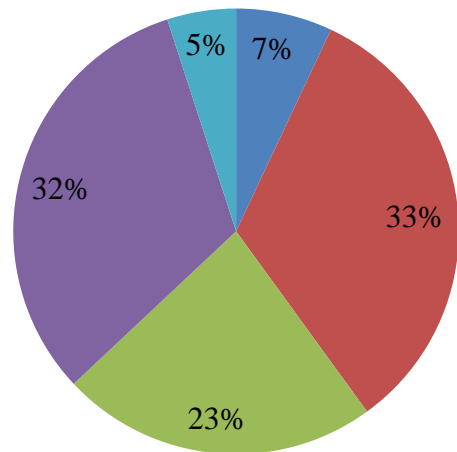
Πίνακας 2.1 Μέση παροχή γκρίζου νερού και μικτών οικιακών λυμάτων ανά κάτοικο (p.e.) και ημέρα (d)

Αναφορά	Μέση παροχή γκρίζου νερού (L/p.e./d)	Μέση παροχή μικτών οικιακών λυμάτων (L/p.e./d)
Palmquist and Hanæus (2005)	66	94,5
Antonopoulou et al. (2013)	82,6	142
www.yourhome.gov.au	101	121
Allen et al. (2010)	150	220
Friedler et al. (2011)	100,4	138,1

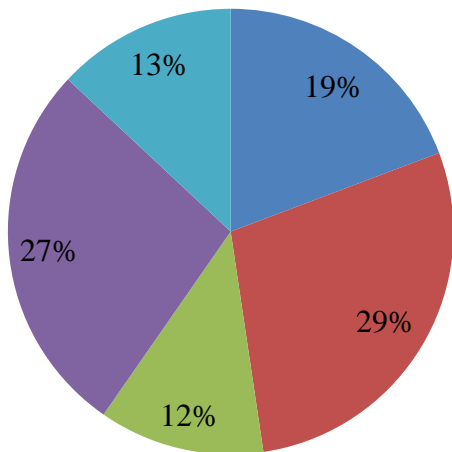
α)



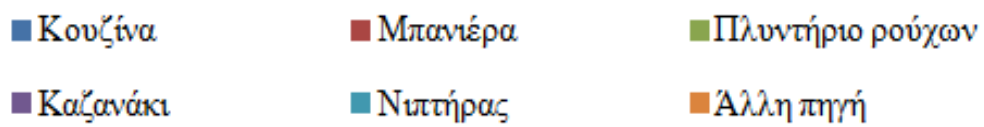
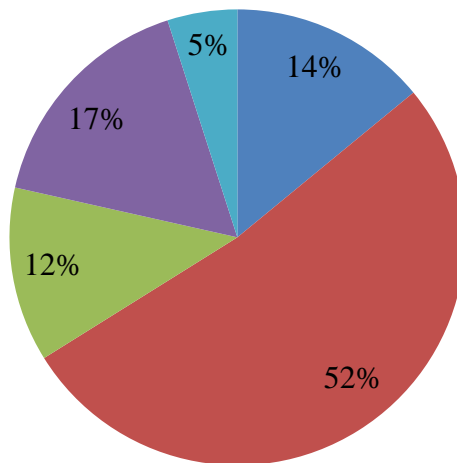
β)



γ)

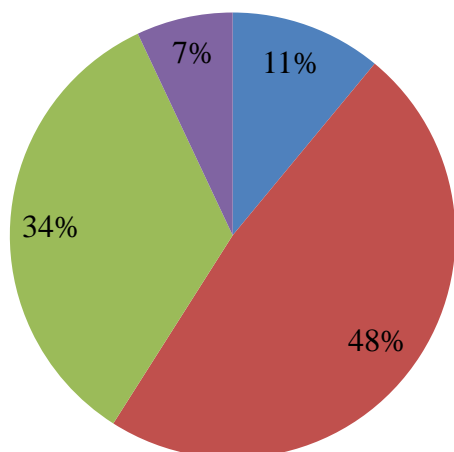


δ)

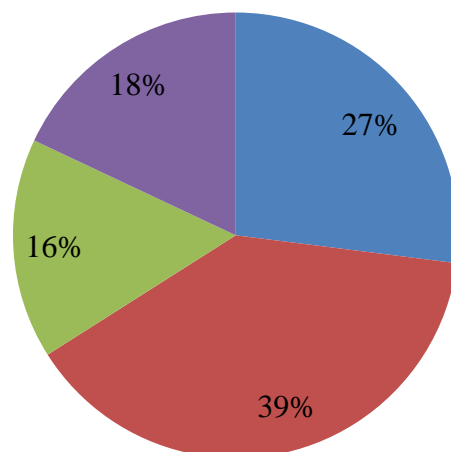


Σχήμα 2.1 Σύνθεση οικιακών αποβλήτων κατά α) www.pub.gov.sg, β) NSW Health (2000), γ) Friedler et al. (2011) και δ) www.yourhome.gov.au

α)



β)



■ Κουζίνα ■ Μπανιέρα ■ Πλυντήριο ρούχων ■ Νιπτήρας

Σχήμα 2.2 Σύνθεση γκριζου νερού κατά α) NSW Health (2000) και β) Friedler et al. (2011)

2.2 Χαρακτηριστικά γκριζου νερού

Σημαντική μεταβλητότητα δεν σημειώνεται μόνο στην παραγόμενη ποσότητα του γκριζου νερού αλλά και στα χαρακτηριστικά του. Τα χαρακτηριστικά του γκριζου νερού επηρεάζονται από τις συνήθειες των κατοίκων, τον τρόπο ζωής, τις επιλογές τους ως καταναλωτές (επιλογή προϊόντων προσωπικής υγιεινής, απορρυπαντικών κ.α.), την ποιότητα του πόσιμου νερού, την ηλικία των κατοίκων και άλλους παράγοντες (Donner et al., 2010, Eriksson et al., 2002). Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι ρύποι που χαρακτηρίζουν κάθε ροή γκριζου νερού –της κουζίνας, του πλυντηρίου ρούχων και του μπάνιου. Στις Ενότητες 2.2.1-2.2.3 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές παράμετροι του γκριζου νερού όπως αυτές καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

2.2.1 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκριζου νερού

Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του μικτού γκριζου νερού (το οποίο προέρχεται από ποικίλες πηγές) αλλά και κάθε ροής ξεχωριστά (κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας), όπως αυτά καταγράφονται από τη διεθνή βιβλιογραφία και γίνεται φανερή η μεταβλητότητα των παραμέτρων αυτών.

Παρατηρείται ότι η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) στο μικτό γκριζο νερό κυμαίνεται μεταξύ πολύ χαμηλών τιμών (3,1 mg/L) και ιδιαίτερα υψηλών (542±179 mg/L), ενώ οι υψηλότερες συγκεντρώσεις καταγράφονται στη ροή της κουζίνας (134-1300 mg/L) και στο πλυντήριο ρούχων (68-465 mg/L). Η συγκέντρωση των ολικών στερεών (TS) παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να παρατηρούνται στη ροή της κουζίνας (Πίνακας 2.3). Η ύπαρξη στερεών στο γκριζο νερό που προέρχεται από το πλυντήριο μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη άμμου και αργίλου από τα ρούχα, καθώς και ζεόλιθου από τα απορρυπαντικά. Τα λύματα της κουζίνας πιθανώς εμπεριέχουν άμμο και άργιλο από το πλύσιμο των φρούτων και λαχανικών (Eriksson et al., 2002).

Πίνακας 2.2 Κύριοι ρύποι/χαρακτηριστικά γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης (Wright, 1986, Eriksson et al., 2002)

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	βακτήρια	ζώδια	υπολείμματα φαγητού	ξάνι	Ηd οξίδια	νιτρικά	οσμύ	λίπη και έλαια	οργανικό φορτίο	απαίτηση οξυγόνου	φωσφορικά	σαπούνι	αιωρούμενα στερεά	θολότητα
Πλυντήριο ρούχων		✓			✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Κουζίνα	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Μπάνιο	✓			✓			✓	✓		✓		✓	✓	✓

Πίνακας 2.3 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού
(μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος			
		TS mg/L	TSS mg/L	αγωγιμότητα μS/cm	θολότητα NTU
Antonopoulou et al., 2013	Ποικίλες πηγές	2209±1067	542±179	1985±294	
Donner et al., 2010	Ποικίλες πηγές		(15-112)		
Schäfer et al., 2006	Ποικίλες πηγές	(113-2410)	(3,1-330)		
Department of Health Western Australia, 2002	Ποικίλες πηγές		(45-330)	(325-1140)	(22->200)
Li et al., 2009	Ποικίλες πηγές		(25-183)		(29-375)
Li et al., 2009	Κουζίνα		(134-1300)		298
Donner et al., 2010	Κουζίνα		(235-720)		
Antonopoulou et al., 2013	Κουζίνα	879±833	299±324	930±315	
Antonopoulou et al., 2013	Μπανιέρα	632±217	63±38	939±238	
Friedler et al., 2004	Μπανιέρα	777±333	78±105		
Donner et al., 2010	Πλυντήριο ρούχων		(120-280)		
Li et al., 2009	Πλυντήριο ρούχων		(68-465)		(50-444)
Friedler et al., 2004	Νιπτήρας	835±263	259±130		
Antonopoulou et al., 2013	Νιπτήρας	570±180	61±37	903±302	

2.2.2 Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού

Στον Πίνακα 2.4 γίνεται αναφορά στις χημικές ιδιότητες του γκρίζου νερού: το pH, το ολικό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD_t), το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5), τον ολικό φώσφορο (TP), το αμμωνιακό άζωτο (NH_4-N), το ολικό κατά Kjeldahl άζωτο (TKN) και το ολικό άζωτο (TN).

Το pH του γκρίζου νερού καλύπτει μεγάλο εύρος τιμών, με χαμηλές τιμές pH στην ροή της κουζίνας (5,9-7,4) και υψηλό pH στη ροή του πλυντηρίου ρούχων, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 7 και 10 (Li et al., 2009). Το υψηλό pH στη ροή του πλυντηρίου οφείλεται στη χρήση των απορρυπαντικών ρούχων, ωστόσο σημειώνεται το pH του γκρίζου νερού επηρεάζεται από το pH όχι μόνο από τη χρήση χημικών αλλά και από το pH του νερού του δικτύου.

Η υψηλή συγκέντρωση COD στο γκρίζο νερό οφείλεται κυρίως στα καθαριστικά και στα απορρυπαντικά ρούχων. Το άζωτο προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στην κουζίνα, ενώ ο φώσφορος από τα απορρυπαντικά ρούχων (Eriksson et al., 2002). Συνεπώς, όπως ήταν αναμενόμενο, στον Πίνακα 2.4 υψηλές συγκεντρώσεις COD_t παρατηρούνται στα λύματα που προέρχονται από το πλυντήριο ρούχων (231-2950 mg/L) και την κουζίνα (26-2050 mg/L), ενώ υψηλή συγκέντρωση φωσφόρου στο γκρίζο νερό που παράγεται από τη χρήση του πλυντηρίου ρούχων (0,1-101 mg/L). Η υψηλότερη συγκέντρωση αζώτου καταγράφεται στην κουζίνα (74 mg/L), ενώ υψηλή είναι και η συγκέντρωση αζώτου που καταγράφεται στο πλυντήριο ρούχων (6-21 mg/L). Η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου ποικίλει ανά πηγή και μελέτη. Το εύρος τιμών που καταγράφεται είναι μεγάλο (<1,0-25,4 mg/L), αλλά η μεγαλύτερη συγκέντρωση απαντάται στη ροή της μπανιέρας ($8,4 \pm 12,6$ mg/L).

Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο γκρίζο νερό. Τα υγρά οικιακά απόβλητα που προέρχεται από όλες τις ροές γκρίζου νερού χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού (47,0-70,2 $\mu\text{g/L}$) και ψευδάργυρου (55,3-77,8 $\mu\text{g/L}$) σύμφωνα με τους Palmquist and Hanæus (2005). Αντίθετα, το κάδμιο και ο υδράργυρος εντοπίζονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις (0,06-0,16 $\mu\text{g/L}$ και <0,020 $\mu\text{g/L}$, αντίστοιχα). Οι συγκεντρώσεις του νικελίου που μετρήθηκαν στη μελέτη των Palmquist and Hanæus (2005) εμφανίζουν μεγάλο εύρος (4,45-28,1 $\mu\text{g/L}$). Συγκρίσιμες συγκεντρώσεις (5,1-27 $\mu\text{g/L}$) εντοπίστηκαν στο ασθενές γκρίζο νερό σύμφωνα με τους Eriksson και Donner (2009). Αντίθετα, η μελέτη των τελευταίων για τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στο ασθενές γκρίζο νερό ανέδειξε υψηλότερες συγκεντρώσεις μολύβδου και υδραργύρου σε σχέση με τη μελέτη των Palmquist and Hanæus, (2005). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων των μετάλλων που ανιχνεύονται στο γκρίζο νερό εξαρτώνται από τον τύπο των σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του νερού χρήσης, την ποιότητα του νερού στην έξοδο της μονάδας παραγωγής πόσιμου νερού και τα χημικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται (Ledin et al., 2001). Τα μέταλλα στο γκρίζο νερό μπορεί επίσης να προέρχονται από σερβίτσια, κοσμήματα, νομίσματα, ακόμα και από σφραγίσματα δοντιών (Eriksson και Donner, 2009).

Οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις μικροοργανικών ενώσεων στο γκρίζο νερό παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6. Οι ενώσεις που αναφέρονται είναι οι εξής: η εννεύλοφαινόλη (NP), η μονο-αιθοξυλιωμένη εννεύλοφαινόλη (NP1EO), η δι-αιθοξυλιωμένη εννεύλοφαινόλη (NP2EO), η τρικλοζάνη (TCS) και η δισφαινόλη Α (BPA). Οι ενώσεις αυτές ανήκουν στους ενδοκρινικούς διαταράκτες (Endocrine Disrupter Compounds ή EDCs), δηλαδή σε ουσίες που μιμούνται ή μεταβάλλουν τη δράση των ορμονών που υπάρχουν σε έναν οργανισμό και

μπορούν να προκαλέσουν βλάβες τόσο σε αυτόν όσο και στους απογόνους του (www.greenpeace.org), όπως διαταραχή της γονιμότητας, νεοπλασίες, καρκίνο.

Η εννεύλοφαινόλη (Nonylphenol –NP) και οι πολυ–αιθοξυλιωμένες εννεύλοφαινόλες (Nonylphenol Ethoxylates –NPEOs) ανήκουν στην οικογένεια των αλκυλοφαινολών (AP) και των αιθοξυλιωμένων φαινολών (APE), αντίστοιχα. Οι πολυ–αιθοξυλιωμένες εννεύλοφαινόλες προκύπτουν από την αντίδραση της εννεύλοφαινόλης με το οξείδιο του αιθυλενίου (EO). Οι πολυ–αιθοξυλιωμένες εννεύλοφαινόλες (NP1EO, NP2EO) είναι ουσίες που χρησιμοποιούνται ευρέως στην παραγωγή προϊόντων, όπως απορρυπαντικών, καθαριστικών, καλλυντικών (www.epa.gov, www.subsport.eu). Η αναμενόμενη συγκέντρωση μονο–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό κυμαίνεται μεταξύ του ορίου ανίχνευσης και 6,73 µg/L (Palmquist and Hanæus, 2005, Almqvist and Hanæus, 2006). Η συγκέντρωση της δι–αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό, σύμφωνα με τους Almqvist and Hanæus (2006), κυμαίνεται από το όριο ανίχνευσης έως 5,0 µg/L , ενώ οι Palmquist and Hanæus (2005) μέτρησαν υψηλότερες συγκεντρώσεις, με μέγιστη συγκέντρωση 15,9 µg/L.

Η τρικλοζάνη (Triclosan –TCS) είναι ένας φαινολικός αιθέρας που χρησιμοποιείται ως αντιμικροβιακός παράγοντας σε προϊόντα όπως οδοντόκρεμες, σαπούνια, καθαριστικά, αποσμητικά, στοματικά διαλύματα, καλλυντικά (www.epa.gov, www.householdproducts.nlm.nih.gov). Η συγκέντρωση τρικλοζάνης στο γκρίζο νερό παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών με τις υψηλότερες τιμές να καταγράφονται στη μελέτη των Hernández-Leal et al. (2011) (15,6±6,8 µg/L).

Η δισφαινόλη Α (Bisphenol-A –BPA) είναι μία συνθετική αρωματική ένωση. Χρησιμοποιείται κυρίως στην παρασκευή πλαστικών και εποξικών ρητινών (www.efsa.europa.eu). Συχνά χρησιμοποιείται στην παραγωγή συσκευασιών τροφίμων. Οι Hernández-Leal et al. (2011) προσδιόρισαν τη συγκέντρωση της δισφαινόλης Α στο μικτό γκρίζο νερό ίση με 0,74±0,21 µg/L.

Στον Πίνακα 2.7 καταγράφονται προϊόντα που χρησιμοποιούνται εντός μίας οικίας και σχετίζονται με την ύπαρξη των ενδοκρινικών διαταρακτών στο γκρίζο νερό.

Πίνακας 2.4 Χημικές ιδιότητες ανεπεξέργαστου γκριζου νερού
(μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος						
		pH	COD _t mg/L	BOD ₅ mg/L	TP mg/L	NH ₄ -N mg/L	TKN mg/L	TN mg/L
Antonopoulou et al., 2013	Ποικίλες πηγές	9,03±0,68	1178±245					
Donner et al., 2010	Ποικίλες πηγές	(5,0-8,7)	(283-549)	(41-500)	(0,6->68)			(0,6-11)
Schäfer et al., 2006	Ποικίλες πηγές	(5,0-10,9)	(3,8-1380)	(33-1460)	(0,0062-74)			(0,28-74)
Department of Health Western Australia, 2002	Ποικίλες πηγές	(6,6-8,7)		(90-290)	(0,6-27,3)	(<1,0-25,4)	(2,1-31,5)	
Li et al., 2009	Ποικίλες πηγές	(6,3-8,1)	(100-700)	(47-466)	(0,11-22,8)			(1,7-34,3)
Li et al., 2009	Κουζίνα	(5,9-7,4)	(26-2050)	(536-1460)	(2,9->74)			(11,4-74)
Donner et al., 2010	Κουζίνα		(644-1380)	(47-1460)	(68-74)			(40-74)
Antonopoulou et al., 2013	Κουζίνα	6,72±0,40	775±63			4,0±4,8		
Antonopoulou et al., 2013	Μπανιέρα	7,22±0,14	399±183			8,4±12,6		
Donner et al., 2010	Πλυντήριο ρούχων	(8,1-10)	(725-1815)	(48-380)	(0,1->101)			(6-21)
Li et al., 2009	Πλυντήριο ρούχων	(7,1-10)	(231-2950)	(48-472)				(1,1-40,3)
Antonopoulou et al., 2013	Νιπτήρας	7,07±0,25	335±207			2,6±2,9		
Friedler et al., 2004	Νιπτήρας	7,0±0,3	386±230	205±42,5		0,39±0,29		

Πίνακας 2.5 Βαρέα μέταλλα στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος						
		Cd μg/L	Pb μg/L	Cr μg/L	Ni μg/L	Hg μg/L	Zn μg/L	Cu μg/L
Eriksson and Donner, 2009	Μπανιέρα, νιπτήρας	0,012-0,22	4,9-10		5,1-27	0,56-36		
Palmquist and Hanæus, 2005	Ποικίλες πηγές	0,06-0,16	2,14-3,14	2,06-5,46	4,45-28,1	<0,020	55,3-77,8	47,0-70,2

Πίνακας 2.6 Μικροοργανικές ενώσεις στο ανεπεξέργαστο μικτό γκρίζο νερό
(μέση τιμή±τυπική απόκλιση και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Παράμετρος				
	NP μg/L	NP1EO μg/L	NP2EO μg/L	TCS μg/L	BPA μg/L
Almqvist and Hanæus, 2006	0,76 (0,56-1,1)	(<0,05-3,7)	(<0,05-5,0)	0,19 (0,075-16,6)	
Hernández-Leal et al., 2011	7,5±7,1			15,6±6,8	0,74±0,21
Palmquist and Hanæus, 2005	3,80 (2,82-5,95)	4,28 (2,75-6,73)	8,79 (4,02-15,9)	3,43 (0,56-5,9)	

Πίνακας 2.7 Πηγές μικροοργανικών ενώσεων στο γκρίζο νερό

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Ρύπος	Προϊόν
Κουζίνα	NP, NP1EO, NP2EO	σαπούνια, καθαριστικά
	TCS	αντιβακτηριδιακά καθαριστικά/σαπούνια
	BPA	συσκευασίες τροφίμων
Μπανιέρα	NP, NP1EO, NP2EO	σαπούνια, καθαριστικά, καλλυντικά
	TCS	αποσμητικά, αντιβακτηριδιακά προϊόντα προσωπικής υγιεινής, καλλυντικά, καθαριστικά
Πλυντήριο ρούχων	NP, NP1EO, NP2EO	απορρυπαντικά ρούχων
	TCS	αντιβακτηριδιακά απορρυπαντικά
Νιπτήρας	NP, NP1EO, NP2EO	σαπούνια, καθαριστικά, καλλυντικά
	TCS	οδοντόκρεμες, αντιβακτηριδιακά προϊόντα προσωπικής υγιεινής, στοματικά διαλύματα, καλλυντικά, καθαριστικά

2.2.3 Μικροβιολογικές παράμετροι γκρίζου νερού

Οι μικροοργανισμοί που εντοπίζονται στο γκρίζο νερό προέρχονται κυρίως από την προσωπική υγιεινή και τα ωμά τρόφιμα. Στον Πίνακα 2.8 παρουσιάζονται οι μικροβιολογικές παράμετροι στο ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό, το οποίο προέρχεται από ποικίλες πηγές. Παρατηρείται ότι ο αριθμός των ολικών κολοβακτηριδίων στο γκρίζο νερό παρουσιάζει μεγάλο εύρος στη βιβλιογραφία (από $6,6 \cdot 10^5$ έως $>2,4 \cdot 10^8$ CFU/100 mL), όπως αντίστοιχα μεγάλο εύρος καταγράφεται και στις αντίστοιχες τιμές για τα μικτά οικιακά λύματα, οι οποίες είναι συγκρίσιμες με αυτές του γκρίζου νερού, αφού σύμφωνα με τον Tchobanoglous (1991), ο οποίος προσδιόρισε τον αριθμό των ολικών κολοβακτηριδίων στα μικτά οικιακά λύματα, τα ολικά κολοβακτηρίδια στα μικτά οικιακά λύματα κυμαίνονται μεταξύ 10^6 και 10^9 CFU/100 mL, αναλόγως τη σύνθεση τους.

Πίνακας 2.8 Μικροβιολογικές παράμετροι ανεπεξέργαστου γκριζου νερού
(μέση τιμή και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκριζου νερού		Παράμετρος		
			Ολικά κολοβακτηρίδια	E. coli	Εντερόκοκκοι
Casanova et al., 2001	Ποικίλες πηγές	CFU/100 mL	$8,03 \cdot 10^7$ ($6,60 \cdot 10^5$ - $2,10 \cdot 10^8$)		$5,63 \cdot 10^5$ ($3,20 \cdot 10^3$ - $8,56 \cdot 10^6$)
Chaillou et al., 2011	Μπανιέρα, νιπτήρας	CFU/100 mL		$4,76 \cdot 10^5$ ($2,34 \cdot 10^4$ - $2,07 \cdot 10^6$)	$3,42 \cdot 10^5$ ($2,57 \cdot 10^1$ - $1,51 \cdot 10^6$)
www.fbr.de	Μπανιέρα, νιπτήρας	MPN/100 mL	$(10^1$ - 10^5)	$(10^1$ - 10^5)	
Li et al., 2009	Κουζίνα	CFU/100 mL	$>2,4 \cdot 10^8$		
Christova-Boal et al., 1996	Πλυντήριο ρούχων	MPN/100 mL	$(2,3 \cdot 10^3$ - $3,3 \cdot 10^5)$		$(110$ - $1,09 \cdot 10^3)$
www.fbr.de	Μπανιέρα, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων	MPN/100 mL	$(10^2$ - $10^6)$	$(10^1$ - $10^5)$	
www.fbr.de	Μπανιέρα, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων, κουζίνα	MPN/100 mL	$(10^2$ - $10^6)$	$(10^2$ - $10^6)$	

2.3 Μέθοδοι επεξεργασίας γκρίζου νερού

Η χωρίς επεξεργασία διάθεση του γκρίζου νερού έχει περιορισμένη εφαρμογή, κυρίως λόγω του μικροβιακού του φορτίου. Η αποθήκευση του προς διάθεση ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού οδηγεί σε γρήγορη αποσύνθεση, καθώς συνήθως αυτό βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία και έχει υψηλό οργανικό φορτίο το οποίο προέρχεται κυρίως από απορρυπαντικά ρούχων και πιάτων (Environment Agency, 2011). Συνεπώς, στις περισσότερες περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού είναι αναγκαία η επεξεργασία.

Η επεξεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κεντρικά ή αποκεντρωμένα συστήματα. Στα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργάζεται γκρίζο νερό επί τόπου στο σημείο όπου παράγεται, ενώ στα κεντρικά συστήματα συλλέγονται και επεξεργάζονται λύματα από περισσότερα διαμερίσματα/οικίες (www.fbr.de). Τα αποκεντρωμένα συστήματα υπερτερούν σε σχέση με τα κεντρικά συστήματα καθώς τα κεντρικά απαιτούν την κατασκευή εκτεταμένων αποχετευτικών δικτύων συλλογής και μεταφοράς λυμάτων, τα οποία συνεπάγονται υψηλό κόστος κατασκευής και υψηλό λειτουργικό κόστος λόγω λειτουργίας αντλιοστασίων (www.fbr.de, Νουτσόπουλος, 2010).

Τα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού, σε οικιακή κλίμακα, διαφέρουν αρκετά ως προς την πολυπλοκότητα και το μέγεθος. Τα περισσότερα συστήματα διαθέτουν ένα είδος προεπεξεργασίας και συχνά ακολουθεί απολύμανση είτε με υπεριώδη ακτινοβολία UV είτε με χλωρίωση.

Το βήμα της προεπεξεργασίας είναι συνήθως απαραίτητο ώστε να αποφευχθεί τυχόν έμφραξη του συστήματος και η δημιουργία οσμών από τα λίπη και τις βιοδιασπάσιμες οργανικές ενώσεις. Η απομάκρυνση των διαλυτών στερεών πραγματοποιείται μέσω σηπτικών δεξαμενών, φίλτρων, εσχάρων και άλλων μέσων. Ο απαιτούμενος βαθμός απομάκρυνσης τους εξαρτάται από το σύστημα κυρίως επεξεργασίας που ακολουθεί (Ridderstolpe, 2004).

Το πιο απλό σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού αποτελείται από μία δεξαμενή καθίζησης ή από ένα χονδρόκοκκο φίλτρο που αποσκοπούν στην απομάκρυνση στερεών, ακολουθούμενα από ένα στάδιο απολύμανσης. Τέτοιου είδους συστήματα επιτυγχάνουν μικρό βαθμό απομάκρυνσης οργανικών ρύπων και στερεών. Συνεπώς, είναι κατάλληλα για επεξεργασία ασθενούς γκρίζου νερού σε μικρή κλίμακα (Pidou et al., 2007).

Τα συστήματα επεξεργασίας χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες: τα χημικά, τα φυσικά και τα βιολογικά.

2.3.1 Χημικά συστήματα επεξεργασίας

Τα χημικά συστήματα βασίζονται στην κροκίδωση, την ιοντοαλλαγή και την προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (Pidou et al., 2007). Οι χημικές μέθοδοι επιτυγχάνουν σημαντική απομάκρυνση του διαλυτού οργανικού κλάσματος. Οι Pidou et al. (2008) πραγματοποίησαν πειράματα επεξεργασίας ασθενούς και ισχυρού γκρίζου νερού, με τη χρήση κροκίδωσης και ιοντοανταλλακτικής ρητίνης. Μελετήθηκε γκρίζο νερό προερχόμενο από δύο διαφορετικά δείγματα, το ένα προερχόταν μόνο από το ντους ενώ το άλλο προερχόταν από τη μίξη του νερού της μπανιέρας, του ντους και του νιπτήρα. Για την κροκίδωση χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη κροκιδωτικών, το θεικό αργίλιο και ο θειούχος σίδηρος. Όπως αποδείχθηκε, η κροκίδωση και η ιοντοανταλλαγή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέθοδοι επεξεργασίας στην περίπτωση μικτού γκρίζου νερού, το οποίο είχε το χαμηλότερο οργανικό φορτίο, καθώς

επιτυγχάνεται ικανοποιητική απομάκρυνση COD ακόμα και όταν η κάθε μέθοδος χρησιμοποιηθεί αυτόνομα. Αντίθετα, σε περιπτώσεις ισχυρότερου φορτίου, όπως στην περίπτωση του ντους, η χρήση τέτοιου είδους συστημάτων δεν οδηγεί το επεξεργασμένο νερό στα απαραίτητα επίπεδα ποιότητας για επαναχρησιμοποίηση. Οι Lin et al. (2005) μελέτησαν τη χρήση της μεθόδου της ηλεκτροκροκίδωσης για την επεξεργασία του γκρίζου νερού σε συνδυασμό με απολύμανση με υποχλωριώδες νάτριο. Τα χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου νερού είναι εντός των αυστηρών ορίων για επαναχρησιμοποίηση που έχουν υιοθετηθεί στα πλαίσια αυτής της μελέτης. Η μέθοδος παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως μειωμένη απαίτηση για έκταση σε σχέση με τα βιολογικά συστήματα, μειωμένη παραγωγή λάσπης και απαιτούμενη δόση κροκιδωτικού σε σύγκριση με τη συμβατική κροκίδωση, απλότητα στη λειτουργία.

2.3.2 Φυσικά συστήματα επεξεργασίας

Τα φυσικά συστήματα χωρίζονται στα συστήματα φίλτρων και στα συστήματα μεμβρανών. Τα φίλτρα άμμου χρησιμοποιούνται είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με απολύμανση είτε με φίλτρο ενεργού άνθρακα και απολύμανση. Η αποκλειστική χρήση φίλτρου άμμου έχει μειωμένη απόδοση επεξεργασίας. Το στάδιο της απολύμανσης, ωστόσο, βελτιώνει την απομάκρυνση των μικροοργανισμών (Pidou et al., 2007). Οι Abdel-Shafy et al. (2013) μελέτησαν τη διύλιση πρωτοβάθμια επεξεργασμένου γκρίζου νερού με τη χρήση φίλτρων άμμου και χαλικιών. Τόσο η χρήση φίλτρου χαλικιών σε ακολουθούμενο από φίλτρο άμμου όσο και η χρήση φίλτρου άμμου οριζόντιας ροής οδήγησαν σε εκροή με χαρακτηριστικά κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση.

Οι μεμβράνες δεν απομακρύνουν ικανοποιητικά τις οργανικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, ωστόσο, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές όσο αφορά στην απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών (Pidou et al., 2007). Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων. Το κύριο μειονέκτημα της χρήσης των μεμβρανών για την επεξεργασία του γκρίζου νερού είναι η έμφραξη των πόρων και η αναγκαιότητα για καθαρισμό αυτών, με άμεση συνέπεια την αύξηση του λειτουργικού κόστους. Η χρήση μεθόδων προεπεξεργασίας μειώνει την πιθανότητα έμφραξης των πόρων. Οι Ramon et al. (2004) μελέτησαν την επεξεργασία γκρίζου νερού που προέρχεται από το ντους (ασθενές γκρίζο νερό) δημόσιου αθλητικού κέντρου με τη χρήση μεθόδων νανοδιήθησης και υπερδιήθησης και διαπιστώθηκε πως η χρήση μεμβρανών με μικρότερους πόρους οδηγεί σε καλύτερη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου.

2.3.3 Βιολογικά συστήματα επεξεργασίας

Τα βιολογικά συστήματα που έχουν μελετηθεί για την επεξεργασία του γκρίζου νερού αφορούν κυρίως σε βιολογικούς περιστρεφόμενους δίσκους (RBC), σε βιολογικά αεριζόμενα φίλτρα, σε βιοαντιδραστήρες με μεμβράνες (MBR), σε βιολογικούς αεριζόμενους αντιδραστήρες και τεχνητούς υγροβιότοπους (Pidou et al., 2007). Τα βιολογικά συστήματα συνήθως συνδυάζονται με μία φυσική προεπεξεργασία όπως καθίζηση και ακολουθούνται από απολύμανση. Το βιολογικό βήμα αφαιρεί σε μεγάλο βαθμό το οργανικό φορτίο και τα στερεά. Οι Hernández Leal et al. (2007) σύγκριναν τη λειτουργία ενός αερόβιου και ενός αναερόβιου αντιδραστήρα. Διαπιστώθηκε πως η αναερόβια επεξεργασία επιτυγχάνει μέσο βαθμό απομάκρυνσης COD_i μόλις 40% ενώ η αερόβια επεξεργασία φθάνει το 90%.

Σύμφωνα με τον Abdel_Kader (2011) η χρήση βιολογικών περιστρεφόμενων δίσκων οδηγεί σε απομάκρυνση COD κατά 93-96% και TSS κατά 84-95%. Το ποσοστό απομάκρυνσης

εξαρτάται από την προέλευση του γκρίζου νερού. Εφόσον η μέθοδος συνδυαστεί με απολύμανση και φίλτρο άμμου, το επεξεργασμένο γκρίζο νερό ανεξαρτήτως πηγής προέλευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλες τις χρήσεις χωρίς περιορισμούς. Οι Fiedler et al. (2004) μελέτησαν τη χρήση των περιστρεφόμενων δίσκων για την επεξεργασία ασθενούς γκρίζου νερού. Διαπίστωσαν ότι η απομάκρυνση TSS, θολότητας και BOD₅ είναι ικανοποιητική (82%, 98% και 96% αντίστοιχα), ενώ η απομάκρυνση του COD βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα (70-75%). Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι το σύστημα των περιστρεφόμενων δίσκων έχει σταθερή και αξιόπιστη απόδοση. Οι Pathan et al. (2011) επεξεργάστηκαν επίσης δείγματα ασθενούς γκρίζου νερού στο Πακιστάν χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Η συγκέντρωση BOD₅ στα ανεπεξέργαστα λύματα κυμαινόταν μεταξύ 36-77 mg/L και COD μεταξύ 79-195 mg/L. Η απομάκρυνση που προέκυψε σε αυτή τη μελέτη είναι χαμηλότερη, 53% και 60% αντίστοιχα.

2.3.4 Σύνθετα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού φίλτρων άμμου και ενεργού άνθρακα

Οι Antonopoulou et al. (2013) επεξεργάστηκαν γκρίζο νερό, προερχόμενο από το μπάνιο και την κουζίνα, χρησιμοποιώντας ένα σύνθετο σύστημα επεξεργασίας, κροκιδώσης-φίλτρου άμμου και ενεργού άνθρακα. Ως κροκιδωτικά χρησιμοποιήθηκαν το ένυδρο θεικό αργίλιο και ο χλωριούχος σίδηρος. Ωστόσο, υψηλότερη απομάκρυνση TSS και COD προέκυψε από τη χρήση του θεικού αργιλίου. Έπειτα από την παροχέτευση των λυμάτων στο σύστημα κροκιδώσης με χρήση θεικού αργιλίου-φίλτρου άμμου και ενεργού άνθρακα, σημειώθηκε μείωση COD και TSS κατά 96% και 97%, αντίστοιχα (Πίνακας 2.9). Η μείωση του οργανικού φορτίου οφείλεται κυρίως στη χρήση ενεργού άνθρακα καθώς το φίλτρο άμμου δεν επιτυγχάνει ιδιαίτερη μείωση του COD. Οι Sostar-Turc et al. (2005), χρησιμοποίησαν σύστημα επεξεργασίας με την ίδια διάταξη. Το γκρίζο νερό προερχόταν από το πλυντήριο. Η απομάκρυνση που σημειώθηκε είναι της τάξης του 93% για το COD (Πίνακας 2.9). Οι Chaillou et al. (2011) μελέτησαν την επεξεργασία ασθενούς γκρίζου νερού μέσω διύλισης με φίλτρο άμμου, προσρόφησης σε ενεργό άνθρακα και χλωρίωση. Η απομάκρυνση των στερεών και της θολότητας με το φίλτρο άμμου ήταν ικανοποιητική, ενώ η απομάκρυνση COD περιορίστηκε στο 30%. Η χρήση του ενεργού άνθρακα οδήγησε σε μεγαλύτερη απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Η διύλιση δεν απομάκρυνε αποτελεσματικά το μικροβιακό φορτίο και συνεπώς το στάδιο της χλωρίωσης κρίθηκε απαραίτητο.

Πίνακας 2.9 Βιβλιογραφική ανασκόπηση σύνθετου συστήματος επεξεργασίας, κροκιδώσης-φίλτρου άμμου και ενεργού άνθρακα

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	COD (mg/L)		TSS (mg/L)	
		In	Out	In	Out
Antonopoulou et al., 2013	Μπάνιο, κουζίνα	732	28	316	11
Sostar-Turc et al., 2005	Πλυντήριο	280	20	35	<5

2.4 Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού – χρήσεις και θεσμικό πλαίσιο

Το γκρίζο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε πολλές δραστηριότητες/χρήσεις όπως:

- (α) άρδευση κήπων,
- (β) παραγωγή τσιμέντου,
- (γ) ανάπτυξη υγροβιότοπων,
- (δ) εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων,
- (ε) πλύσιμο ρούχων,
- (στ) καθαρισμό τουαλέτας,
- (ζ) πλύσιμο αυτοκινήτων, παραθύρων, οδών,
- (η) κατάσβεση πυρκαγιών.

Η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να αφορά επεξεργασμένο ή ανεπεξεργαστο γκρίζο νερό, αναλόγως τη νομοθεσία περί επαναχρησιμοποίησης κάθε χώρας αλλά και τον σκοπό της επαναχρησιμοποίησης. Στις περισσότερες χώρες, η νομοθεσία αφορά στα υγρά απόβλητα, χωρίς να γίνεται ειδική αναφορά στο γκρίζο νερό. Ωστόσο, υπάρχουν θεσμικά πλαίσια που αναφέρονται συγκεκριμένα στην επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού (Φλόριντα, Δυτική Αυστραλία, Καναδάς κ.α.).

Η Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O., 1989) περί επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στοχεύει στη μείωση των κινδύνων που εγκυμονούνται από την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για άρδευση, κυρίως μέσω της επιλογής της μεθόδου άρδευσης, του έλεγχου της ανθρώπινης επαφής με τα λύματα και του περιορισμού των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών. Συγκεκριμένα, η άρδευση με επεξεργασμένα λύματα διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

(α) Στην περιορισμένη άρδευση, η οποία εφαρμόζεται σε καλλιέργειες όπου τα προϊόντα τους δεν καταναλώνονται ωμά, όπως δημητριακά και καλλιέργειες που προορίζονται για ζωοτροφές. Σε αυτή την περίπτωση δεν τίθενται μικροβιολογικά όρια, αλλά ορίζεται ως ελάχιστη επεξεργασία η πρωτοβάθμια.

(β) Στην απεριόριστη άρδευση, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε καλλιέργεια, και σε καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά ή ακόμα και για πότισμα γηπέδων, πάρκων κ.α. Σε αυτήν την περίπτωση, ορίζονται μικροβιολογικοί περιορισμοί: <1 γεωμετρικός μέσος αυγών ανά λίτρο για τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς και <1000 FC/100 mL για τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια.

Η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών ορίζει όρια και προτείνει μεθόδους επεξεργασίας για διάφορες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων (Πίνακας 2.10). Οι κύριες χρήσεις που προτείνονται είναι: αστική, γεωργική, περιβαλλοντική, αναψυχής, βιομηχανική και η τροφοδοσία υπόγειων υδροφορέων (EPA, 2012). Η αστική χρήση και οι χρήσεις αναψυχής διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στην απεριόριστη χρήση, δηλαδή σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται ποιότητα πόσιμου νερού και στις οποίες δεν υπάρχει περιορισμός πρόσβασης κοινού, και στην περιορισμένη χρήση όπου η επαφή του κοινού με τα λύματα είναι απαγορευμένη. Ως παράδειγμα περιορισμένης χρήσης αναψυχής αναφέρεται η βαρκάδα και ως παράδειγμα απεριόριστης χρήσης αναψυχής η κατασκευή τεχνητού χιονιού. Η βιομηχανική χρήση περιλαμβάνει εφαρμογές όπως κατασκευαστικές

χρήσεις και παραγωγή ενέργειας. Η περιβαλλοντική χρήση αναφέρεται στην δημιουργία ή τον εμπλουτισμό υδάτινων σωμάτων, όπως υδροβιότοπων. Τα όρια για την περίπτωση της περιβαλλοντικής χρήσης διαφοροποιούνται ανά περίπτωση αλλά δεν πρέπει να υπερβαίνονται τα όρια του Πίνακα 2.10. Η γεωργική χρήση απαιτεί διαφορετική ποιότητα επεξεργασμένου νερού στην περίπτωση όπου τα προϊόντα των καλλιεργειών καταναλώνονται ωμά και στην περίπτωση όπου αυτά υφίστανται κατεργασία. Η τροφοδότηση των υπόγειων υδάτων μπορεί να αφορά υδροφορείς που χρησιμοποιούνται για ύδρευση ή όχι και τα απαιτούμενα όρια τίθενται ανά περίπτωση.

Πίνακας 2.10 Όρια επαναχρησιμοποίησης σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA, 2012)

Απεριόριστη αστική χρήση, γεωργική χρήση (καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές), απεριόριστη χρήση αναψυχής	
Μέθοδος επεξεργασίας	Όρια επαναχρησιμοποίησης
Δευτεροβάθμια, δύλιση, απολύμανση	pH 6-9
	BOD ₅ ≤10 mg/L
	Θολότητα ≤2 NTU
	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια: μη ανιχνεύσιμα Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L
Περιορισμένη αστική χρήση, βιομηχανική χρήση, γεωργική χρήση (μη βρώσιμες καλλιέργειες, καλλιέργειες που τα προϊόντα τους επεξεργάζονται), περιορισμένη χρήση αναψυχής, περιβαλλοντική χρήση	
Μέθοδος επεξεργασίας	Όρια επαναχρησιμοποίησης
Δευτεροβάθμια, απολύμανση	pH 6-9
	BOD ₅ ≤30 mg/L
	TSS ≤30 mg/L
	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια: ≤200/100 mL Υπολειμματικό Cl ₂ : 1 mg/L

Στην Ελλάδα, δεν υπάρχει θεσμικό πλαίσιο το οποίο αναφέρεται σαφώς στην επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού, ωστόσο στις 8/3/2011 δημοσιεύτηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΚΥΑ 145116/02-02-2011) η απόφαση που αναφέρεται στον καθορισμό μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Συνεπώς, τα όρια που ορίζονται στην ΚΥΑ αφορούν και στην επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού.

Η ΚΥΑ αναφέρεται σε περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης για:

- (α) γεωργική χρήση (άρδευση),
- (β) την τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων,

(γ) αστική και περιαστική χρήση

(δ) βιομηχανική χρήση.

Δεν αφορά ωστόσο χρήσεις κολύμβησης (πισίνες) και άλλες οικιακές χρήσεις. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα κύρια χαρακτηριστικά σε κάθε περίπτωση επαναχρησιμοποίησης και τα επιτρεπόμενα όρια των παραμέτρων ανά χρήση. Ωστόσο, στην ΚΥΑ 145116 πραγματοποιείται εκτενέστερη αναφορά στις μεθόδους επεξεργασίας, στη συχνότητα των δειγματοληψιών και στις περιπτώσεις εφαρμογής.

(α) Όσο αφορά στην επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία, διακρίνονται δύο περιπτώσεις –της περιορισμένης και της απεριόριστης άρδευσης– για τις οποίες ορίζονται διαφορετικά όρια επαναχρησιμοποίησης (Πίνακες 2.11 και 2.12, αντίστοιχα). Η περιορισμένη άρδευση αφορά μόνο σε 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. Στην περίπτωση αυτή, δεν επιτρέπεται η μέθοδος του καταιονισμού ως σύστημα άρδευσης, καθώς ούτε η πρόσβαση ανθρώπων και ζώων στην αρδευόμενη έκταση. Αντίθετα, στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης, δεν υπάρχει περιορισμός ούτε στην πρόσβαση ούτε στη μέθοδο άρδευσης. Η άρδευση χωρίς περιορισμούς αφορά σε λαχανικά, αμπέλια, καλλιέργειες που τα προϊόντα τους καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά.

(β) Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων με σκοπό τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων που δεν χρησιμοποιούνται για ύδρευση αποσκοπεί κυρίως στη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων, στην αποθήκευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης όπως για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή, στην ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, στον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους. Τα όρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για εμπλουτισμό υδροφορέων παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.11.

Πίνακας 2.11 Όρια επαναχρησιμοποίησης για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων που δεν χρησιμοποιούνται για πόση (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011)

E. Coli (EC/ 100 mL)	≤200 διάμεση τιμή
BOD ₅ (mg/L)	Σύμφωνα με τις επιταγές της Κ.Υ.Α. Οικ. 5673/400/5.3.1997 (≤25 για το 80% των δειγμάτων)
SS (mg/L)	Σύμφωνα με τις επιταγές της Κ.Υ.Α. Οικ. 5673/400/5.3.1997 (≤35 για το 80% των δειγμάτων)
Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, απολύμανση

Πίνακας 2.12 Όρια επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση και βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011)

E. Coli (EC/ 100 mL)	≤5 για το 80% των δειγμάτων ≤50 για το 95% των δειγμάτων
BOD ₅ (mg/L)	≤10 για το 80% των δειγμάτων
SS (mg/L)	≤10 για το 80% των δειγμάτων
Θολότητα (NTU)	≤2 διάμεση τιμή
Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση

(γ) Η επαναχρησιμοποίηση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για αστικές και περιαστικές δραστηριότητες αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών, εκτός των χρήσεων για πόση, την κολύμβηση και τις οικιακές δραστηριότητες. Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνουν κυρίως το πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου, όπως δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές οικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων αναψυχής, νερό για την κατάσβεση πυρκαγιών, για τη συμπύκνωση εδαφών, για τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, για διακοσμητικά σιντριβάνια, για τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών ή υγροβιότοπων, για την ενίσχυση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

Τα όρια επαναχρησιμοποίησης για αστικές και περιαστικές χρήσεις στην Ελλάδα αναγράφονται στον Πίνακα 2.13. Η ελάχιστη απαιτούμενη επεξεργασία είναι δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολουθούμενη από προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση.

Πίνακας 2.13 Όρια επαναχρησιμοποίησης για αστικές και περιαστικές χρήσεις στην Ελλάδα (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011)

Ολικά κολοβακτηρίδια (TC/ 100 mL)	≤2 για το 80% των δειγμάτων ≤20 για το 95% των δειγμάτων
BOD ₅ (mg/L)	≤10 για το 80% των δειγμάτων
SS (mg/L)	≤2 για το 80% των δειγμάτων
Θολότητα (NTU)	≤2 διάμεση τιμή
Κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, προχωρημένη επεξεργασία και απολύμανση

(δ) Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων στη βιομηχανία περιλαμβάνει εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης, αναπλήρωση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Τα όρια επαναχρησιμοποίησης για βιομηχανική χρήση

αναφέρονται στον Πίνακα 2.12, εκτός της περίπτωσης του νερού ψύξης μιας χρήσης, καθώς τα όρια για αυτή την περίπτωση επαναχρησιμοποίησης αναφέρονται στον Πίνακα 2.11.

Οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στα επεξεργασμένα λύματα σύμφωνα με την ΚΥΑ επαναχρησιμοποίησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.14. Η συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις συγκεκριμένες παραμέτρους καθορίζεται σε σχέση με τον ισοδύναμο πληθυσμό της εγκατάστασης επεξεργασίας. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι σε εγκαταστάσεις με ισοδύναμο πληθυσμό μικρότερο των 2 000 κατοίκων και οικιακά ιδιωτικά συστήματα επεξεργασίας, δεν απαιτείται έλεγχος των παραμέτρων αυτών.

Όσο αφορά στις μικροοργανικές ενώσεις, στην ΚΥΑ ορίζεται μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση για την περίπτωση της εννεύλοφαινόλης (2 µg/L) και η τήρηση του ορίου αφορά μόνο εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 100 000 κατοίκους.

Πίνακας 2.14 Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων σε ανακτημένα λύματα (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Τεύχος 354, 8/3/2011)

Cd (mg/L)	0,01
Pb (mg/L)	0,1
Cr (mg/L)	0,1
Ni (mg/L)	0,2
Hg (mg/L)	0,002
Zn (mg/L)	2,0
Cu (mg/L)	0,2

Στη Φλόριντα, ο Οικοδομικός Κανονισμός (www.ecodes.biz) προβλέπει τη συλλογή του γκρίζου νερού που προέρχεται από το πλυντήριο ρούχων και το μπάνιο σε ξεχωριστό δίκτυο με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση του για τον καθαρισμό της τουαλέτας. Σύμφωνα με τον Κανονισμό, το γκρίζο νερό πρέπει να συλλέγεται σε ανθεκτική, αεροστεγή δεξαμενή και να αποθηκεύεται μόνο έως 72 ώρες. Κατά την είσοδο του γκρίζου νερού στη δεξαμενή, πρέπει να πραγματοποιείται διύλιση αυτού με εγκεκριμένο φίλτρο, όπως φίλτρο άμμου. Επίσης, το γκρίζο νερό πρέπει να απολυμαίνεται με τη χρήση αποδεκτών μεθόδων απολύμανσης, όπως χλωρίωσης ή οζόνωσης.

Στην Δυτική Αυστραλία, το Τμήμα Δημόσιας Υγείας προτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού (www.public.health.wa.gov.au). Επισημαίνει, ωστόσο, ότι το ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό πρέπει να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για υπεδάφια άρδευση, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα έκθεσης ανθρώπων ή ζώων στο γκρίζο νερό, στο οποίο εντοπίζονται παθογόνοι μικροοργανισμοί. Στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού, η ροή της κουζίνας πρέπει να εξαιρείται από αυτό. Επίσης, πρέπει να αποφεύγεται η αποθήκευση του καθώς και η χρήση του σε περίοδο βροχοπτώσεων. Η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένου γκρίζου νερού μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες χρήσεις, όπως η επιφανειακή άρδευση, ο καθαρισμός της τουαλέτας και η χρήση πλυντηρίου ρούχων με κρύο νερό. Σε αυτές τις εφαρμογές, το επεξεργασμένο νερό θα πρέπει να τηρεί ορισμένες προδιαγραφές, οι οποίες καθορίζονται σε σχέση με το επίπεδο επεξεργασίας και τη

χρήση του γκρίζου νερού και αναγράφονται στον Πίνακα 2.15. Τα αυστηρότερα όρια υιοθετούνται στις περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης εντός της οικίας (καθαρισμός τουαλέτας, πλυντήριο ρούχων).

Πίνακας 2.15 Επιτρεπόμενες χρήσεις και όρια επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένου γκρίζου νερού στην Δυτική Αυστραλία

Σε επίπεδο οικίας		
Μέθοδος επεξεργασίας	Επιτρεπόμενη χρήση	Όρια επαναχρησιμοποίησης
Επεξεργασία χωρίς απολύμανση	Υπεδάφια άρδευση	BOD ₅ <20 mg/L SS<30 mg/L
Επεξεργασία με απολύμανση	Υπεδάφια και επιφανειακή άρδευση	BOD ₅ <20 mg/L SS<30 mg/L E. Coli <10/100 mL
Επεξεργασία με προχωρημένη δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	Υπεδάφια και επιφανειακή άρδευση, καθαρισμός της τουαλέτας, πλυντήριο ρούχων με κρύο νερό	BOD ₅ <10 mg/L SS<10 mg/L E. Coli <1/100 mL
Σε επίπεδο πολυκατοικιών/εμπορικών χώρων		
Μέθοδος επεξεργασίας	Επιτρεπόμενη χρήση	Όρια επαναχρησιμοποίησης
Επεξεργασία με απολύμανση	Υπεδάφια και στάγδην άρδευση	BOD ₅ <20 mg/L SS<30 mg/L E. Coli <10/100 mL
Επεξεργασία με προχωρημένη δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	Υπεδάφια και επιφανειακή άρδευση, καθαρισμός της τουαλέτας, πλυντήριο ρούχων με κρύο νερό (υπό περιορισμούς)	BOD ₅ <10 mg/L SS<10 mg/L E. Coli <1/100 mL Coliphages<1 PFU/100 mL Clostridia<1 CFU/100 mL

Στον Καναδά, προτρέπεται η χρήση των οικιακών λυμάτων για τον καθαρισμό της τουαλέτας, με την προϋπόθεση ότι η επαναχρησιμοποίηση πραγματοποιείται είτε στην ίδια οικία ή σε κοντινή από τον τόπο παραγωγής απόσταση (www.healthcanada.gc.ca). Η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να αφορά είτε τα μικτά οικιακά λύματα είτε το γκρίζο νερό (το οποίο ορίζεται ως τα οικιακά απόβλητα εκτός αυτά που παράγονται στην τουαλέτα και στην κουζίνα). Για να κριθεί κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση το επεξεργασμένο νερό πρέπει να τηρεί τα όρια ποιότητας που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.16. Συγκεκριμένα, για το γκρίζο νερό προτείνεται να ελέγχεται ο αριθμός των θερμοανθεκτικών κολοβακτηριδίων, αντί των E. Coli. Με σκοπό την επίτευξη των ορίων του Πίνακα 2.16, απαιτείται να έχει διαπιστευτεί το σύστημα επεξεργασίας, το σύστημα σωληνώσεων και το σύστημα της παρακολούθησης των χαρακτηριστικών της εκροής του συστήματος.

Πίνακας 2.16 Όρια επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων οικιακών υγρών αποβλήτων για τον καθαρισμό της τουαλέτας, στον Καναδά (www.healthcanada.gc.ca)

Παράμετρος	Διάμεση τιμή	Μέγιστη τιμή
BOD ₅ (mg/L)	≤10	≤20
SS (mg/L)	≤10	≤20
Θολότητα (NTU)	≤2	≤5
E. Coli (CFU/100 mL)	Μη ανιχνεύσιμος	≤200
Θερμοανθεκτικά κολοβακτηρίδια (CFU/100 mL)	Μη ανιχνεύσιμος	≤200
Υπολειμματικό Cl ₂ (mg/L)		≥0,5

Κεφάλαιο 3: Πειραματικό πρωτόκολλο και εργαστηριακές μέθοδοι

3.1 Χαρακτηρισμός γκρίζου νερού και περιγραφή διαδικασίας δειγματοληψιών

Στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού (παροχή, γενικά χαρακτηριστικά και χημικές παράμετροι) καθώς και των χαρακτηριστικών των επιμέρους ροών του.

Για τον σκοπό αυτό, στα πλαίσια της εργασίας αναλύθηκαν δείγματα λυμάτων που προέρχονταν από τέσσερις πηγές γκρίζου νερού (κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρα), τα οποία συλλέχθηκαν από τρεις οικίες με διαφορετική σύνθεση κατοίκων. Συγκεκριμένα, η οικία Α αφορά μία μονομελή οικογένεια, η οικία Β μία διμελή οικογένεια ενηλίκων και η οικία Γ μία τετραμελή οικογένεια, με δύο παιδιά. Όλες οι οικίες διαθέτουν πλυντήριο ρούχων, ενώ η οικία Γ διαθέτει επίσης πλυντήριο πιάτων. Από κάθε οικία ελήφθησαν δείγματα τέσσερις διαφορετικές ημέρες, θεωρώντας πως κάθε ημέρα δειγματοληψίας είναι μία τυπική ημέρα της εβδομάδας.

3.1.1 Προσδιορισμός παραγόμενης ποσότητας γκρίζου νερού και οικιακών λυμάτων

Για τον προσδιορισμό της παροχής των οικιακών λυμάτων και του γκρίζου νερού (L/ημέρα), πραγματοποιήθηκε καταγραφή των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται σε κάθε οικία και αφορούν στην παραγωγή υγρών αποβλήτων, για μία εβδομάδα.

Οι δραστηριότητες που καταγράφονται είναι οι εξής:

- (α) χρήση κουζίνας (νεροχύτη και πλυντηρίου πιάτων)
- (β) χρήση μπανιέρας/ντους
- (γ) χρήση πλυντηρίου ρούχων
- (δ) χρήση νιπτήρα
- (ε) χρήση τουαλέτας

Προσδιορισμός παραγόμενης ποσότητας λυμάτων από τη χρήση του νεροχύτη, της μπανιέρας και του νιπτήρα

Σε καθημερινή βάση, σε κάθε οικία καταγράφηκε η διάρκεια χρήσης κάθε βρύσης. Συγκεκριμένα, όσο αφορά στη χρήση του νεροχύτη και του νιπτήρα η διάρκεια χρήσης προέκυψε ως το άθροισμα της διάρκειας των επιμέρους δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται σε αυτούς και οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Η μέση ημερήσια διάρκεια χρήσης κάθε βρύσης προέκυψε ως μέσος όρος των μετρήσεων των επτά ημερών καταγραφής.

Επιπλέον σε κάθε οικία υπολογίστηκε η παροχή κάθε βρύσης ως ο όγκος νερού που καταναλώνεται ανά 15 δευτερόλεπτα ρυθμίζοντας τη ροή της βρύσης στην παροχή χρήσης. Η παροχή για κάθε βρύση μετρήθηκε τρεις φορές και η παροχή που χρησιμοποιείται στη διπλωματική εργασία προέκυψε ως μέσος όρος των τριών μετρήσεων.

Η παροχή ανά πηγή προέλευσης γκρίζου νερού (L/ημέρα) προέκυψε ως το γινόμενο της παροχής της βρύσης και της μέσης ημερήσιας διάρκειας χρήσης αυτής.

Προσδιορισμός παραγόμενης ποσότητας λυμάτων από τη χρήση του πλυντηρίου ρούχων, του πλυντηρίου πιάτων και της τουαλέτας

Σε αυτήν την περίπτωση, καταγράφηκε καθημερινά ανά οικία ο αριθμός των χρήσεων. Ο μέσος ημερήσιος αριθμός χρήσεων προέκυψε ως μέσος όρος των επτά ημερών καταγραφής. Επίσης, έχει προσεγγιστεί ο όγκος νερού που καταναλώνεται ανά χρήση. Επομένως, η μέση ημερήσια κατανάλωση υπολογίστηκε ως το γινόμενο του όγκου νερού που καταναλώνεται ανά χρήση επί τον μέσο ημερήσιο αριθμό των χρήσεων.

Προσδιορισμός παραγόμενης ποσότητας γκρίζου νερού και οικιακών λυμάτων

Η ημερήσια παραγόμενη ποσότητα οικιακών λυμάτων προσδιορίστηκε ως το άθροισμα της ποσότητας όλων των παραγόμενων λυμάτων εντός κάθε οικίας. Για τον προσδιορισμό της ποσότητας γκρίζου νερού, αθροίστηκε ο όγκος των παραγόμενων λυμάτων εκτός του μαύρου νερού.

Πίνακας 3.1 Δραστηριότητες ανά πηγή γκρίζου νερού

<i>Νεροχύτης</i>	<i>Νιπτήρας</i>
Πλύσιμο πιάτων	Πλύσιμο δοντιών
Πλύσιμο φρούτων/λαχανικών	Πλύσιμο χεριών
Προετοιμασία φαγητού	Ξύρισμα
Πλύσιμο χεριών	

3.1.2 Διαδικασία δειγματοληψιών με σκοπό τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού

Κατά τη διάρκεια κάθε δειγματοληψίας, συλλέγονταν από κάθε οικία τέσσερα δείγματα σε συλλέκτες περιεκτικότητας 1,5 L (ένα δείγμα ανά πηγή προέλευσης). Τα δείγματα της κουζίνας προέρχονταν αποκλειστικά από τον νεροχύτη, καθώς δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από το πλυντήριο πιάτων. Η σύνθεση των δειγμάτων του νεροχύτη και του νιπτήρα βασίστηκε στην ποσοστιαία συνεισφορά κάθε δραστηριότητας που λαμβάνει χώρα σε αυτούς. Το ποσοστό συνεισφοράς κάθε δραστηριότητας βασίστηκε στην εβδομαδιαία καταγραφή της διάρκειας των δραστηριοτήτων ανά οικία. Όσο αφορά στο πλυντήριο ρούχων και στη μπανιέρα λαμβάνονταν ομογενοποιημένα δείγματα, με τη λήξη της δραστηριότητας, αφού είχαν συλλεχθεί λύματα που παράγονταν καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης.

Τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν σε κάθε δείγμα γκρίζου νερού είναι αυτά που καταγράφονται στον Πίνακα 3.2 και το πρωτόκολλο των μεθόδων περιγράφεται στην Ενότητα 3.3.

Καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα συλλογής ομογενοποιημένου δείγματος γκρίζου νερού από όλες τις ροές εντός μίας οικίας, τα χαρακτηριστικά του ομογενοποιημένου δείγματος γκρίζου νερού (το οποίο στη συνέχεια της εργασίας αναφέρεται ως μικτό γκρίζο νερό και περιλαμβάνει διάφορες ροές), προέκυψε έμμεσα με βάση την ημερήσια συνεισφορά κάθε ροής στη συνολική παραγόμενη ποσότητα γκρίζου νερού.

Πίνακας 3.2 Παράμετροι που μελετήθηκαν κατά τον χαρακτηρισμό του γκρίζου νερού

Αγωγιμότητα	pH
Ολικό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD _t)	Νιτρώδες άζωτο (NO ₂ -N)
Διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (COD _s)	Νιτρικό άζωτο (NO ₃ -N)
Βαρέα μέταλλα (Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Cu)	Αμμωνιακό άζωτο (NH ₄ -N)
Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (BOD ₅)	Ολικό άζωτο (TN)
Ολικός φώσφορος (TP)	Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN)
Διαλυτός φώσφορος (PO ₄ -P)	Αιωρούμενα ολικά στερεά (TSS)
Ανιονικές Τασιενεργές ενώσεις (LAS)	Αιωρούμενα πτητικά στερεά (VSS)
Μικροοργανικές ενώσεις (NP, NP1EO, NP2EO, BPA, TCS)	Ολικά στερεά (TS)

3.2 Περιγραφή εργαστηριακού συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού

3.2.1 Λύματα προς επεξεργασία

Στόχο της πειραματικής διαδικασίας αποτέλεσε επίσης η επεξεργασία γκρίζου νερού που προέρχεται από το μπάνιο (τον νιπτήρα και τη μπανιέρα) με τη χρήση φίλτρων άμμου και ενεργού άνθρακα. Όπως αναφέρεται στην Ενότητα 3.1, έπειτα από εβδομαδιαία καταγραφή της κατανάλωσης γκρίζου νερού σε τρεις οικίες προέκυψε η ποσοστιαία συνεισφορά κάθε ροής (μπανιέρα, νεροχύτης, νιπτήρας, πλυντήριο ρούχων) στη συνολική κατανάλωση γκρίζου νερού ανά ημέρα. Η αναλογία της ροής της μπανιέρας και του νιπτήρα από την καταγραφή αυτή προέκυψε κατά προσέγγιση 2:1. Σε αυτή την παρατήρηση βασίστηκε η σύνθεση των ανεπεξέργαστων λυμάτων που εισέρχονταν στο σύστημα, τα οποία προέρχονταν από τις τρεις οικίες (Α, Β και Γ). Τα χαρακτηριστικά των ανεπεξέργαστων λυμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 Χαρακτηριστικά ανεπεξέργαστων λυμάτων στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας

Αγωγιμότητα	326±23,2	μS/cm
Θολότητα	80,8±52,3	NTU
TSS	70,2±53,0	mg/L
VSS	59,3±50,8	mg/L
COD _t	337±121	mg/L
COD _s	167±53,8	mg/L
LAS	55±22	mg/L

3.2.2 Περιγραφή συστήματος επεξεργασίας

Το σύστημα επεξεργασίας αποτελείται από μία δεξαμενή καθίζησης και δύο πιλοτικές στήλες, μία εκ των οποίων (Σχήμα 3.1, Στήλη 1) έχει πληρωθεί με άμμο, ενώ η δεύτερη (Σχήμα 3.1, Στήλη 2) με κοκκώδη ενεργό άνθρακα (GAC).



Σχήμα 3.1 Εγκατάσταση επεξεργασίας γκρίζου νερού

Κάθε στήλη έχει χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4. Η άμμος που χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση του πιλοτικού συστήματος είναι φυσική χαλαζιακή (Πίνακας 3.5), με στρογγυλεμένους κόκκους, κατάλληλη για δύλιση νερού, ενώ ο ενεργός άνθρακας είναι τύπου Filtracarb CC60 (Πίνακας 3.6). Το ύψος του φίλτρου άμμου είναι 60 cm, ωστόσο για να μην διαφεύγουν κόκκοι άμμου στην εκροή, στο κάτω μέρος της στήλης έχει τοποθετηθεί στρώμα υαλοβάμβακα 5 cm και πάνω από αυτό στρώμα χαλικιών ύψους 5 cm. Το φίλτρο του ενεργού άνθρακα έχει ύψος 60 cm και στο κάτω μέρος της στήλης έχει τοποθετηθεί στρώμα υαλοβάμβακα 10 cm.

Πίνακας 3.4 Χαρακτηριστικά πιλοτικών στηλών

Υλικό κατασκευής	Plexiglas
Ύψος στήλης	1,40 m
Διάμετρος	5 cm
Επιφάνεια στήλης	19,63 cm ²
Συνολικός όγκος στήλης	2748 cm ³

Πίνακας 3.5 Χαρακτηριστικά χαλαζιακής άμμου

Προμηθευτής	Στρουμπούλης Ε.Π.Ε
Διάμετρος κόκκων	0,5-1,0 mm

Πίνακας 3.6 Χαρακτηριστικά κοκκώδους ενεργού άνθρακα GAC

Προμηθευτής	CHEMiTEC
Τύπος	Filtracarb CC60
Μέγεθος κόκκων	12 x 40 mesh
Κατηγορία ενεργού άνθρακα	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 σφου	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 τροφοδότηση της εγκατάστασης με λύματα επιλέχθηκε να πραγματοποιείται τέσσερις ημέρες την εβδομάδα. Στη συνέχεια περιγράφεται η λειτουργία της εγκατάστασης.

3.2.3 Περιγραφή της λειτουργίας της εγκατάστασης επεξεργασίας και της δειγματοληψίας

Τα ανεπεξέργαστα λύματα διοχετεύονται σε δεξαμενή καθίζησης με ωφέλιμο όγκο 3,5 L. Τα λύματα παραμένουν σε αυτή 20 ώρες. Έπειτα με τη χρήση περισταλτικής αντλίας (Σχήμα 3.2) 7 L λυμάτων τροφοδοτούνται στη στήλη που έχει πληρωθεί με άμμο με παροχή 2,9 m³/h, στο επάνω μέρος της στήλης. Η έξοδος των λυμάτων από αυτό (κάτω μέρος της στήλης) αποτελεί την είσοδο των λυμάτων στη δεύτερη στήλη που περιέχει τον ενεργό άνθρακα. Η ροή των

λυμάτων από την πρώτη στη δεύτερη στήλη πραγματοποιείται με φυσική ροή. Η είσοδος των λυμάτων πραγματοποιείται στο επάνω μέρος και σε αυτή τη στήλη.

Τα φίλτρα είναι πάντα καλυμμένα με λύματα ακόμα και όταν η εγκατάσταση είναι εκτός λειτουργίας. Η ελάχιστη στάθμη πάνω από το φίλτρο άμμου είναι 10 cm και πάνω από το φίλτρο ενεργού άνθρακα 7 cm.



Σχήμα 3.2 Περισταλτική αντλία

Σε εβδομαδιαία βάση, πραγματοποιούνται δύο δειγματοληψίες κατά τις οποίες συλλέγονται δείγματα από τέσσερα σημεία: την είσοδο των ανεπεξέργαστων λυμάτων στην εγκατάσταση, τη δεξαμενή καθίζησης, την έξοδο από το φίλτρο άμμου και την έξοδο από το φίλτρο ενεργού άνθρακα. Το δείγμα από τη δεξαμενή καθίζησης συλλέγεται μετά από παραμονή 20 ωρών των λυμάτων σε αυτή. Τα δείγματα από την εκροή του φίλτρου άμμου και του φίλτρου ενεργού άνθρακα συλλέγονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης. Το δείγμα της τελικής εξόδου (έξοδος φίλτρου ενεργού άνθρακα) συλλέγεται από τον ογκομετρικό κύλινδρο του Σχήματος 3.1, ώστε το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό της δεξαμενής εξόδου. Για κάθε δείγμα προσδιορίζεται η θολότητα, η αγωγιμότητα, η συγκέντρωση των αιωρούμενων ολικών και πτητικών στερεών, το ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο καθώς και η συγκέντρωση των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων. Επιπλέον, σε ορισμένο αριθμό δειγμάτων που προέρχονται από όλες τις θέσεις δειγματοληψίας πραγματοποιείται προσδιορισμός των μικροοργανικών ενώσεων και του αμμωνιακού αζώτου και σε ορισμένα δείγματα εξόδου πραγματοποιούνται μικροβιολογικές αναλύσεις. Οι εργαστηριακές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για το χαρακτηρισμό των δειγμάτων περιγράφονται στην Ενότητα 3.3.

3.2.4 Έκπλυση φίλτρων άμμου και ενεργού άνθρακα

Καθημερινά κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας καταγράφεται η μέγιστη στάθμη λυμάτων πάνω από τα φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα. Όταν σημειώνεται μέγιστη στάθμη ίση ή μεγαλύτερη των 60 cm σε ένα από τα δύο φίλτρα, πραγματοποιείται έκπλυση του φίλτρου αυτού.

3.3 Εργαστηριακές μέθοδοι

3.3.1 Προσδιορισμός στερεών (TS, TSS, VSS)

Για τον προσδιορισμό των ολικών στερεών πορσελάνη κάψα προξηραίνεται στους 103°C για μία ημέρα. Στη συνέχεια, τοποθετείται σε ξηραντήρα για 1 hr και ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας. Συγκεκριμένος όγκος δείγματος προστίθεται στην κάψα και ακολουθεί ξήρανση του δείγματος στους 103°C για μία ημέρα. Η κάψα τοποθετείται στον ξηραντήρα για 1 hr και έπειτα ζυγίζεται στον αναλυτικό ζυγό. Η συγκέντρωση των ολικών στερεών (TS) προκύπτει από τη σχέση:

$$TS (mg/L) = \frac{\text{Τελική Ζύγιση (g)} - \text{Αρχική Ζύγιση (g)}}{\text{όγκος δείγματος (mL)}} \cdot 10^6$$

Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται ο κύριος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των ολικών στερεών.



Σχήμα 3.3 Προσδιορισμός ολικών στερεών με τη χρήση φούρνου 103°C (αριστερά), ξηραντήρα (κέντρο) και ζυγού ακριβείας (δεξιά)

Για τον προσδιορισμό των αιωρούμενων ολικών στερεών χρησιμοποιούνται φίλτρα GF/C τα οποία προξηραίνονται σε φούρνο των 550°C για 15 min. Έπειτα από τον φούρνο των 550°C, το προξηραμένο φίλτρο τοποθετείται στον ξηραντήρα για 15 min και στη συνέχεια καταγράφεται το βάρος του (βάρος καθαρού φίλτρου). Το καθαρό φίλτρο τοποθετείται στη μονάδα διήθησης (Σχήμα 3.4) και χρησιμοποιώντας την αντλία κενού διηθείται κατάλληλη ποσότητα δείγματος. Το φίλτρο αφαιρείται με τη λαβίδα και τοποθετείται στο φούρνο των 103°C για 1 hr και αφού παραμείνει στον ξηραντήρα για 15 min, ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό ακριβείας (βάρος φίλτρου₁₀₃).

Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS) προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$TSS (mg/L) = \frac{\text{βάρος φίλτρου}_{103} (g) - \text{βάρος καθαρού φίλτρου (g)}}{\text{όγκος δείγματος (mL)}} \cdot 10^6$$



Σχήμα 3.4 Συσκευή διήθησης

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας προσδιορισμού των ολικών αιρούμενων στερεών, το φίλτρο με το δείγμα τοποθετείται στον φούρνο των 550°C (Σχήμα 3.5) για 15 min, με σκοπό τον προσδιορισμό των πτητικών αιωρούμενων στερεών. Στη συνέχεια, το φίλτρο τοποθετείται για 15 min στον ξηραντήρα και ζυγίζεται με αναλυτικό ζυγό ακριβείας (βάρος φίλτρου₅₅₀).

Η συγκέντρωση των πτητικών αιρούμενων στερεών (VSS) προκύπτει από την σχέση:

$$VSS (mg/L) = \frac{\text{βάρος φίλτρου}_{103} (g) - \text{βάρος φίλτρου}_{550} (g)}{\text{όγκος δείγματος (mL)}} \cdot 10^6$$



Σχήμα 3.5 Φούρνος 550°C

3.3.2 Προσδιορισμός χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD)

Η μέτρηση του ολικού και διαλυτού COD πραγματοποιείται με τη χρήση αντιδραστηρίων της Hach με κωδικό LCK 114 για εύρη τιμών 150-1000 mg/L O₂ και LCK 314 για εύρη τιμών 15-150 mg/L O₂ (Σχήμα 3.6).

Κατά τον προσδιορισμό του ολικού COD (COD_t), 2 mL δείγματος εισάγονται σε φιαλίδιο της Hach που εμπεριέχει το αντιδραστήριο. Το φιαλίδιο ανακινείται καλά και τοποθετείται σε συσκευή χώνευσης (Σχήμα 3.6), όπου θερμαίνεται για 2 hr στους 150°C. Στη συνέχεια, η

συγκέντρωση COD προσδιορίζεται με τη χρήση φασματοφωτόμετρου HACH DR2800. Για εύρη τιμών 150-1000 mg/L O₂ (LCK 114), επιλέγεται μήκος κύματος λ=605 nm και καταγράφεται η τιμή της απορρόφησης. Για εύρη τιμών 15-150 mg/L O₂ (LCK 314) επιλέγεται μήκος κύματος λ=448 nm.



Σχήμα 3.6 Αντιδραστήρια Hach για τον προσδιορισμό COD (αριστερά), φασματοφωτόμετρο (κέντρο) και χωνευτής (δεξιά)

Το διαλυτό COD (COD_s) προσδιορίζεται ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε για τη μέτρηση του ολικού COD, χρησιμοποιώντας ωστόσο 2 mL δείγματος διηθημένου από μεμβράνες 0,45 μm, με τη χρήση αντλίας κενού.

3.3.3 Προσδιορισμός βιοχημικός απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅)

Κατά τον προσδιορισμό του βιοχημικός απαιτούμενου οξυγόνου BOD₅ κατάλληλη ποσότητα δείγματος μεταφέρεται σε δοχείο συγκεκριμένου μεγέθους (~300 mL) μαζί με αραιωτικό υγρό και μικροοργανισμούς και μετράται η αρχική συγκέντρωση οξυγόνου του διαλύματος. Στη συνέχεια σφραγίζονται αεροστεγώς και τοποθετούνται σε επωαστήρα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (20±1°C) για 5 μέρες. Το διαλυμένο οξυγόνο (DO) μετράται ξανά μετά την επώαση. Η τελική συγκέντρωση καθορίζεται από τη διαφορά μεταξύ του μέγιστου αρχικού διαλυμένου οξυγόνου (δηλαδή 7-9 mg/L) και του ελάχιστου υπολειπόμενου DO (δηλαδή 1 mg/L), μετά τη διόρθωση για την αραιώση.

3.3.4 Προσδιορισμός αμμωνιακού (NH₄-N), νιτρικού (NO₃-N) και νιτρώδους αζώτου (NO₂-N).

Για τον προσδιορισμό του αμμωνιακού, νιτρικού και νιτρώδους αζώτου, κατάλληλη ποσότητα δείγματος διηθείται από μεμβράνες με μέγεθος πόρων 0,45 μm με τη βοήθεια αντλίας κενού.

Το αμμωνιακό άζωτο NH₄-N προσδιορίζεται με τη χρήση αντιδραστηρίων της Hach με κωδικό LCK 304. Κατά τη μέτρηση, 5 mL διηθημένου δείγματος εισάγονται σε φιαλίδιο που περιέχει το αντιδραστήριο της Hach. Το φιαλίδιο ανακινείται καλά και έπειτα από 15 min αναμονής, 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 NH₄-N.

Το νιτρικό άζωτο NO₃-N προσδιορίζεται επίσης με τη χρήση αντιδραστηρίων της Hach Lange με κωδικό LCK 339. 1 mL διηθημένου δείγματος και 0,2 mL του διαλύματος που

εμπεριέχεται στη συσκευασία εισάγονται σε φιαλίδιο που περιέχει το αντιδραστήριο της Hach. Το φιαλίδιο ανακινείται καλά. Έπειτα από 15 min αναμονής, το φιαλίδιο τοποθετείται σε φασματοφωτόμετρο τύπου HACH DR2800 και καταγράφεται η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου. Το εύρος τιμών που μετράται είναι μεταξύ 0,23-13,50 mg/L NO₃-N.

Για τον προσδιορισμό του νιτρώδους αζώτου NO₂-N, χρησιμοποιούνται αντιδραστήρια NitriVer3 της Hach. Ο μηδενισμός του φασματοφωτόμετρου πραγματοποιείται με την τοποθέτηση κυψελίδας η οποία περιέχει 10 mL διηθημένου δείγματος χωρίς την προσθήκη αντιδραστήριου. Στη συνέχεια, αντιδραστήριο σε μορφή σκόνης προστίθεται σε 10 mL διηθημένου δείγματος. Το διάλυμα ανακινείται καλά και ακολουθούν 20 min αναμονής. Το διάλυμα δείγματος-αντιδραστήριου τοποθετείται σε κυψελίδα και προσδιορίζεται με τη βοήθεια του φασματοφωτόμετρου η συγκέντρωση του νιτρώδους αζώτου στο δείγμα. Η μέθοδος εφαρμόζεται για συγκεντρώσεις 0,010-0,300 mg/L NO₂-N.

3.3.5 Προσδιορισμός pH, αγωγιμότητας και θολότητας

Ο προσδιορισμός του pH πραγματοποιείται με τη χρήση της φορητής συσκευής WTW pH 315i (Σχήμα 3.7). Το pH προσδιορίζεται βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο της συσκευής σε κάθε δείγμα, έπειτα από ανάδευση. Μετά τη χρήση, το ηλεκτρόδιο ξεπλένεται με απιονισμένο νερό. Το ηλεκτρόδιο συντηρείται εμβαπτισμένο σε διάλυμα KCl και σε κατακόρυφη θέση.

Η αγωγιμότητα προσδιορίζεται με όμοιο τρόπο με τη χρήση της συσκευής WTW Multi 3410 (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7 pH-μετρο WTW (αριστερά), αγωγιμόμετρο WTW (κέντρο) και θολόμετρο Hach 2100P (δεξιά)

Η μέτρηση της θολότητας γίνεται νεφελομετρικά με τη χρήση του θολόμετρου Hach 2100P (Σχήμα 3.7). Κατά την νεφελομετρική μέθοδο μετράται η ένταση του φωτός που διαθλάται καθώς μια δέσμη φωτός σταθερής έντασης περνά διαμέσου του δείγματος. Κατά τη μέτρηση, 10 mL δείγματος εισάγονται σε ειδική κυψελίδα. Στη συνέχεια, τοποθετείται στο θολόμετρο και καταγράφεται η τιμή της θολότητας σε NTU.

3.3.6 Προσδιορισμός ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS)

Για τον προσδιορισμό των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων (LAS) χρησιμοποιούνται αντιδραστήρια της Hach με κωδικό LCK 332, για τιμές συγκέντρωσης 0,05-2,0 mg/L. Κατά την ανάλυση, 3,5 mL δείγματος εισάγονται σε φιαλίδιο που εμπεριέχει το αντιδραστήριο. Στη συνέχεια, στο φιαλίδιο προστίθενται τα αντιδραστήρια της HACH (Σχήμα 3.8). Το φιαλίδιο ανακινείται καλά για 1 min και έπειτα αφήνεται σε ηρεμία για 30 sec και με τη χρήση

φασματοφωτόμετρου HACH DR2800 προσδιορίζεται η τιμή της συγκέντρωσης των ανιονικών τασιενεργών.



Σχήμα 3.8 Αντιδραστήρια προσδιορισμού ανιονικών τασιενεργών της Hach

3.3.7 Προσδιορισμός ολικού (TP) και διαλυτού φωσφόρου (PO_4-P)

Ο ολικός φώσφορος προσδιορίζεται με τη χρήση αντιδραστηρίων της Hach με κωδικό LCK 349 για εύρη τιμών 0,05-1,5 mg/L PO_4-P και LCK 348 για συγκεντρώσεις 0,5-5,0 mg/L PO_4-P . Κατά τη μέτρηση, 0,5 mL δείγματος εισάγονται στο φιαλίδιο της Hach και αφού προστεθεί το αντιδραστήριο σε σκόνη, το φιαλίδιο ανακινείται καλά και τοποθετείται σε συσκευή χώνευσης. Στη συνέχεια, εφόσον το δείγμα βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, προστίθενται 0,2 mL αντιδραστηρίου και με το πέρας 10 λεπτών μετράται η συγκέντρωση του φωσφόρου.

Ο διαλυτός φώσφορος προσδιορίζεται με την ίδια μέθοδο, χρησιμοποιώντας διηθημένο δείγμα από μεμβράνες 0,45 μm .

3.3.8 Προσδιορισμός ολικού κατά Kjeldahl αζώτου (TKN)

Το ολικό κατά Kjeldahl άζωτο (TKN), ορίζεται ως το άθροισμα του οργανικού αζώτου και του αμμωνιακού αζώτου. 50 mL δείγματος εισάγονται σε συσκευή χώνευσης BUCHI και παρουσία θειικού οξέος (H_2SO_4), θειικού καλίου (K_2SO_4) και θειικού χαλκού ($CuSO_4$) σαν καταλύτη, το άζωτο πολλών οργανικών ενώσεων μετατρέπεται σε αμμώνιο, καθώς επίσης και η ελεύθερη αμμωνία. Στη συνέχεια, σε συσκευή απόσταξης BUCHI, μετά την προσθήκη βάσης, η αμμωνία που παράχθηκε αποστάζεται και συλλέγεται σε φιάλη που περιέχει βορικό οξύ. Η αμμωνία προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά με τη μέθοδο Nessler.

3.3.9 Προσδιορισμός βαρέων μετάλλων

Ο προσδιορισμός των μετάλλων πραγματοποιείται με τη φασματομετρική μέθοδο της ατομικής απορρόφησης. Ανάλογα με την αναμενόμενη συγκέντρωση και το είδος του προς προσδιορισμό μετάλλου ακολουθούνται διαφορετικές τεχνικές που εξασφαλίζουν το κατάλληλο περιβάλλον για την ατομοποίηση και μέτρηση της μάζας. Οι τεχνικές αυτές είναι η τεχνική φούρνου γραφίτη και φλόγας. Πιο συγκεκριμένα με την τεχνική του φούρνου γραφίτη προσδιορίζονται τα βαρέα μέταλλα του καδμίου, του μολύβδου, του νικελίου, του χαλκού και του χρωμίου. Με την τεχνική της φλόγας προσδιορίζεται ο ψευδάργυρος.

Για τον προσδιορισμό των μετάλλων με την τεχνική της φλόγας το δείγμα μεταφέρεται σε σύστημα καύσης με φλόγα (ακετυλενίου–αέρα ή πρωτοξείδιο του αζώτου-ακετυλενίου) σε υψηλή θερμοκρασία (Σχήμα 3.9), ατομοποιείται και μετράται η απορρόφηση ακτινοβολίας (η οποία παράγεται από εξωτερική πηγή –λυχνία HC) που προκαλεί.

Στην περίπτωση της τεχνικής του φούρνου γραφίτη (Σχήμα 3.9) η ατομοποίηση του δείγματος πραγματοποιείται εντός λεμβιδίου από γραφίτη του οποίου η θερμοκρασία αυξάνει απότομα καθώς διαβιβάζεται ρεύμα υψηλής έντασης και στη συνέχεια μετράται η απορρόφηση της ακτινοβολίας που προκαλεί.



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

3.3.10 Προσδιορισμός μικροοργανικών ενώσεων

Για τον προσδιορισμό των μικροοργανικών ενώσεων, χρησιμοποιείται αέρια χρωματογραφία. Προτού τα δείγματα εισαχθούν στον αέριο φασματογράφο GC-MC, προηγείται η εκχύλιση της στερεάς φάσης των δειγμάτων.

Τα δείγματα συλλέγονται από τις τρεις οικίες σε γυάλινους περιέκτες. Στη συνέχεια διηθούνται από μεμβράνες 0,45 μm και ακολουθεί προσθήκη HCl σε αυτά με στόχο να επιτευχθεί pH μικρότερο από 2,5. Η εκχύλιση πραγματοποιείται με τη χρήση συσκευής κενού, στην οποία τοποθετούνται στήλες C18, 500 mg 6 mL (Σχήμα 3.10). Κάθε στήλη ενεργοποιείται με τη διέλευση 6 mL οξικού αιθυλεστέρα (3·2 mL), 6 mL μεθανόλης (3·2 mL) και 6 mL υπερκάθολου νερού (3·2 mL), με φυσική ροή. Έπειτα, αφού προσαρμοστούν στις στήλες σύριγγες χωρητικότητας 50 mL, 100 mL δείγματος διέρχονται από τη στήλη. Αφού αυτή στεγνώσει, γίνεται έκπλυση της στήλης με 2 mL όξινου υπερκάθολου νερού (pH=2.5) και προσαρμόζεται στη συσκευή αντλία ώστε να ξηρανθούν οι στήλες. Έπειτα, προστίθενται στις στήλες 6ml (3·2mL) οξικού αιθυλεστέρα ώστε οι ουσίες να εκχυλιστούν και να καταλήξουν σε σκουρόχρωμα φιαλίδια. Τέλος τα φιαλίδια αποθηκεύονται στην κατάψυξη μέχρι να αναλυθούν με τη χρήση του αέριου φασματογράφου GC-MC.



Σχήμα 3.10 Συσκευή εκχύλισης κενού

Μετά τη διαδικασία της εκχύλισης ακολουθεί η παραγωγοποίηση των δειγμάτων. Αρχικά τα δείγματα υφίστανται εξάτμιση έως ότου ξεραθούν με τη βοήθεια αζώτου (N₂). Στη συνέχεια προστίθεται 1 mL οξικού αιθυλεστέρα και το δείγμα αναδεύεται με vortex (δονητή δοκιμαστικών σωλήνων) για 30 sec. Έπειτα 1 mL δείγματος μεταγγίζεται από τα σκουρόχρωμα φιαλίδια σε διάφανα φιαλίδια με κωνικό πάτο και πραγματοποιείται η πλήρης εξάτμιση του δείγματος με χρήση αζώτου. Επιπλέον, γίνεται προσθήκη 60 μL εσωτερικών προτύπων (BPA και MCF). Επαναλαμβάνεται η πλήρης εξάτμιση του δείγματος με χρήση αζώτου.

Στη συνέχεια προστίθενται 50 μL BSTFA 1% TMCS καθώς και 10 μL πυριδίνης. Το δείγμα αναδεύεται με vortex και τοποθετείται σε λουτρό στους 70°C για 20 λεπτά. Το παραγωγοποιημένο δείγμα που προκύπτει αφήνεται για να επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 10 λεπτά και οδηγείται για ανάλυση στον αέριο χρωματογράφο.

Στην αέρια χρωματογραφία (GC–Gas Chromatography) ο διαχωρισμός των συστατικών (αέριων ή πτητικών) βασίζεται στην κατανομή τους μεταξύ ενός μη πτητικού υγρού (στατική φάση), καθηλωμένου στα τοιχώματα ανοικτών τριχοειδών στηλών, και ενός αερίου (κινητή φάση, φέρον αέριο). Ο διαχωρισμός οφείλεται στην κίνηση των συστατικών μέσα από τη στήλη με διαφορετικές ταχύτητες, που εξαρτώνται από την τάση ατμών των συστατικών και από τις αλληλεπιδράσεις τους με τη στατική φάση. Η αέρια χρωματογραφία κατανομής βασίζεται στη θεωρία των πλακών. Σύμφωνα με τη θεωρία των Martin et al. (1940), η κίνηση μιας ουσίας μέσα από τη χρωματογραφική στήλη μπορεί να θεωρηθεί ως μετακίνηση μέσω διαδοχικών θαλάμων (ζωνών) εξισορροπήσεως, που ονομάζονται θεωρητικές πλάκες. Ως θεωρητική πλάκα ορίζεται ο απαιτούμενος όγκος της στήλης, ώστε μέσα σε αυτόν να αποκαθίσταται η ισορροπία μεταξύ της στατικής και της κινητής φάσης. Η ισορροπία αυτή περιγράφεται από τον συντελεστή κατανομής:

$$K=C_S/C_M$$

Όπου C_S και C_M είναι οι συγκεντρώσεις του συστατικού στη στατική και στην κινητή φάση αντίστοιχα.

Όταν μια ουσία A εισάγεται στον αέριο χρωματογράφο, παρασυρόμενη από την κινητή φάση, εισέρχεται με αυτή στη στήλη. Στο θάλαμο 1, μέρος της ουσίας A διαλύεται στη διαλυτή φάση με ταχύτερη αποκατάσταση ισορροπίας μεταξύ των δύο φάσεων (συντελεστής K). Την επόμενη στιγμή, το μέρος της ουσίας A, που βρίσκεται στην αέρια φάση, παρασυρόμενο από το φέρον αέριο εισέρχεται στο θάλαμο 2, όπου μέρος του διαλύεται στην υγρή φάση με ταχύτερη αποκατάσταση ισορροπίας, ενώ συγχρόνως νέα αέρια φάση εισέρχεται στο θάλαμο 1, με αποκατάσταση νέας ισορροπίας. Την επόμενη στιγμή, το μέρος της ουσίας A που βρίσκεται στην αέρια φάση του θαλάμου 2, παρασυρόμενο εισέρχεται στο θάλαμο 3, με αποκατάσταση ισορροπίας σε αυτόν κ.ο.κ. Στην περίπτωση μίγματος ουσιών, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής K μιας ουσίας, τόσο βραδύτερα κινείται μέσα στη στήλη και τόσο βραδύτερα εξέρχεται από αυτήν, δηλαδή έχει μεγαλύτερο χρόνο συγκρατήσεως, t_R. Έτσι επιτυγχάνεται διαχωρισμός των συστατικών, λόγω διαφορετικών συντελεστών κατανομής. Η επιλογή του είδους της στήλης αποτελεί το πιο ουσιαστικό βήμα στην ανάλυση με αέρια χρωματογραφία. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι ο αριθμός θεωρητικών πλακών, το ύψος ισοδύναμο με μία θεωρητική πλάκα, η διαχωριστικότητα, η χωρητικότητα, ο απαιτούμενος χρόνος ανάλυσης.

Το φέρον αέριο αποτελεί την κινητή φάση και πρέπει να είναι χημικώς αδρανές έναντι του υλικού κατασκευής του μηχανήματος, του πληρωτικού υγρού της στήλης και των προς διαχωρισμό ουσιών. Η επιλογή του φέροντος αερίου γίνεται κυρίως βάσει του τύπου του ανιχνευτή, γιατί πρέπει να διαφέρει από τις διαχωριζόμενες ουσίες ως προς τουλάχιστον μία ιδιότητα όπως τη θερμική αγωγιμότητα ή την πυκνότητα στην οποία βασίζεται η λειτουργία του ανιχνευτή. Συνήθως χρησιμοποιούνται He, N₂, Ar, H₂, CO₂ με προτιμότερο το He, επειδή έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα και μικρή πυκνότητα, που επιτρέπει τη χρησιμοποίηση μεγαλύτερων ταχυτήτων ροής αερίου, με αντίστοιχη μείωση του χρόνου αναλύσεως. Το φέρον αέριο μεταφέρεται από τη φιάλη όπου βρίσκεται σε πίεση 100-200atm, μέσω ενός ρυθμιστή (μειωτήρα) πίεσεως, ο οποίος με τη βοήθεια ενδιάμεσων θαλάμων μειώνει δραστικά την πίεση στις 1 με 2 atm. Ένα ροόμετρο μέσα από το οποίο διέρχεται το αέριο μετράει με μεγάλη ακρίβεια την ταχύτητά του.

Το δείγμα εισάγεται στην αρχή της στήλης με μικροσύριγγα, μέσα από κατάλληλο στόμιο εισαγωγής που φράσσεται με παχύ διάφραγμα από θερμοανθεκτικό ελαστικό (septum), το οποίο επιτρέπει την είσοδο του δείγματος, αλλά όχι την έξοδο αυτού ή του φέροντος αερίου. Η εισαγωγή του δείγματος πρέπει να είναι ακαριαία, ο όγκος του ο μικρότερος δυνατός και ο χώρος εισαγωγής να θερμαίνεται υψηλότερα από τη θερμοκρασία της στήλης.

Ο χώρος εισαγωγής του δείγματος και η στήλη, καθώς και σε πολλούς αέριους χρωματογράφους και ο ανιχνευτής, θερμοστατούνται, συνήθως μεταξύ 50-300°C, είτε όλα μαζί είτε χωριστά. Η διαχωριστικότητα αυξάνεται όταν η θερμοκρασία ελαττώνεται, μείωση όμως της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση του χρόνου t_R , και επομένως αύξηση του χρόνου αναλύσεως. Όταν η θερμοκρασία της στήλης διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια της χρωματογράφησης, συχνά είναι δύσκολο να επιτευχθεί πλήρης διαχωρισμός και ανίχνευση των συστατικών ενός μίγματος όταν τα σημεία ζέσεως τους ή και οι πολικότητες τους καλύπτουν ευρείες περιοχές. Αυτό συμβαίνει γιατί οι κορυφές των πτητικότερων συστατικών (χαμηλά σημεία ζέσεως) εμφανίζονται η μία κοντά στην άλλη ή αλληλεπικαλύπτονται (μικρή διαχωριστικότητα), ενώ οι κορυφές των λιγότερο πτητικών ουσιών, είναι μικρού ύψους, πλατιές και σε ορισμένες περιπτώσεις απέχουν τόσο πολύ μεταξύ τους (υπέρμετρη διαχωριστικότητα), ώστε ενώσεις υψηλού σημείου ζέσεως να μην ανιχνεύονται. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η θερμοπρογραμματιζόμενη αέρια χρωματογραφία, όπου η θερμοκρασία μεταβάλλεται με βάση προκαθορισμένο πρόγραμμα.

Τα ηλεκτρόνια σχετικά υψηλής ενεργειακής στάθμης όταν προσκρούσουν σε μόρια μιας ενώσεως, που βρίσκεται σε αέρια φάση και σε συνθήκες υψηλού κενού, τα μόρια της ενώσεως μετατρέπονται σε ιόντα με θετικό, συνήθως, φορτίο. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ηλεκτρικών πεδίων, τα παραχθέντα ιόντα ευθυγραμμίζονται σε λεπτή δέσμη. Η δέσμη διέρχεται μέσω ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου, οπότε το κάθε ιόν, ανάλογα με το λόγο μάζα/ηλεκτρικό φορτίο (m/z), αποκλίνει από την αρχική κατεύθυνση. Με κατάλληλο ανιχνευτή μπορεί να μετρηθεί το ηλεκτρικό ρεύμα, που παρέχουν τα ιόντα με διαφορετικό λόγο m/z . Το αποτέλεσμα είναι ένα διάγραμμα που δείχνει την ένταση του μετρούμενου ρεύματος (πάντοτε σε σχετικές και όχι απόλυτες μονάδες), ως συνάρτηση του λόγου m/z και ονομάζεται φάσμα μαζών της ουσίας. Επειδή τα ιόντα που παράγονται φέρουν κατά κανόνα ένα φορτίο, ο λόγος m/z αντιστοιχεί αριθμητικά με το μοριακό βάρος του ιόντος.

Τα φασματομέτρα μαζών αποτελούνται από τα ακόλουθα κοινά και διακριτά τμήματα: α) Το σύστημα εισαγωγή του δείγματος, β) την πηγή ιόντων, γ) τον αναλυτή μαζών και δ) τον ανιχνευτή. Εκτός από αυτά τα τμήματα, κάθε φασματομέτρο μαζών περιλαμβάνει συστήματα

δημιουργίας υψηλού κενού, καθώς και συστήματα παρουσιάσεως των φασμάτων. Η φασματομετρία μαζών μπορεί να συνδυαστεί με την αέρια χρωματογραφία που σήμερα αποτελεί τη συνηθέστερη τεχνική για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση εξαιρετικά πολύπλοκων οργανικών ενώσεων. Το φασματόμετρο μαζών δρα ως ανιχνευτής εξαιρετικής επιλεκτικότητας για το χρωματογραφικό σύστημα. Ο αναλυτής μαζών του φασματόμετρου μαζών ρυθμίζεται έτσι, ώστε να επιτρέπει την ανίχνευση ιόντος με προκαθορισμένη τιμή m/z , οπότε πλέον το χρωματογράφημα παρέχει χρωματογραφικές κορυφές μόνο για τις ουσίες που παρέχουν το συγκεκριμένο ιόν.

Στην παρούσα εργασία η ανάλυση πραγματοποιείται με αέριο χρωματογράφο Agilent 7890A συζευγμένο με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C (Σχήμα 3.11). Η στήλη που χρησιμοποιείται είναι η DB5MS (30 m x 0,25 μm x 0,32 mm) από τη Supelco, USA. Το φέρον αέριο είναι το ήλιο (99,999 %) με μια σταθερή ροή 0,9 mL/min.



Σχήμα 3.11 Αέριος χρωματογράφος Agilent 7890A συζευγμένος με φασματογράφο μάζας Agilent 5975C

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση και ανάλυση αποτελεσμάτων

4.1 Χαρακτηριστικά γκρίζου νερού

4.1.1 Κατανομή γκρίζου νερού στις διάφορες οικιακές χρήσεις

Έπειτα από εβδομαδιαία παρατήρηση και καταγραφή της οικιακής υδατικής κατανάλωσης στις τρεις οικίες που περιγράφηκαν στην Ενότητα 3.1, διαπιστώθηκε ότι το γκρίζο νερό αποτελεί το 72% των υγρών οικιακών αποβλήτων, ποσοστό που αντιστοιχεί σε παροχή 98,1 L ανά κάτοικο και ημέρα (Πίνακας 4.1). Η παροχή γκρίζου νερού που προσεγγίστηκε στην παρούσα εργασία είναι σύμφωνη με τις περισσότερες αντίστοιχες τιμές που εντοπίστηκαν στη διεθνή βιβλιογραφία (Allen et al., 2010, Antonopoulou et al., 2013, www.yourhome.gov.au, Friedler et al., 2011), ενώ η παροχή που προέκυψε από την μελέτη των Palmquist and Hanæus (2005) είναι σχετικά μικρότερη, με μέση τιμή 66 L ανά κάτοικο και ημέρα.

Η ημερήσια παροχή γκρίζου νερού παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ανά ημέρα. Το εύρος τιμών που καταγράφηκε στις τρεις οικίες που μελετήθηκαν είναι 49,0 έως 166 L ανά κάτοικο και ημέρα. Στα Σχήματα 4.1-4.3 παρουσιάζεται η παροχή γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης και μέρα καταγραφής, σε L ανά ημέρα. Παρατηρείται ότι στις Οικίες Α και Β η έντονη διακύμανση της ημερήσιας παροχής του γκρίζου νερού στη διάρκεια της εβδομάδας οφείλεται κυρίως στη ροή του πλυντηρίου ρούχων, καθώς τις ημέρες όπου πραγματοποιείται χρήση του πλυντηρίου, η παροχή αυξάνεται κατά 48 L και 90 L αντίστοιχα, δηλαδή κατά τον όγκο νερού που καταναλώνεται ανά χρήση του πλυντηρίου. Αντίθετα, στην Οικία Γ όπου πραγματοποιείται καθημερινή χρήση του πλυντηρίου ρούχων, η τιμή της παροχής επηρεάζεται σημαντικά από την κατανάλωση που πραγματοποιείται στον νεροχύτη, καθώς αυτή παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα.

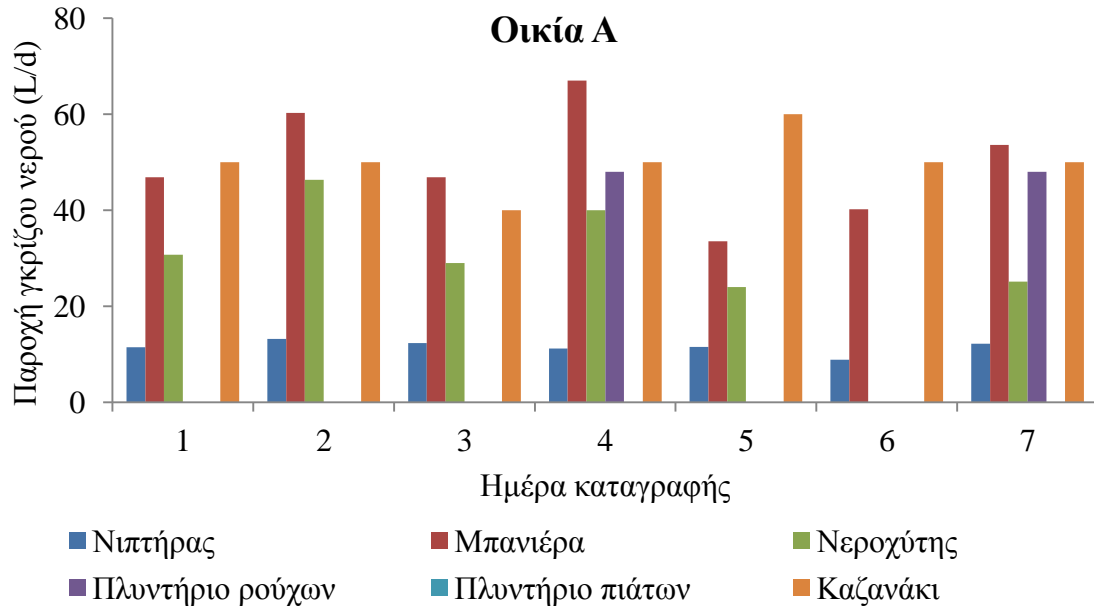
Η συνεισφορά γκρίζου νερού στο σύνολο του νερού που καταναλώνεται σε μία κατοικία σύμφωνα με τη βιβλιογραφία κυμαίνεται μεταξύ 50-80% (Πίνακας 4.2), συνεπώς το ποσοστό που προέκυψε στην παρούσα εργασία (72%) θεωρείται σχετικά υψηλό.

Πίνακας 4.1 Μέση παροχή γκρίζου νερού και μικτών οικιακών λυμάτων ανά κάτοικο και ημέρα (L ανά κάτοικο και ημέρα)

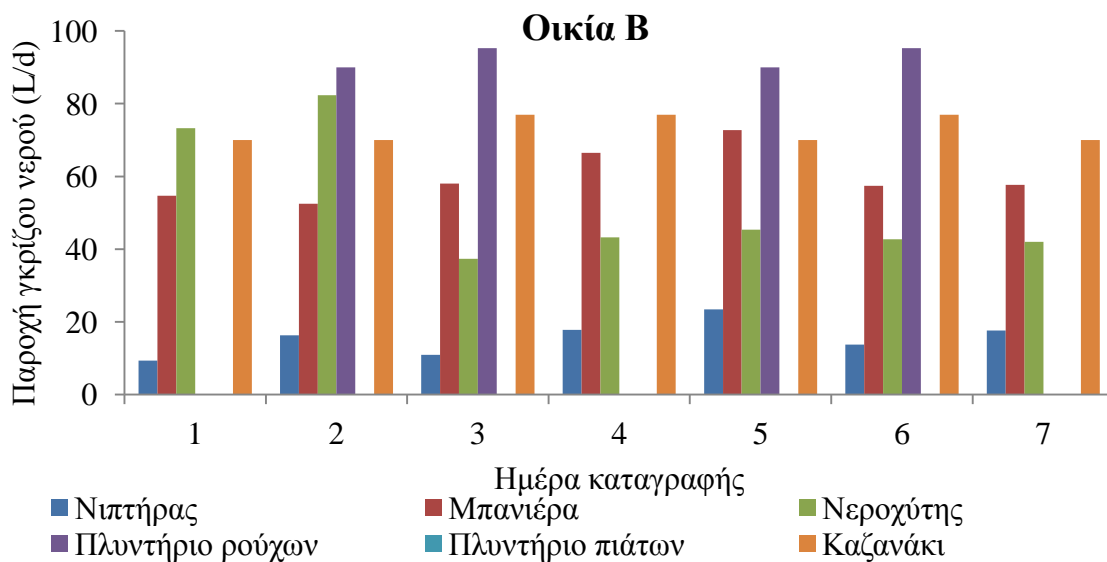
Αναφορά	Μέση παροχή γκρίζου νερού (L/p.e./d)	Μέση παροχή μικτών οικιακών λυμάτων (L/p.e./d)
Οικία Α	103±40,9	153±40,5
Οικία Β	90,4±26,0	127±26,0
Οικία Γ	101±21,2	126±21,5
Μέση παροχή (Α, Β και Γ)	98,1±29,5	135±31,6
Palmquist and Hanæus (2005)	66	94,5
Antonopoulou et al. (2013)	82,6±49,3	142±58,1
www.yourhome.gov.au	101	121
Allen et al. (2010)	150	220
Friedler et al. (2011)	100,4	138,1

Πίνακας 4.2 Ποσοστιαία συνεισφορά γκρίζου νερού στο σύνολο των υγρών οικιακών αποβλήτων

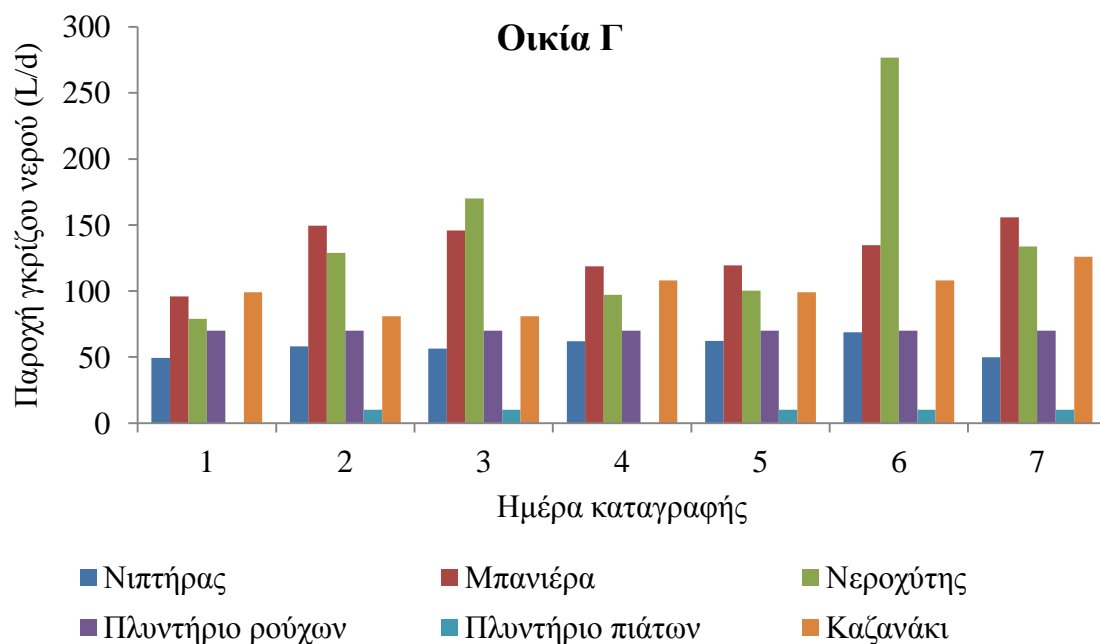
Οικία Α	Οικία Β	Οικία Γ	Μέση τιμή	Αναμενόμενη τιμή με βάση τη βιβλιογραφία
67%	71%	80%	72%	50-80%



Σχήμα 4.1 Παροχή γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης και ημέρα καταγραφής (L ανά ημέρα) – Οικία Α



Σχήμα 4.2 Παροχή γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης και ημέρα καταγραφής (L ανά ημέρα) – Οικία Β



Σχήμα 4.3 Παροχή γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης και ημέρα καταγραφής (L ανά ημέρα) – Οικία Γ

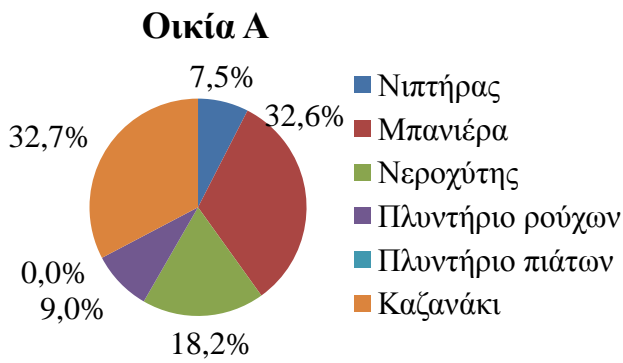
Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η κατανομή της οικιακής κατανάλωσης νερού (α, γ, ε) στις τρεις οικίες που μελετήθηκαν και η σύνθεση γκρίζου νερού (β, δ, στ) σε αυτές. Οι δραστηριότητες που συμβάλουν κυρίως στην παραγωγή γκρίζου νερού είναι η χρήση της μπανιέρας (32,5-48,4%) και του νεροχύτη (27,1-34,8%). Παρατηρείται ωστόσο ότι η κατανομή του γκρίζου νερού ανά δραστηριότητα διαφέρει σημαντικά ανά οικία και εξαρτάται κυρίως από τις συνήθειες των κατοίκων και τον οικιακό εξοπλισμό, καθώς η χρήση πλυντηρίου πιάτων και ο τύπος πλυντηρίου ρούχων και ο όγκος νερού που αυτό καταναλώνει ανά πλύση είναι πιθανή αιτία της διαφοροποίησης αυτής. Για παράδειγμα, στην Οικία Β η συνεισφορά της ροής του πλυντηρίου ρούχων στη συνολική παραγωγή γκρίζου νερού είναι 29,3%, ποσοστό υψηλό σε σχέση με τα αντίστοιχα ποσοστά που σημειώνονται στην Οικία Α και Γ (13,3% και 17,3%, αντίστοιχα). Η παρατήρηση αυτή οφείλεται κυρίως στον όγκο νερού που καταναλώνεται ανά χρήση του πλυντηρίου ανά οικία (90 L ανά πλύση στην Οικία Β και 48 L και 70 L ανά πλύση στις Οικίες Α και Γ).

Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται η κατανομή του όγκου που καταναλώνεται στον νεροχύτη στις διάφορες δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε αυτόν. Η πιο απαιτητική σε νερό δραστηριότητα αποδείχθηκε το πλύσιμο των πιάτων, ανεξαρτήτως οικίας, με ποσοστό που ανέρχεται σε 59-75% της συνολικής κατανάλωσης στον νεροχύτη. Αντίστοιχα, στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζεται η κατανομή στις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται στον νιπτήρα. Διαπιστώνεται ότι η παραγωγή γκρίζου νερού στον νιπτήρα οφείλεται κυρίως στο πλύσιμο των χεριών (46-62%).

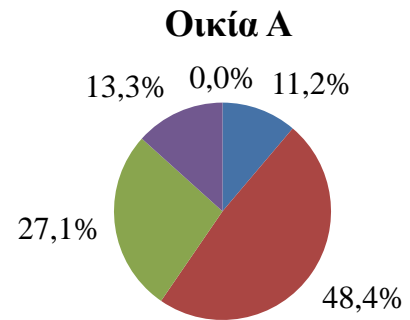
Σύνθεση οικιακών λυμάτων

Σύνθεση γκριζου νερού

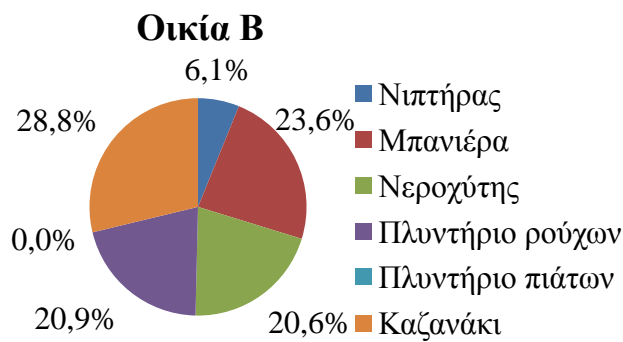
α)



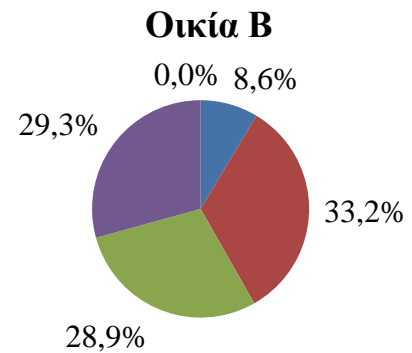
β)



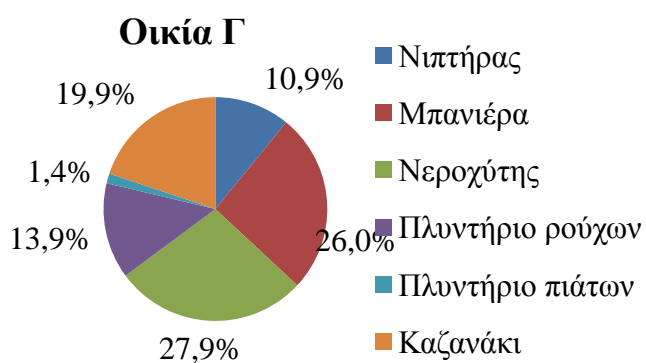
γ)



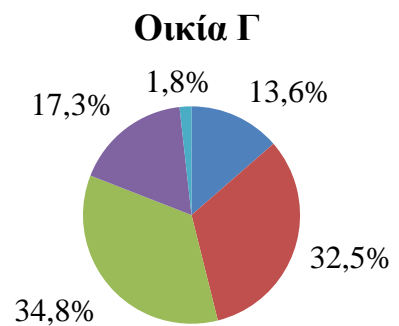
δ)



ε)

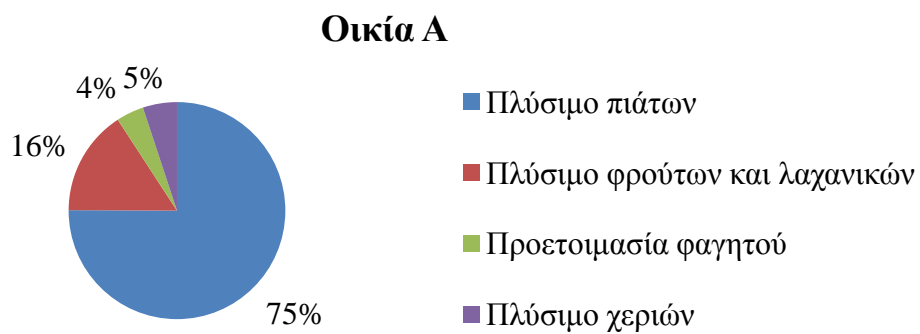


στ)

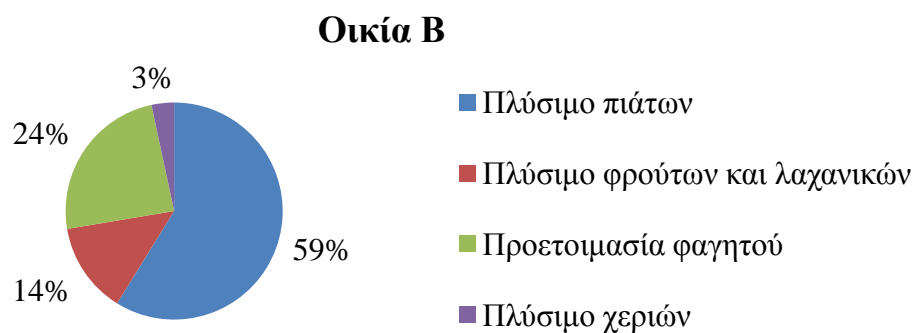


Σχήμα 4.4 Σύνθεση οικιακών λυμάτων και καταμερισμός γκριζου νερού ανά οικιακή χρήση σε Οικία Α (α και β), Οικία Β (γ και δ) και Οικία Γ (ε και στ) αντίστοιχα

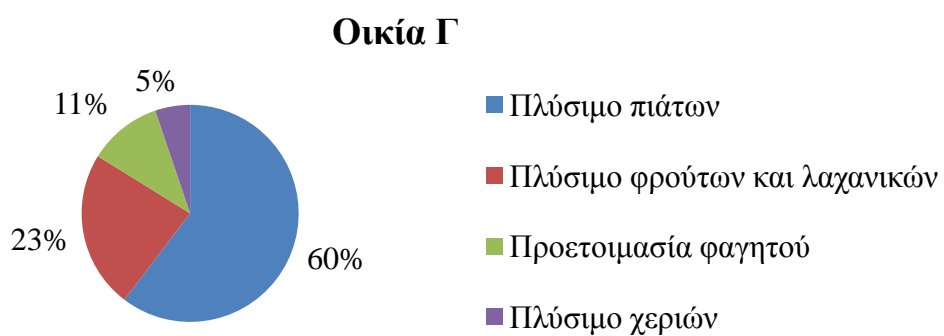
α)



β)

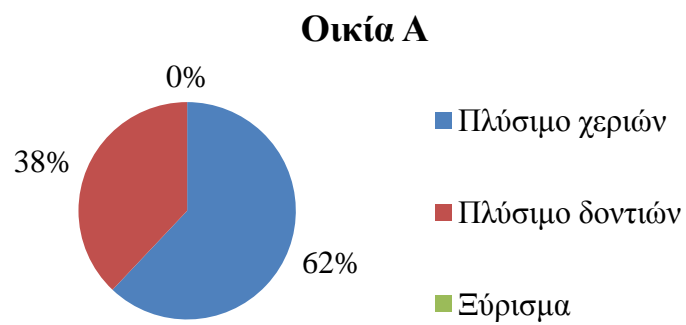


γ)

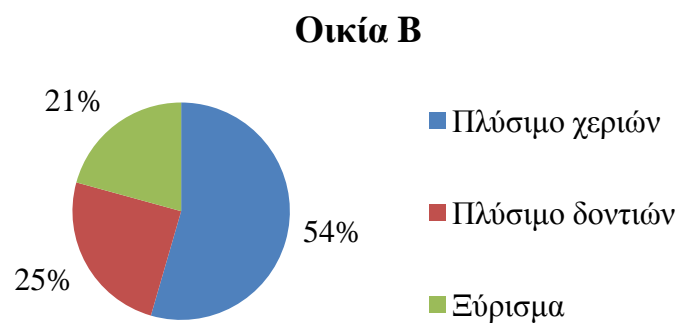


Σχήμα 4.5 Σύνθεση γκριζού νερού που παράγεται στον νεροχύτη, ανά οικία

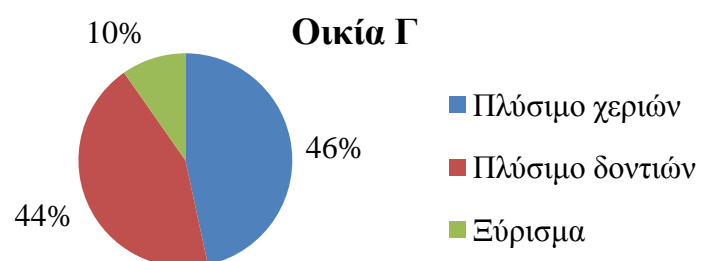
α)



β)



γ)



Σχήμα 4.6 Σύνθεση γκριζου νερού που παράγεται στον νιπτήρα, ανά οικία

4.1.2 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης, όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων των τεσσάρων δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τον χαρακτηρισμό του γκρίζου νερού. Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται οι ίδιες παράμετροι σε μονάδες βάρους ανά κάτοικο και ημέρα.

Πίνακας 4.3 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών γκρίζου νερού

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος			
	TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L	αγωγιμότητα μS/cm
Κουζίνα	883±426	319±209	314±205	449±341
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

Πίνακας 4.4 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

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
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

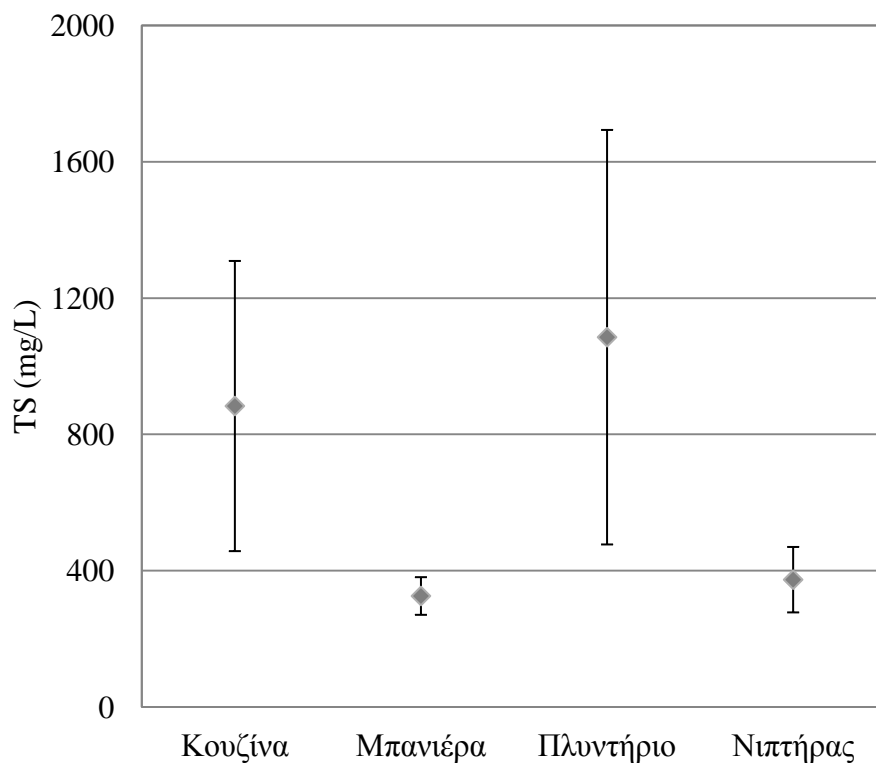
Οι συγκεντρώσεις στερεών καθώς και η αγωγιμότητα διαφοροποιούνται σημαντικά, ανάλογα με την πηγή προέλευσης του γκρίζου νερού (Σχήματα 4.7-4.14). Η συγκέντρωση ολικών στερεών κυμαίνεται μεταξύ 211 mg/L έως 2594 mg/L, με τις υψηλότερες μέσες τιμές να παρατηρούνται στις ροές της κουζίνας (883 mg/L) και του πλυντηρίου ρούχων (1085 mg/L), όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της ύπαρξης άμμου, ζεόλιθου και αργίλου σε αυτές. Αντίστοιχα, η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στη ροή της κουζίνας είναι αρκετά υψηλή (319±209 mg/L), όπως και η συγκέντρωση στη ροή του πλυντηρίου ρούχων (169±96,1 mg/L). Στις ροές της μπανιέρας (73,5±38,3 mg/L) και του νιπτήρα (90,5±68,3 mg/L) παρατηρούνται χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Τα πτητικά στερεά αποτελούν κατά προσέγγιση το 87% των ολικών αιωρούμενων στερεών.

Σημειώνεται ότι στις ροές της κουζίνας και πλυντηρίου ρούχων παρατηρείται μεγάλο εύρος τιμών, ενώ αντίθετα στις ροές του νιπτήρα και της μπανιέρας η συγκέντρωση στερεών

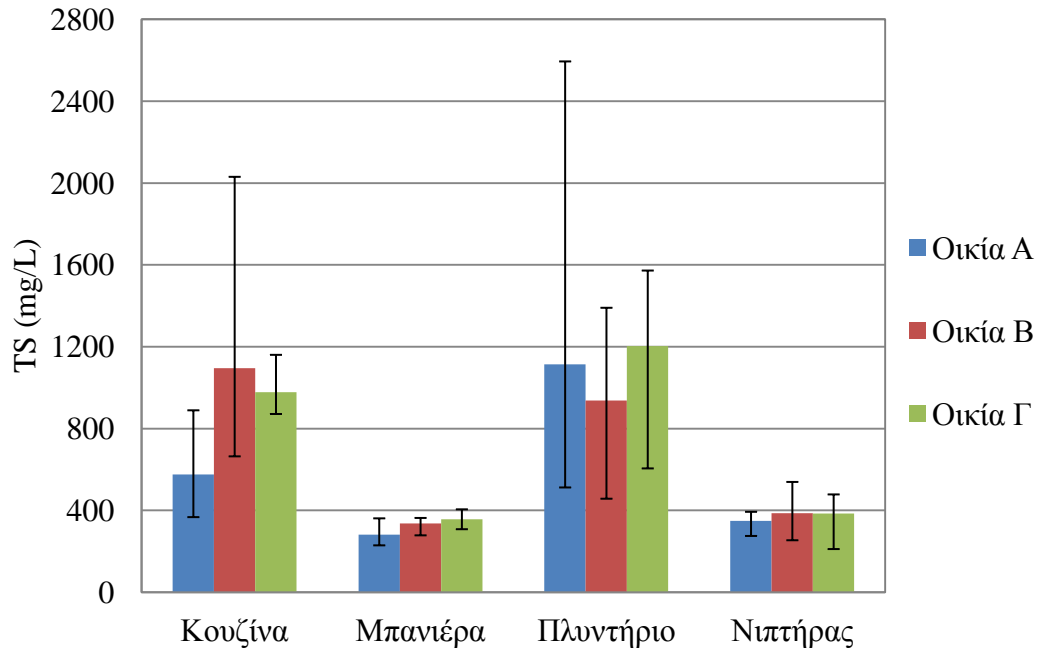
(ολικών, ολικών αιωρούμενων, πτητικών αιωρούμενων) βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και χωρίς μεγάλη μεταβλητότητα.

Συγκεκριμένα, εξετάζοντας τη συγκέντρωση στερεών ανά οικία (Σχήματα 4.8, 4.10, 4.12), παρατηρείται ότι το γκρίζο νερό που προέρχεται από τη μπανιέρα και τον νιπτήρα έχει παρόμοια χαρακτηριστικά ανεξαρτήτως οικίας, ενώ στην κουζίνα και στο πλυντήριο ρούχων φαίνεται πως οι συνήθειες κάθε οικογένειας επηρεάζουν τις ιδιότητες του γκρίζου νερού. Συγκεκριμένα, στη ροή της κουζίνας η μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών παρατηρείται στην Οικία Β ενώ οι αντίστοιχες μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στη ροή του πλυντηρίου ρούχων εντοπίζονται στην Οικία Α.

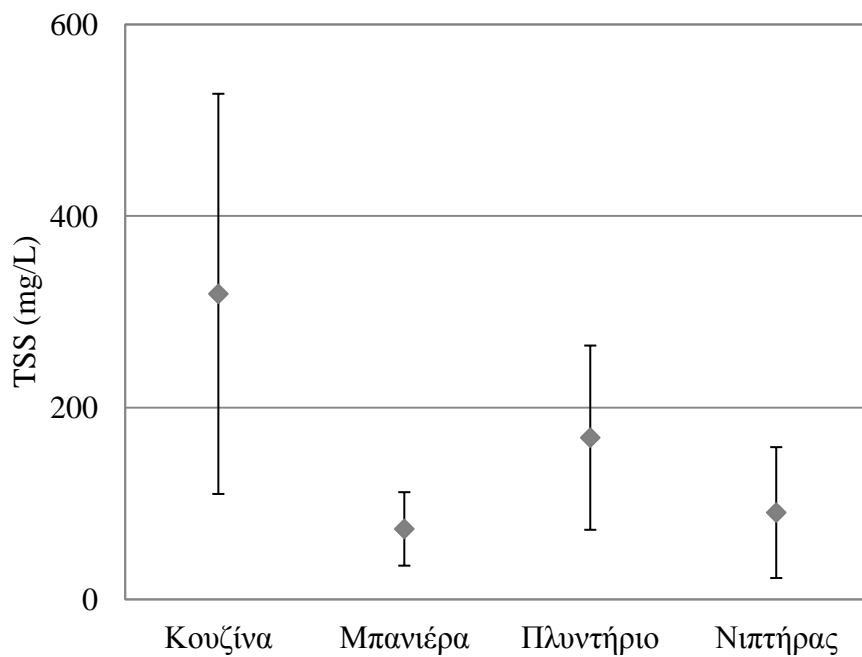
Όσο αφορά στην αγωγιμότητα, παρατηρείται ότι η αγωγιμότητα στο γκρίζο νερό της μπανιέρας και του νιπτήρα βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο ($318 \pm 29,9 \mu\text{S}/\text{cm}$ και $318 \pm 26,8 \mu\text{S}/\text{cm}$, αντίστοιχα), ενώ οι τιμές της αγωγιμότητας στο γκρίζο νερό της κουζίνας και του πλυντηρίου ρούχων είναι υψηλότερες ($449 \pm 341 \mu\text{S}/\text{cm}$ και $653 \pm 423 \mu\text{S}/\text{cm}$, αντίστοιχα) και παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα.



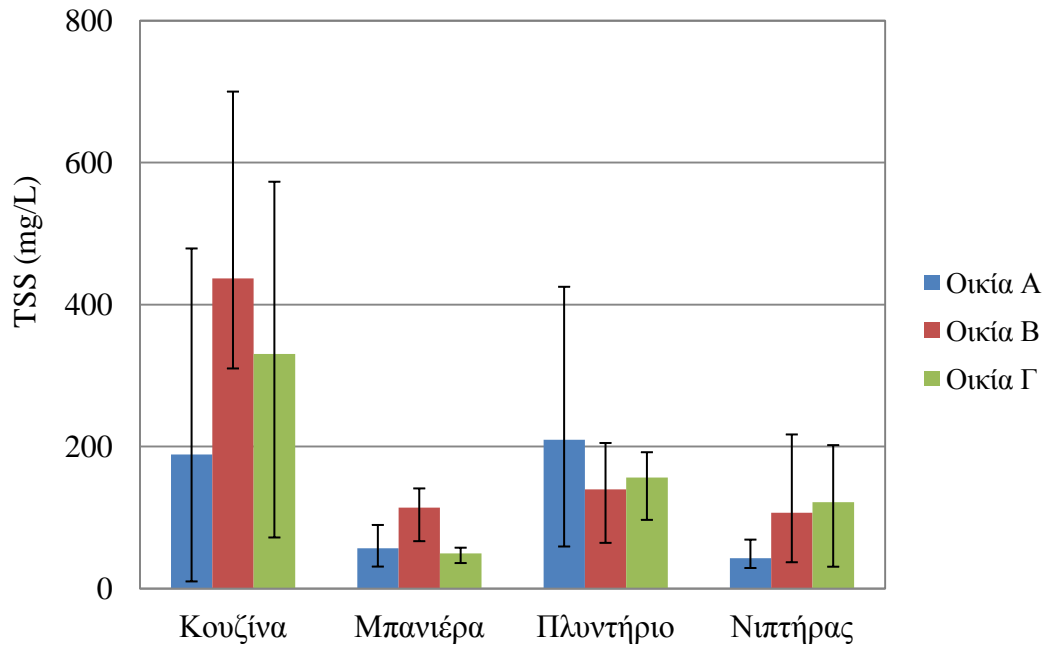
Σχήμα 4.7 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικών στερεών στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



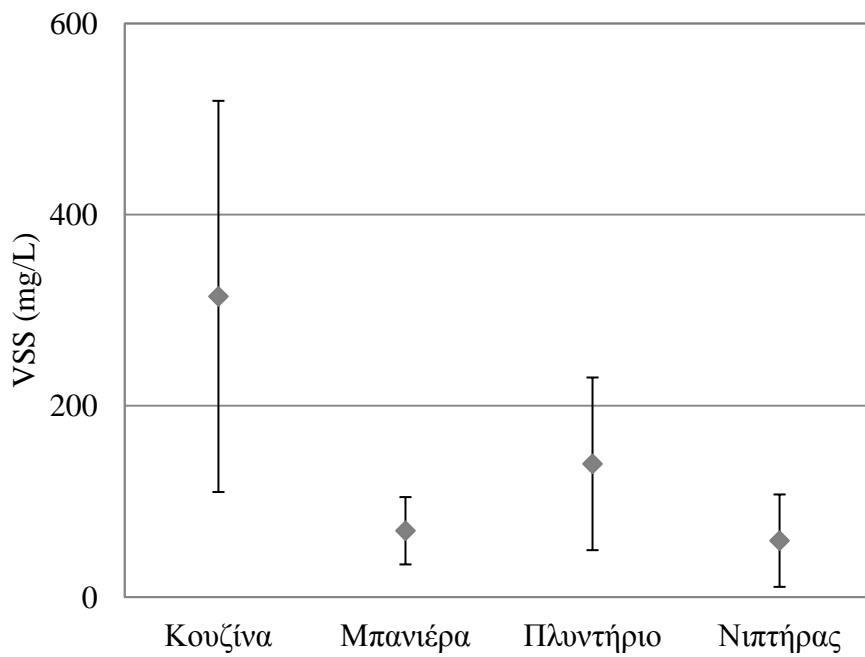
Σχήμα 4.8 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικών στερεών στο γκρίζο νερό ανά οικία



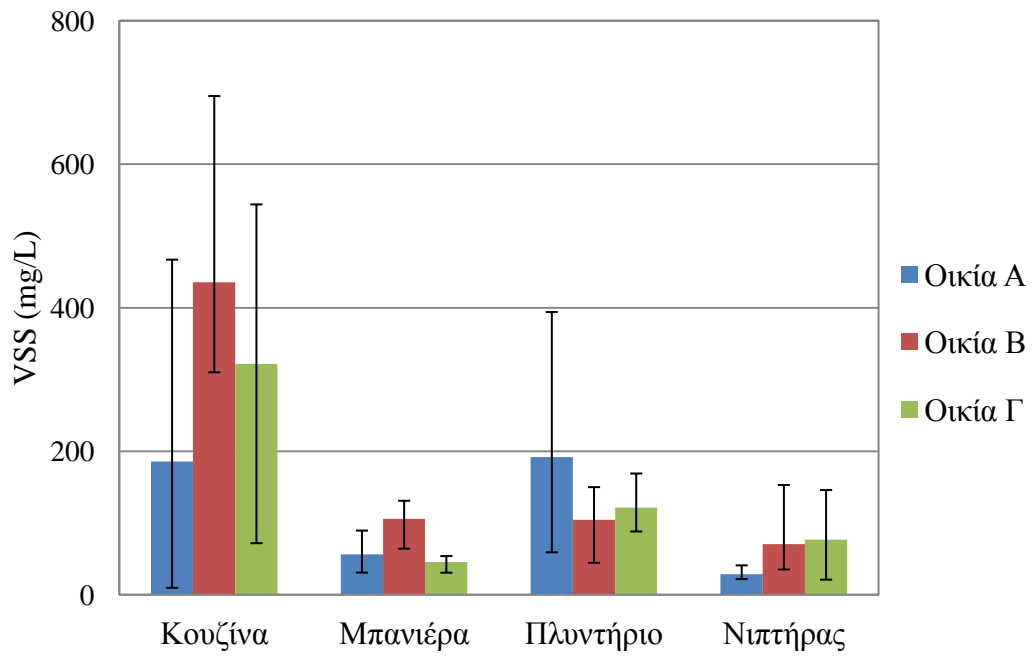
Σχήμα 4.9 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



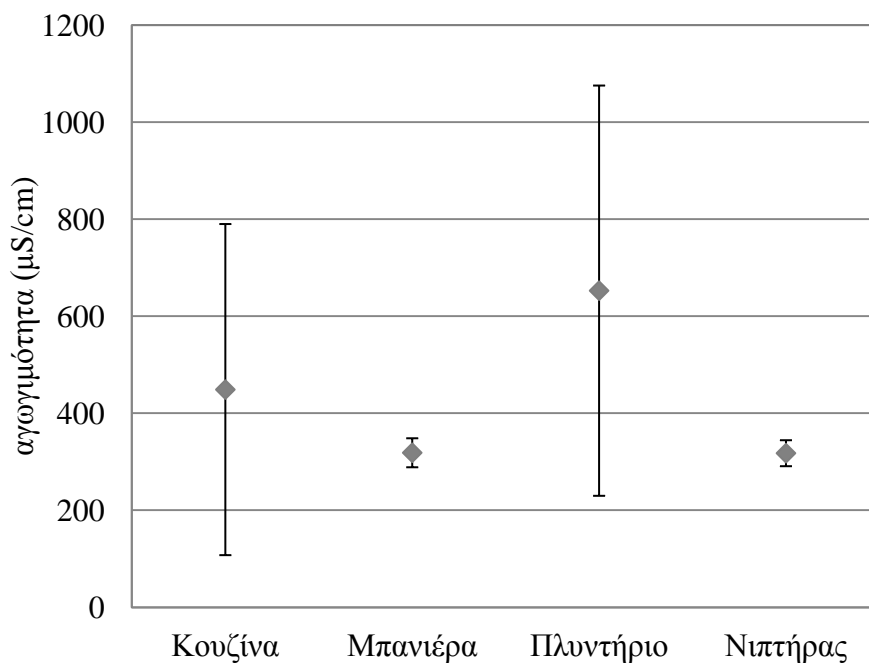
Σχήμα 4.10 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά οικία



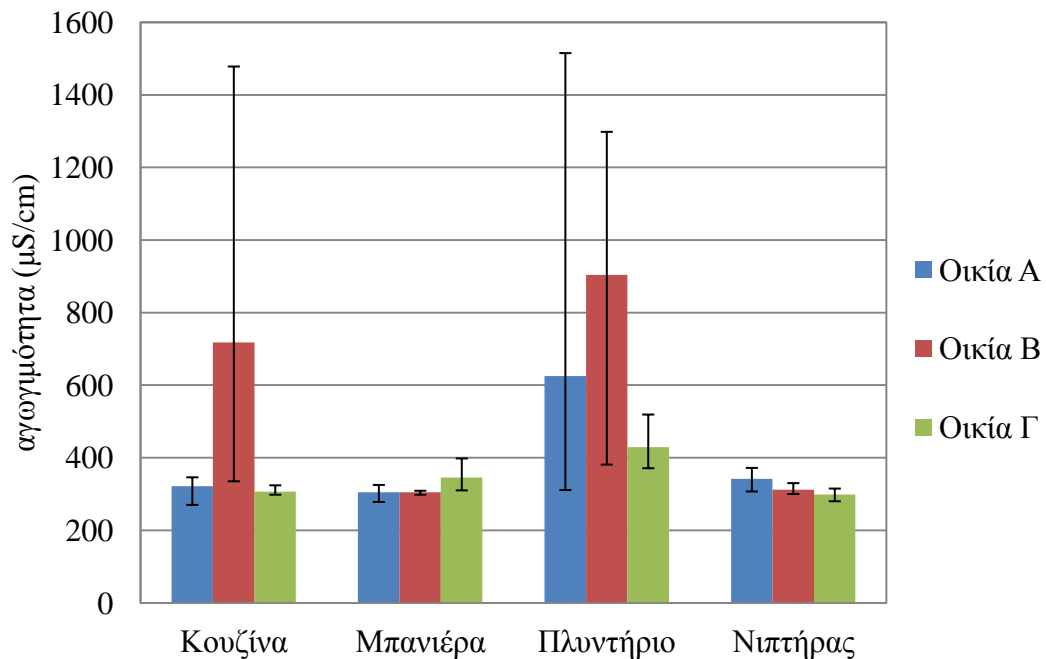
Σχήμα 4.11 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση συγκέντρωσης πτητικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



Σχήμα 4.12 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών στο γκρίζο νερό ανά οικία



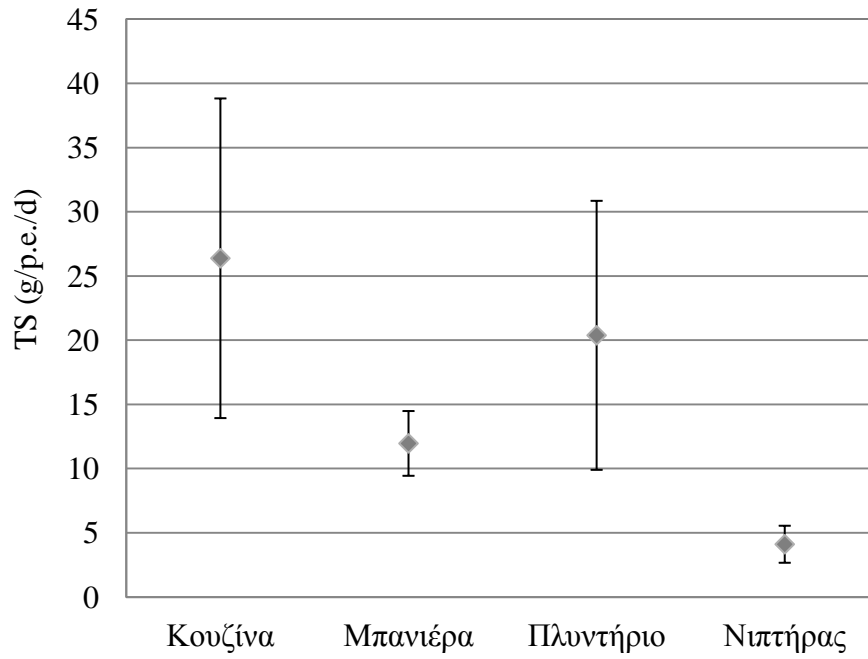
Σχήμα 4.13 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση αγωγιμότητας στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



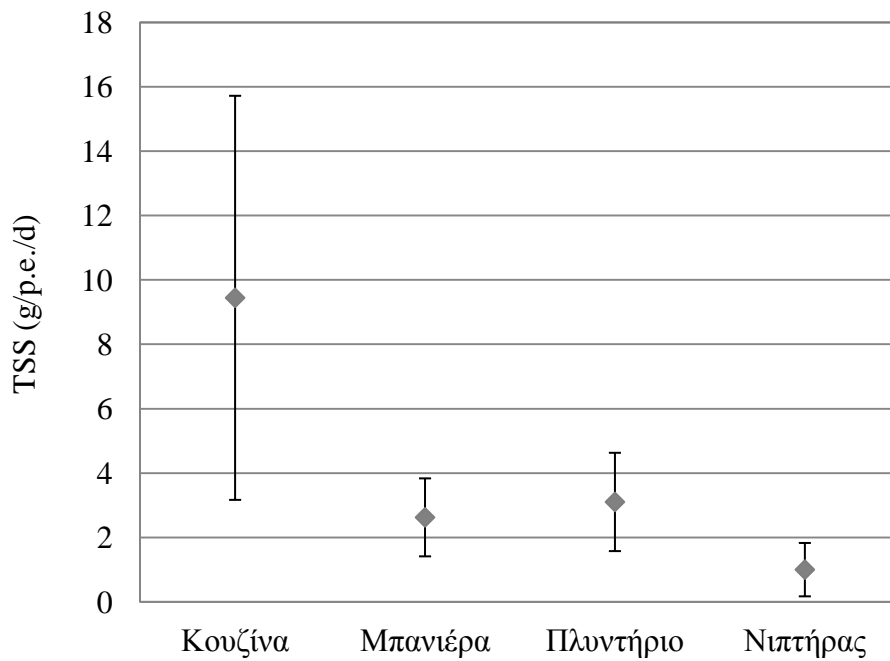
Σχήμα 4.14 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή αγωγιμότητας στο γκρίζο νερό ανά οικία

Στα Σχήματα 4.15-4.17 παρουσιάζονται τα ολικά στερεά και τα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά σε μονάδες βάρους ανά κάτοικο και ημέρα, ανά πηγή προέλευσης γκρίζου νερού. Παρατηρώντας το φορτίο των ολικών στερεών ανά ροή (Σχήμα 4.15), παρατηρείται ότι το μέγιστο φορτίο είναι αυτό του γκρίζου νερού της κουζίνας (10,2-53,1 g ανά κάτοικο και ημέρα), υψηλό είναι και το φορτίο στη ροή του πλυντηρίου ρούχων (7,01-36,8 g ανά κάτοικο και ημέρα), ενώ τα αντίστοιχα φορτία των άλλων ροών είναι μικρότερα (1,98-18,0 g ανά κάτοικο και ημέρα).

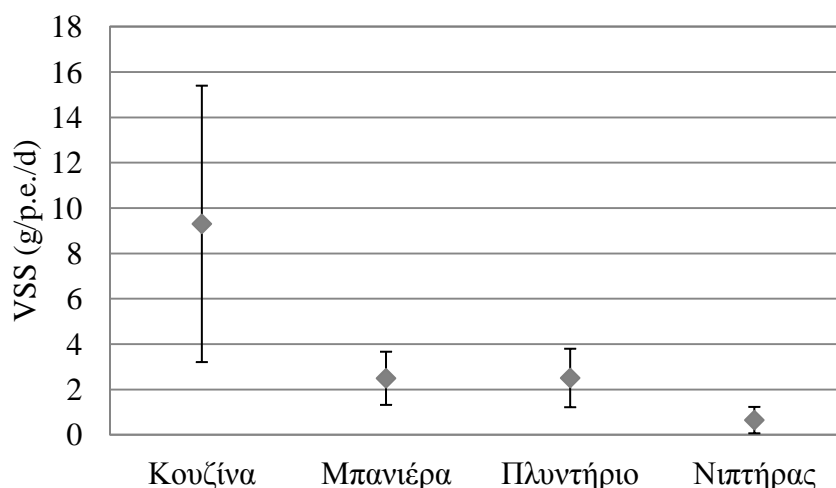
Όσο αφορά στα ολικά και πτητικά αιωρούμενα στερεά (Σχήματα 4.16 και 4.17), το υψηλότερο φορτίο εντοπίζεται και πάλι στη ροή της κουζίνας (9,44±6,27 g ανά κάτοικο και ημέρα και 9,30±6,09 g ανά κάτοικο και ημέρα, αντίστοιχα). Τα φορτία του πλυντηρίου ρούχων και της μπανιέρας βρίσκονται στα ίδια επίπεδα (0,81-5,82 g TSS και 0,81-5,40 g VSS ανά κάτοικο και ημέρα). Το μικρότερο φορτίο εντοπίζεται στη ροή του νιπτήρα (1,00±0,83 g TSS ανά κάτοικο και ημέρα και 0,65±0,58 g VSS ανά κάτοικο και ημέρα).



Σχήμα 4.15 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικών στερεών ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό



Σχήμα 4.16 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικών αιωρούμενων στερεών ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό



Σχήμα 4.17 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση πτητικών αιωρούμενων στερεών ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

4.1.3 Χημικές ιδιότητες γκρίζου νερού

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι κύριες χημικές ιδιότητες του γκρίζου νερού ανά ροή. Αντίστοιχα, στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων. Στους Πίνακες 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται οι ίδιες παράμετροι σε μονάδες βάρους ανά κάτοικο και ημέρα, οι τιμές των οποίων υπολογίστηκαν με τη χρήση των παροχών γκρίζου νερού που προσδιορίστηκαν ανά πηγή και οικία.

Οι συγκεντρώσεις των περισσότερων μετάλλων που αναλύθηκαν βρίσκονται κάτω του ορίου ποσοτικού προσδιορισμού (Πίνακας 4.6). Ωστόσο, στη ροή του πλυντηρίου μετρήθηκαν σχετικά υψηλότερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και χαλκού ($0,20 \pm 0,16$ mg/L και 43 ± 29 μg/L, αντίστοιχα). Η μέση συγκέντρωση του χρωμίου στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου προέκυψε ίση με $7,3 \pm 7,1$ μg/L και του μολύβδου ίση με $3,9 \pm 3,3$ μg/L. Σημειώνεται ότι στις Οικίες Α, Β και Γ αναλύθηκαν δείγματα νερού του δικτύου από κάθε βρύση, με σκοπό να διαπιστωθεί αν η ύπαρξη μετάλλων στο γκρίζο νερό οφείλεται στις δραστηριότητες των κατοίκων ή στην ποιότητα του νερού του δικτύου και στις σωληνώσεις (Παράρτημα Α, Πίνακας Α.11). Από τα αποτελέσματα, διαπιστώθηκε ότι ύπαρξη μετάλλων στο γκρίζο νερό οφείλεται κυρίως στις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε κάθε πηγή και όχι στο νερό του δικτύου ή στις σωληνώσεις.

Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των τεσσάρων μικροοργανικών ενώσεων (NP, NP1EO, NP2EO, TCS, BPA) που μελετώνται στην παρούσα εργασία, ανά πηγή προέλευσης γκρίζου νερού και στον Πίνακα 4.10 το αντίστοιχο ανά κάτοικο φορτίο.

Κατά τη διάρκεια των αναλύσεων διαπιστώθηκε ότι το pH των δειγμάτων γκρίζου νερού κυμαίνεται από 6,00 έως 9,72 (Σχήματα 4.18-4.19). Χαμηλό pH (6,00-7,71) παρατηρείται στην κουζίνα ενώ το pH του γκρίζου νερού του πλυντηρίου ρούχων είναι ιδιαίτερα υψηλό (7,44-9,72). Το υψηλό pH στη ροή του πλυντηρίου οφείλεται κυρίως στη χρήση των απορρυπαντικών ρούχων. Το pH στη ροή της μπανιέρας κυμαίνεται μεταξύ 7,20-7,79 και στον νιπτήρα μεταξύ 7,29-8,04. Εξετάζοντας το pH σε κάθε οικία ξεχωριστά παρατηρείται ότι το pH κάθε ροής δεν διαφοροποιείται ανά οικία με τις συνήθειες των κατοίκων. Σε όλες τις οικίες που μελετήθηκαν, το pH της κουζίνας είναι χαμηλό και του πλυντηρίου ρούχων υψηλό (Σχήμα 4.19).

Πίνακας 4.5 Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος											
	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
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

Πίνακας 4.6 Βαρέα μέταλλα στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος					
	Cd μg/L	Pb μg/L	Cr μg/L	Ni μg/L	Zn mg/L	Cu 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

Πίνακας 4.7 Χημικές παράμετροι γκρίζου νερού ανά πηγή προέλευσης σε μονάδες βάρους (mg ή g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος										
	COD _t	COD _s	BOD ₅	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

Πίνακας 4.8 Βαρέα μέταλλα στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης σε μονάδες βάρους (μg ή mg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

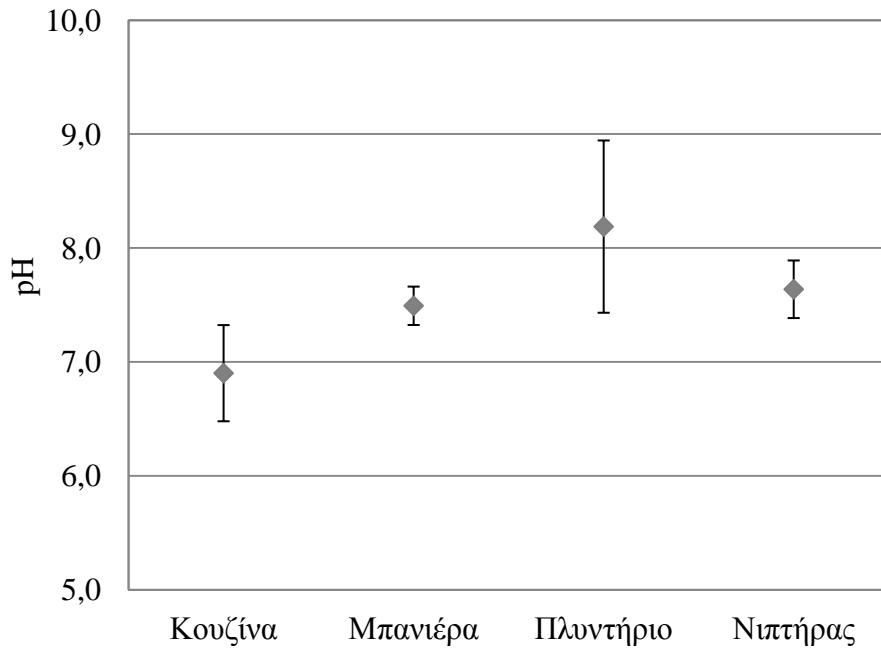
Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος			
	Pb	Cr	Zn	Cu
	μg/p.e./d	μg/p.e./d	mg/p.e./d	μg/p.e./d
Κουζίνα			2,59±1,92	858±918
Μπανιέρα			2,66±1,98	1172±1553
Πλυντήριο ρούχων	61,5±38,9	123±115	3,19±2,15	713±391
Νιπτήρας			0,514±0,398	93±134

Πίνακας 4.9 Μικροοργανικές ενώσεις στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης

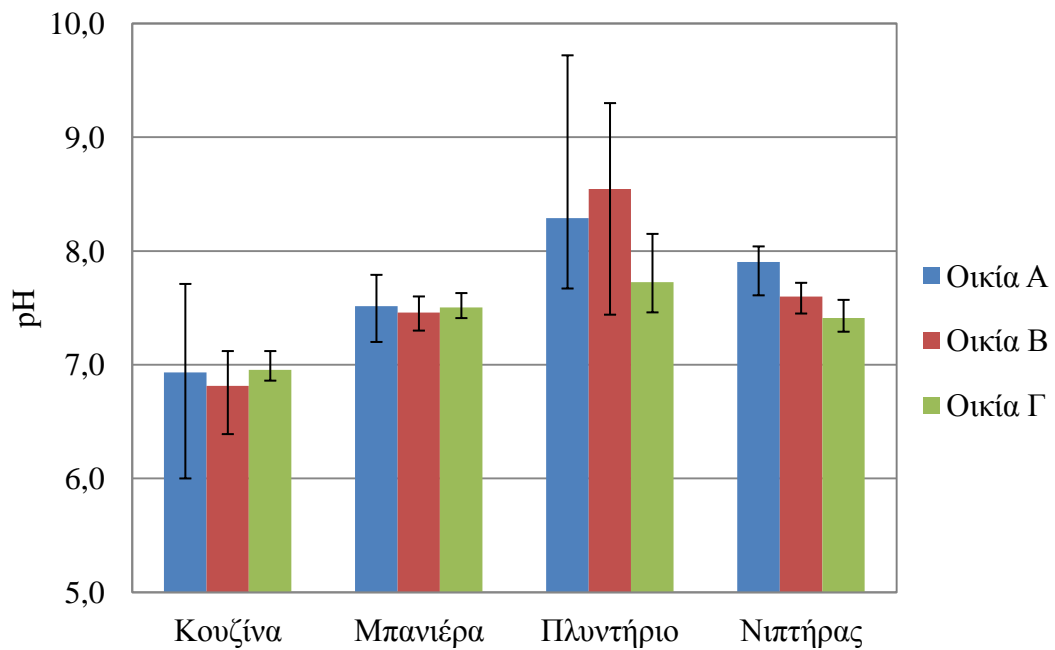
Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος				
	NP	NP1EO	NP2EO	TCS	BPA
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Κουζίνα	15,2±18,5	1,46±2,03	1,30±2,84	0,0885±0,0970	0,0974±0,124
Μπανιέρα	32,8±12,7	3,22±2,68	2,39±1,49	0,436±0,385	0,701±0,510
Πλυντήριο ρούχων	61,8±91,5	2,76±3,44	2,89±4,46	0,0991±0,0869	0,439±0,467
Νιπτήρας	3,66±1,71	0,465±0,403	0,206±0,150	0,208±0,232	0,0268±0,0261

Πίνακας 4.10 Μικροοργανικές ενώσεις στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης σε μονάδες βάρους (µg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος				
	NP	NP1EO	NP2EO	TCS	BPA
	µg/p.e./d	µg/p.e./d	µg/p.e./d	µg/p.e./d	µg/p.e./d
Κουζίνα	430±512	41,0±56,1	36,4±79,2	2,49±2,64	2,71±3,46
Μπανιέρα	1172±490	107±79,0	92,7±78,4	16,0±13,7	24,4±15,5
Πλυντήριο ρούχων	919±1238	42,9±45,8	42,8±59,6	1,82±1,71	7,10±6,69
Νιπτήρας	37,7±13,5	5,25±4,86	2,03±1,33	2,00±1,76	0,306±0,324



Σχήμα 4.18 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση pH στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης

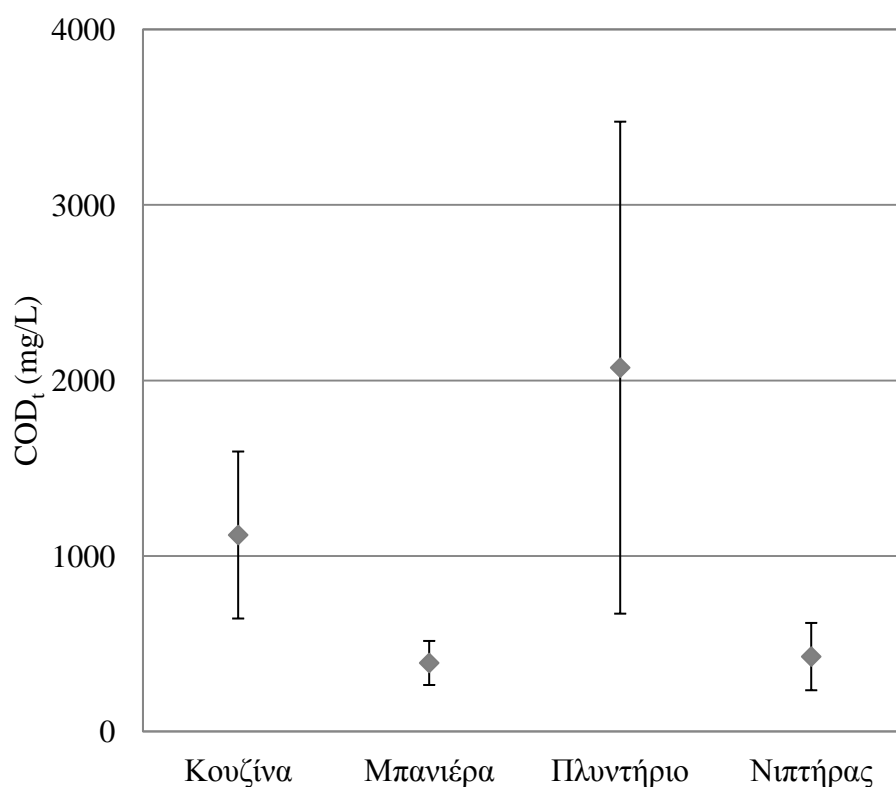


Σχήμα 4.19 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή pH στο γκρίζο νερό ανά οικία

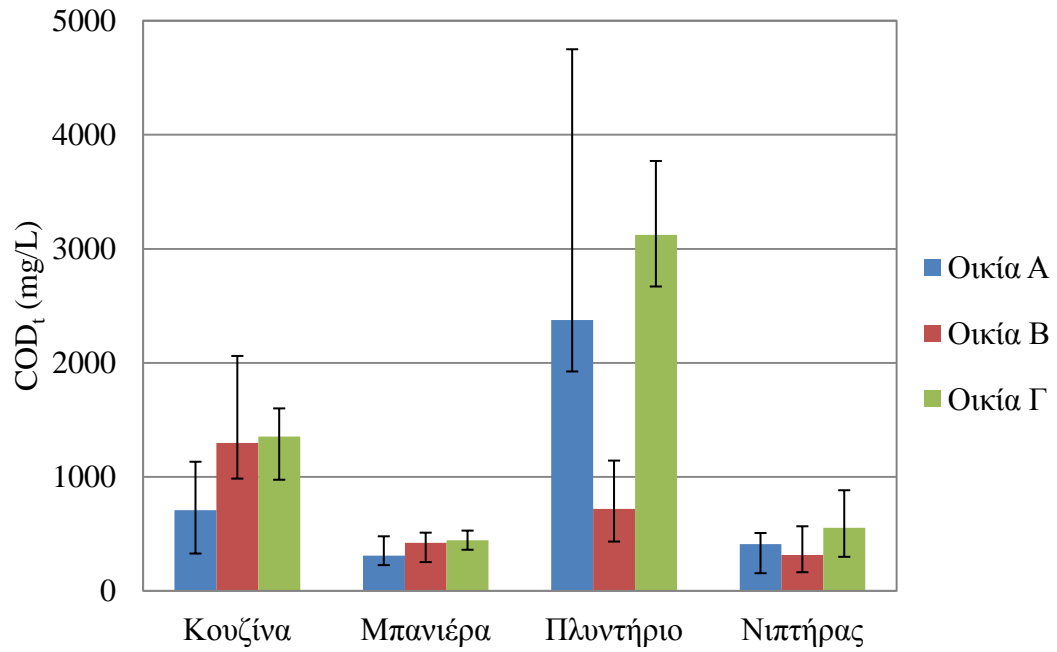
Η απαίτηση του γκρίζου νερού σε οξυγόνο οφείλεται κυρίως στη χρήση απορρυπαντικών πιάτων και ρούχων και στην ύπαρξη υπολειμμάτων τροφής σε αυτό. Συνεπώς, οι υψηλές συγκεντρώσεις COD_t , COD_s και BOD_5 που εντοπίστηκαν στη ροή του πλυντηρίου ρούχων και στην κουζίνα ήταν αναμενόμενες (Σχήματα 4.20-4.25). Το COD_t στο γκρίζο νερό της κουζίνας κυμαίνεται μεταξύ 233-2060 mg/L και στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου ρούχων μεταξύ 432-4750 mg/L. Αντίθετα, στη ροή της μπανιέρας το ολικό COD εντοπίστηκε σε

χαμηλότερα επίπεδα (143-548 mg/L), όπως και στη ροή του νιπτήρα, όπου όμως παρουσιάζεται μεγαλύτερο εύρος τιμών (163-882 mg/L). Αντίστοιχα είναι τα συμπεράσματα σε σχέση με διαλυτό COD και με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 201 mg/L και 927 mg/L στη ροή της κουζίνας και στη ροή του πλυντηρίου ρούχων μεταξύ 175-3300 mg/L. Ωστόσο, το διαλυτό COD στον νιπτήρα είναι συγκρίσιμο με αυτό της κουζίνας (106-806 mg/L). Στη ροή της μπανιέρας μετρήθηκε το χαμηλότερο διαλυτό COD (67,5-439 mg/L). Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι η απαίτηση σε οξυγόνο στα δείγματα του πλυντηρίου ρούχων παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα ανά οικία (Σχήματα 4.21, 4.23, 4.25). Οι συγκεντρώσεις των COD_i , COD_s και BOD_5 στην Οικία Β είναι ιδιαίτερα χαμηλές σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Οικιών Α και Γ, πιθανώς λόγω της χρήσης απορρυπαντικών ρούχων διαφορετικών χαρακτηριστικών και των διαφορετικών συνηθειών των κατοίκων.

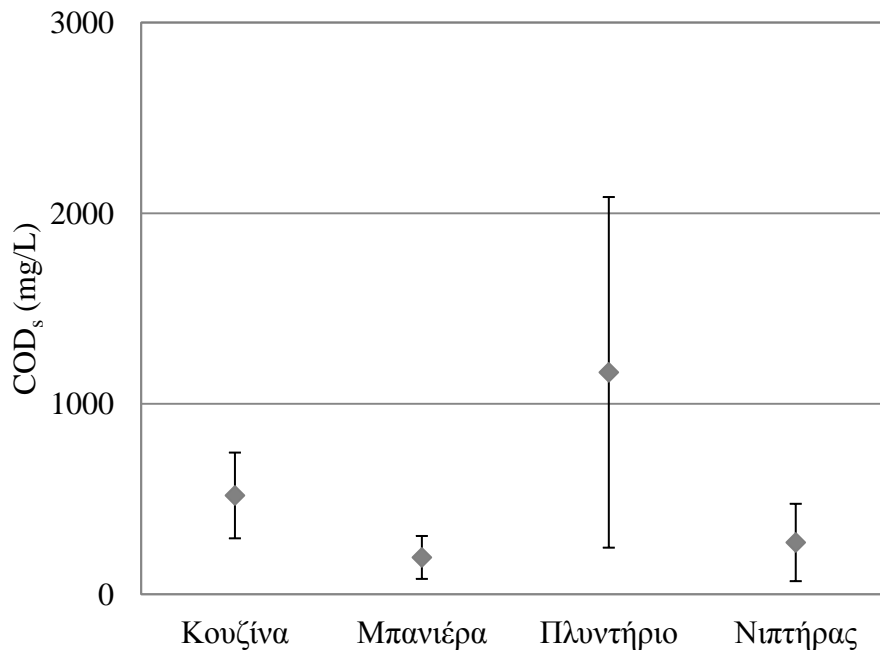
Με βάση τις τιμές BOD_5 και COD_i που προσδιορίστηκαν σε κάθε δείγμα γκρίζου νερού που συλλέχθηκε από τις τρεις οικίες, διαπιστώθηκε ότι η αναλογία $COD_i:BOD_5$ είναι κατά προσέγγιση 3:2.



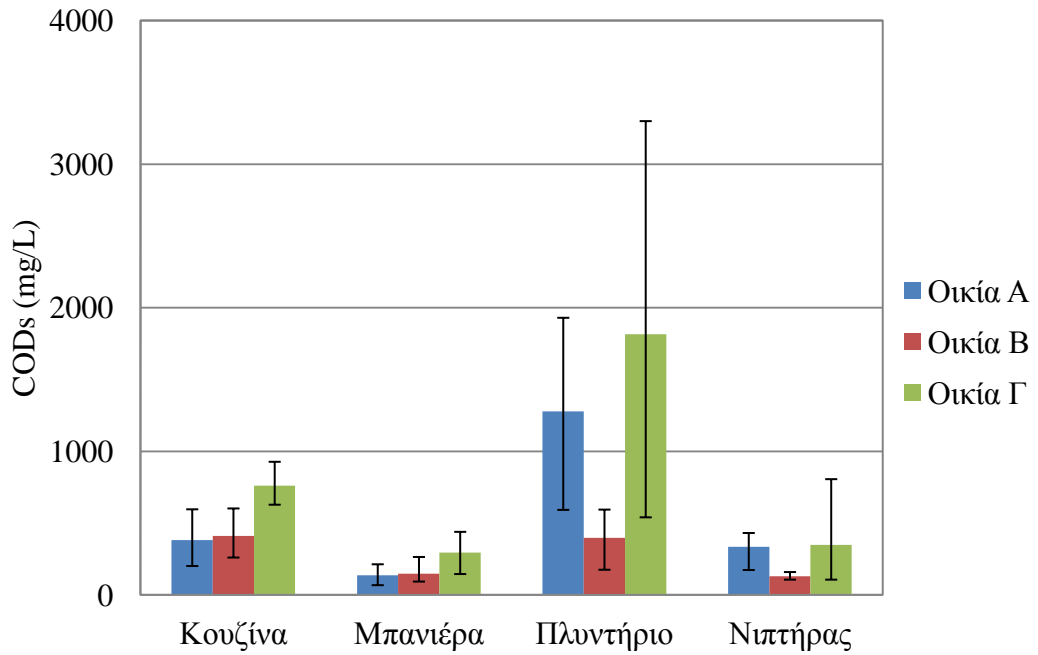
Σχήμα 4.20 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



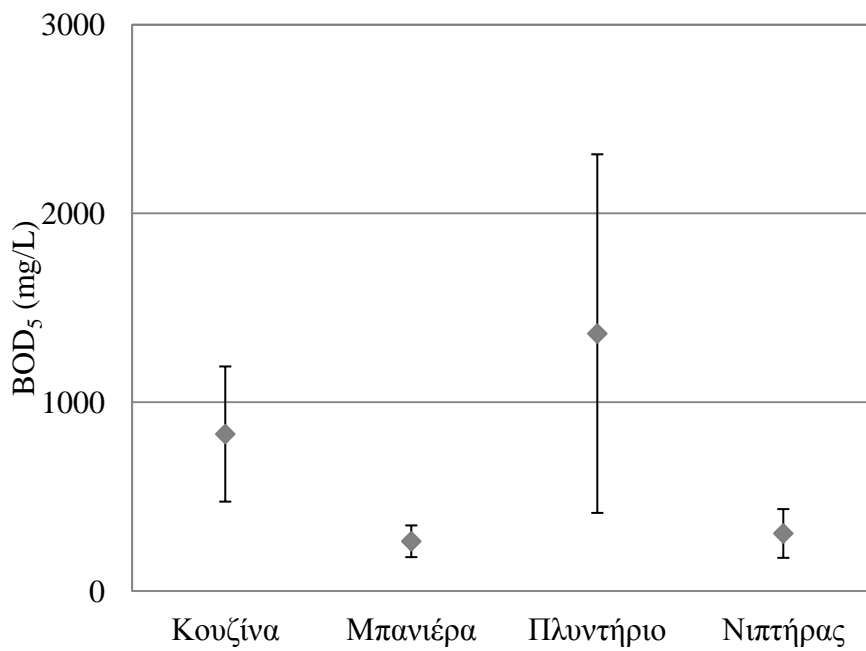
Σχήμα 4.21 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά οικία



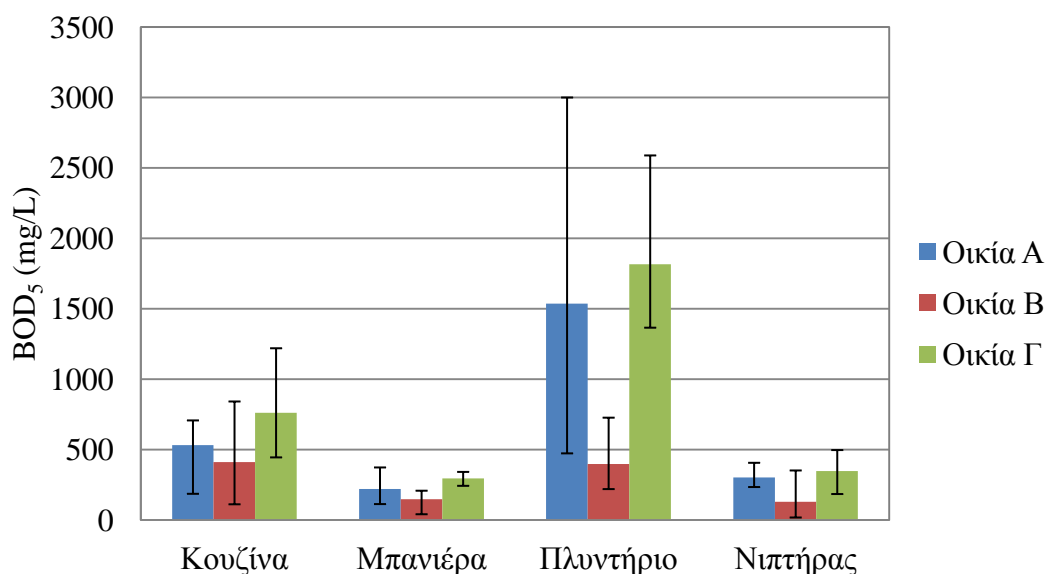
Σχήμα 4.22 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



Σχήμα 4.23 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά οικία

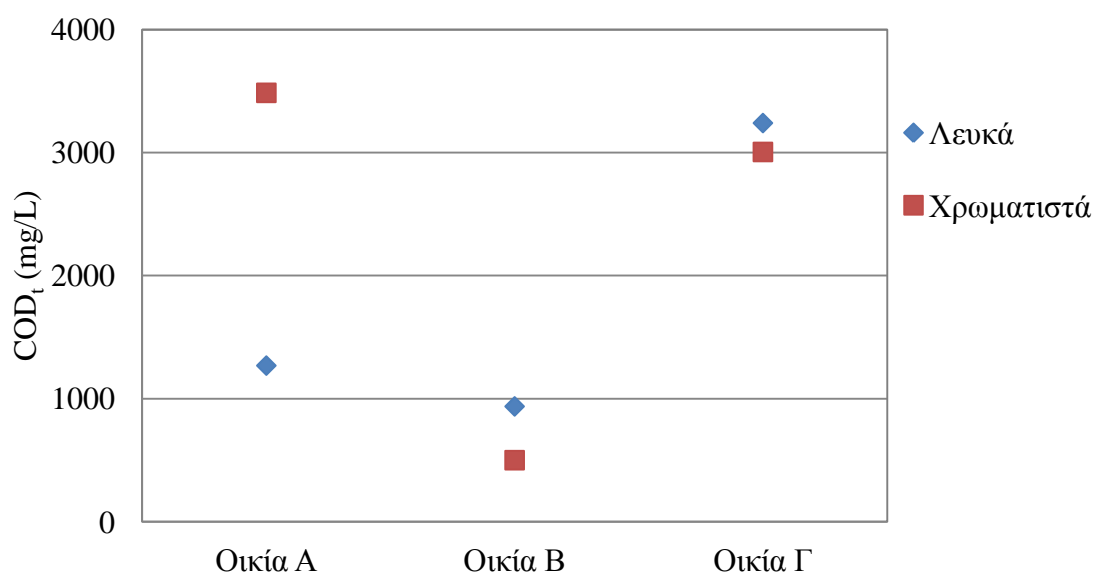


Σχήμα 4.24 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



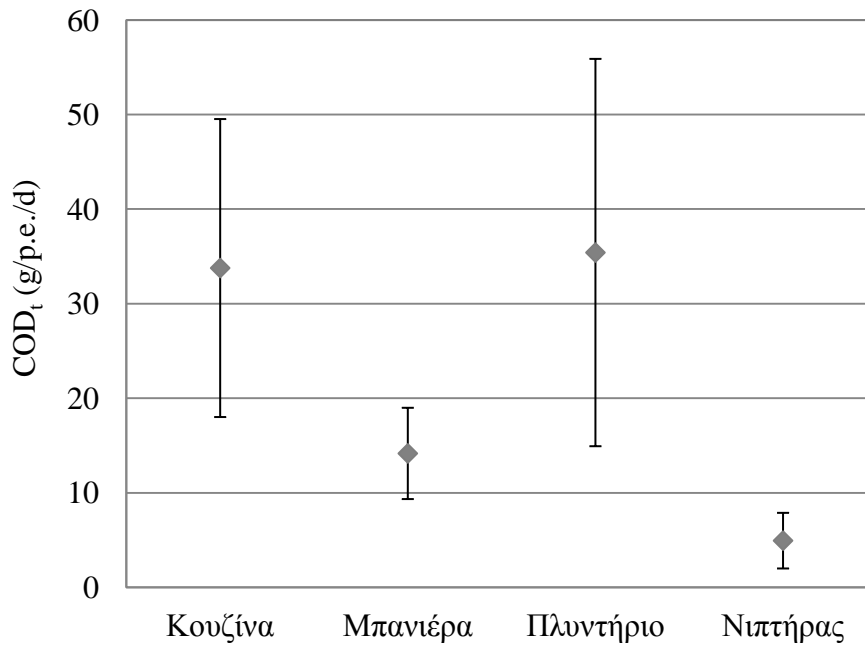
Σχήμα 4.25 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό ανά οικία

Επίσης, παρατηρείται ότι αναλόγως του είδους των ρούχων ανά πλύση (λευκά, χρωματιστά) υπάρχει διαφοροποίηση της συγκέντρωσης του απαιτούμενου οξυγόνου. Στο Σχήμα 4.26 παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση ολικού COD που καταγράφηκε ανά οικία στα λύματα που προέρχονται από την πλύση λευκών και χρωματιστών ρούχων. Παρατηρείται ότι στην Οικία Α η πλύση λευκών ρούχων οδηγεί σε χαμηλότερο COD (μέση τιμή 1269 mg/L) σε σχέση με την πλύση χρωματιστών (μέση τιμή 3485 mg/L) ενώ αντίθετα στην Οικία Β η πλύση λευκών ρούχων συνεπάγεται υψηλότερο (μέση τιμή 937 mg/L) σε σχέση με την πλύση χρωματιστών (μέση τιμή 500 mg/L). Στην Οικία Γ δεν παρουσιάζεται διαφοροποίηση COD σε σχέση με το είδος των ρούχων.

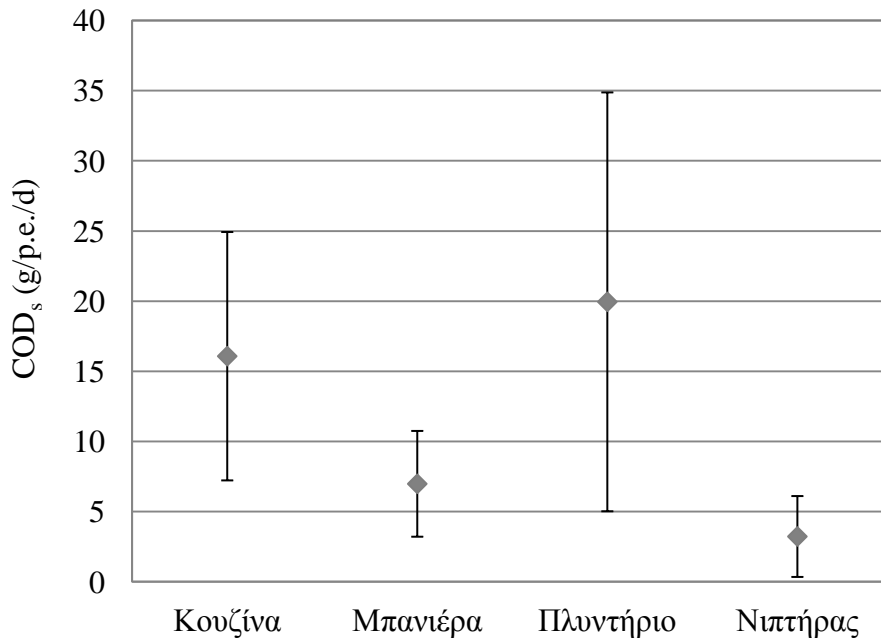


Σχήμα 4.26 Μέση συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο γκρίζο νερό που προέρχεται από το πλυντήριο ρούχων ανά οικία

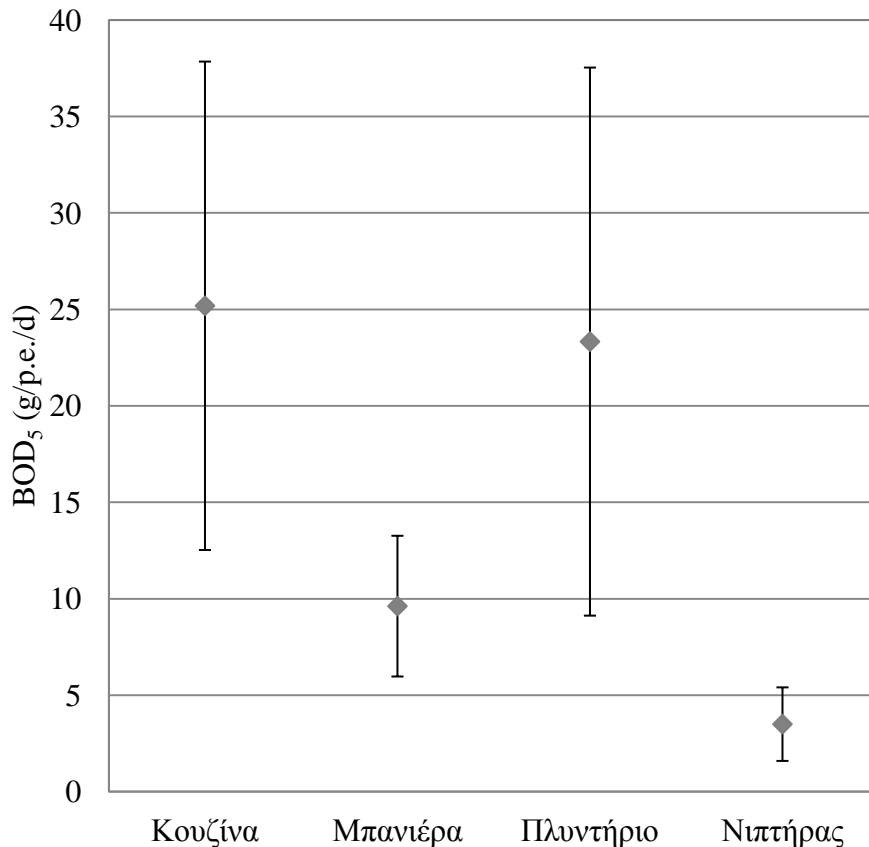
Στα Σχήματα 4.27-4.29 παρουσιάζεται το ανά κάτοικο ημερήσιο φορτίο COD και BOD ανά πηγή γκρίζου νερού και γίνεται φανερή η συμβολή της χρήσης του πλυντηρίου ρούχων και της ροής της κουζίνας στην απαίτηση οξυγόνου στο γκρίζο νερό, όπως ήταν αναμενόμενο.



Σχήμα 4.27 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

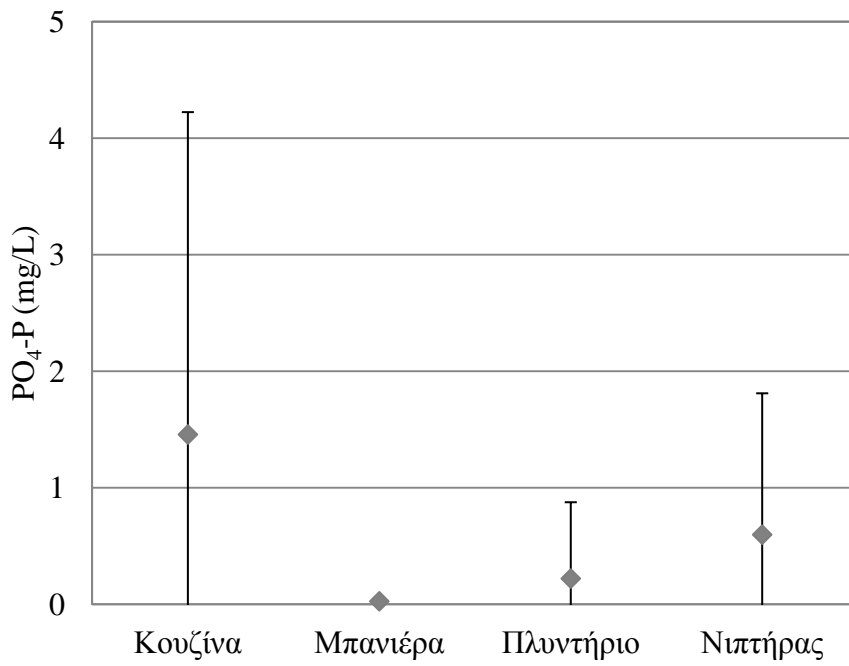


Σχήμα 4.28 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

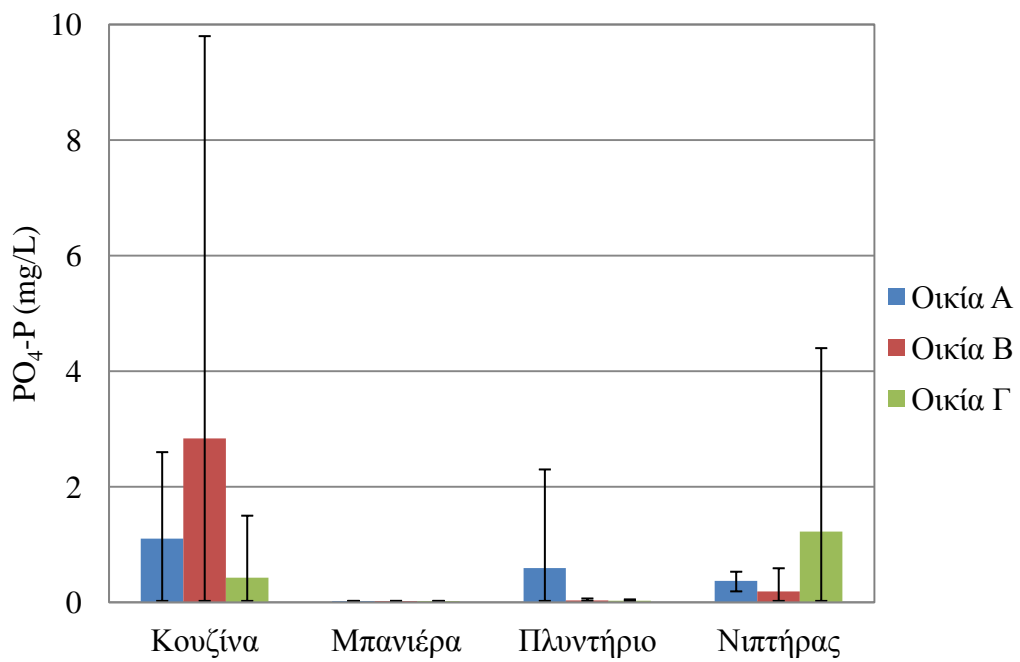


Σχήμα 4.29 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

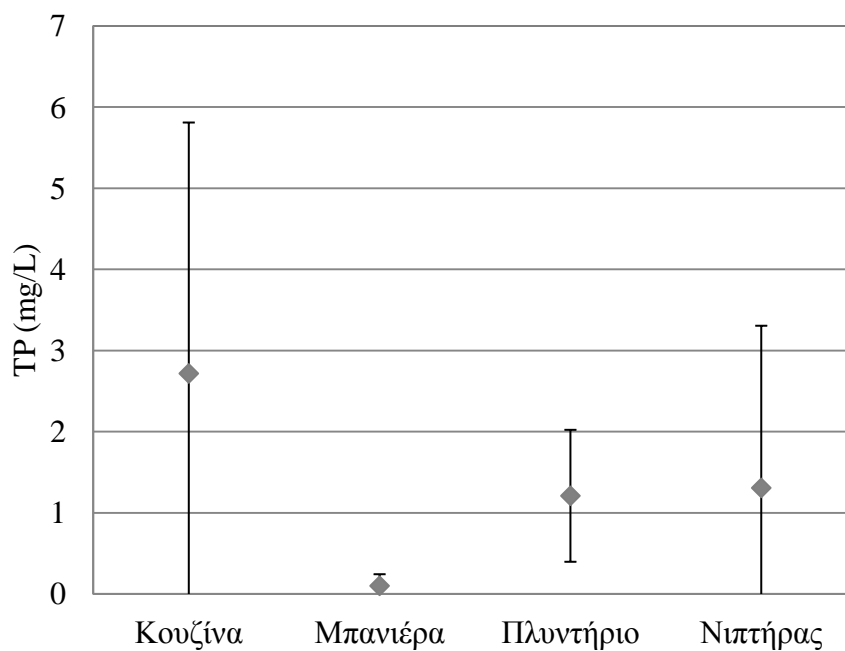
Ο φώσφορος στο γκρίζο νερό προέρχεται κυρίως από υπολείμματα τροφίμων, απορρυπαντικά ρούχων και πιάτων και είδη προσωπικής υγιεινής (Gilmour et al., 2008, State of Idaho, 2012). Στα Σχήματα 4.30-4.33 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις του ολικού και του διαλυτού φωσφόρου ανά πηγή προέλευσης και ανά οικία. Η μέγιστη συγκέντρωση ολικού και διαλυτού φωσφόρου παρατηρήθηκε στη ροή της κουζίνας –με μέση συγκέντρωση 2,7 mg/L και 1,5 mg/L, αντίστοιχα. Αντίθετα, στη ροή της μπανιέρας, η συγκέντρωση του διαλυτού φωσφόρου βρίσκεται σε όλα τα δείγματα κάτω από το όριο ανίχνευσης ενώ και ο ολικός φώσφορος βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα με μέγιστη μετρηθείσα τιμή 0,54 mg/L. Στα Σχήματα 4.31 και 4.33 γίνεται φανερό η επίδραση συνηθειών των κατοίκων, καθώς η συγκέντρωση του διαλυτού φωσφόρου στο γκρίζο νερό της κουζίνας στην Οικία Β είναι υψηλότερη (2,8 mg/L) σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές στις Οικίες Α και Γ (1,1 mg/L και 0,43 mg/L). Η ίδια παρατήρηση προκύπτει και για τον ολικό φώσφορο. Επίσης, η συγκέντρωση διαλυτού και ολικού φωσφόρου στο γκρίζο νερό του νιπτήρα στην Οικία Γ παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις στις Οικίες Α και Β.



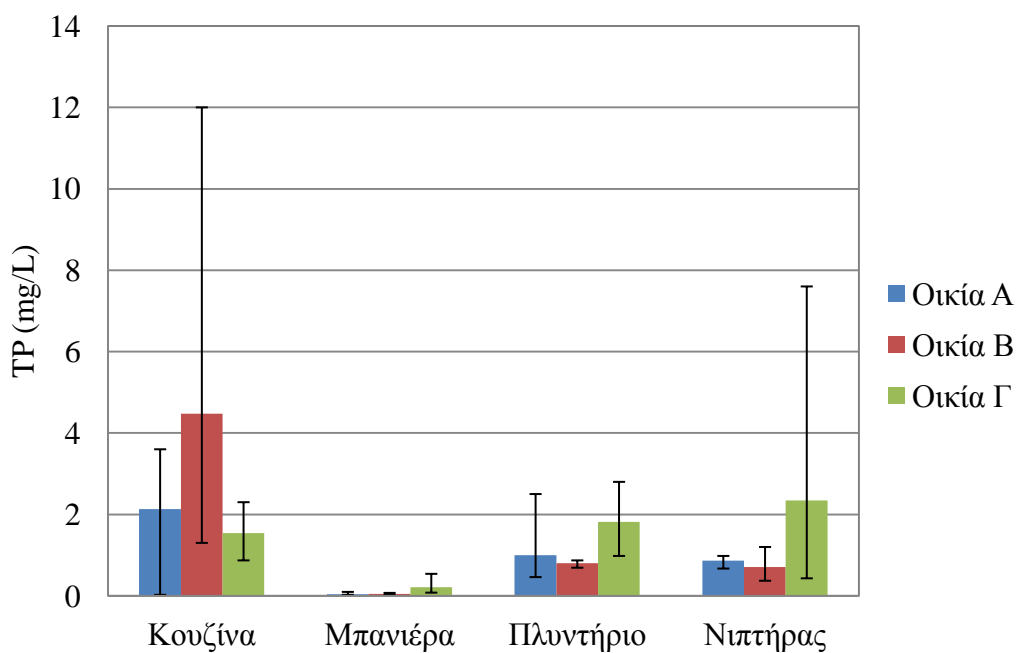
Σχήμα 4.30 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση διαλυτού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



Σχήμα 4.31 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση διαλυτού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά οικία



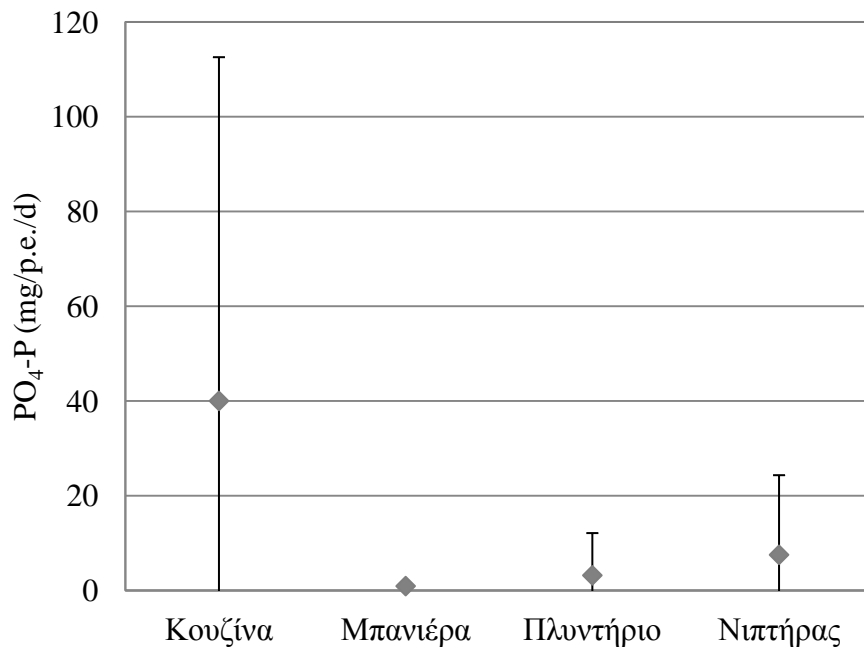
Σχήμα 4.32 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



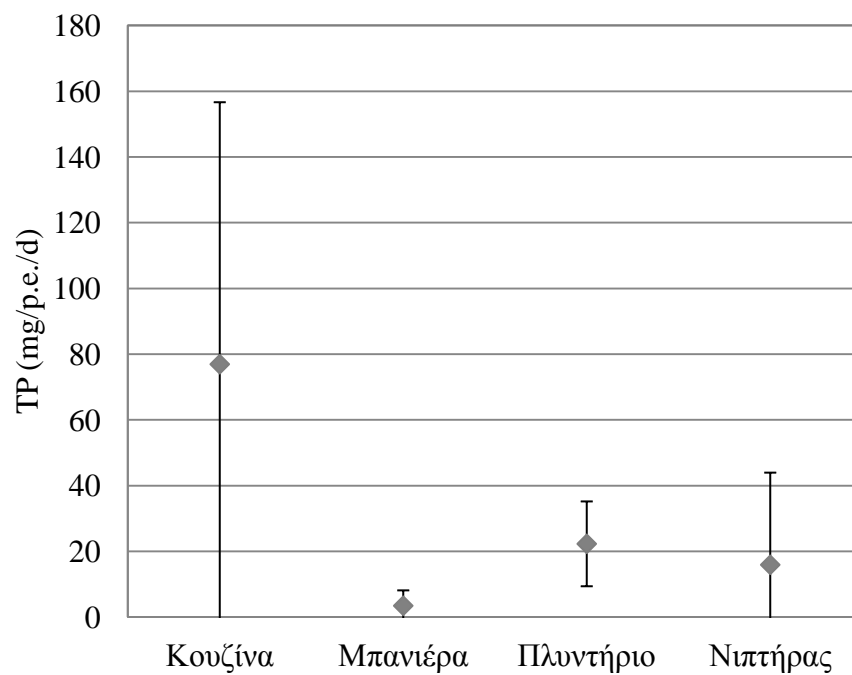
Σχήμα 4.33 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού φωσφόρου στο γκρίζο νερό ανά οικία

Στα Σχήματα 4.34 και 4.35 παρουσιάζονται το ανά κάτοικο και ημέρα φορτίο διαλυτού και ολικού φωσφόρου, αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι το πιο υψηλό φορτίο του διαλυτού φωσφόρου εντοπίζεται στην κουζίνα ($40,0 \pm 72,5$ mg ανά κάτοικο και ημέρα), καθώς και το υψηλό φορτίο του ολικού φωσφόρου ($76,9 \pm 79,7$ mg ανά κάτοικο και ημέρα). Ιδιαίτερα

χαμηλό προέκυψε το φορτίο στη μπανιέρα, τόσο για τον διαλυτό όσο και για τον ολικό φώσφορο.



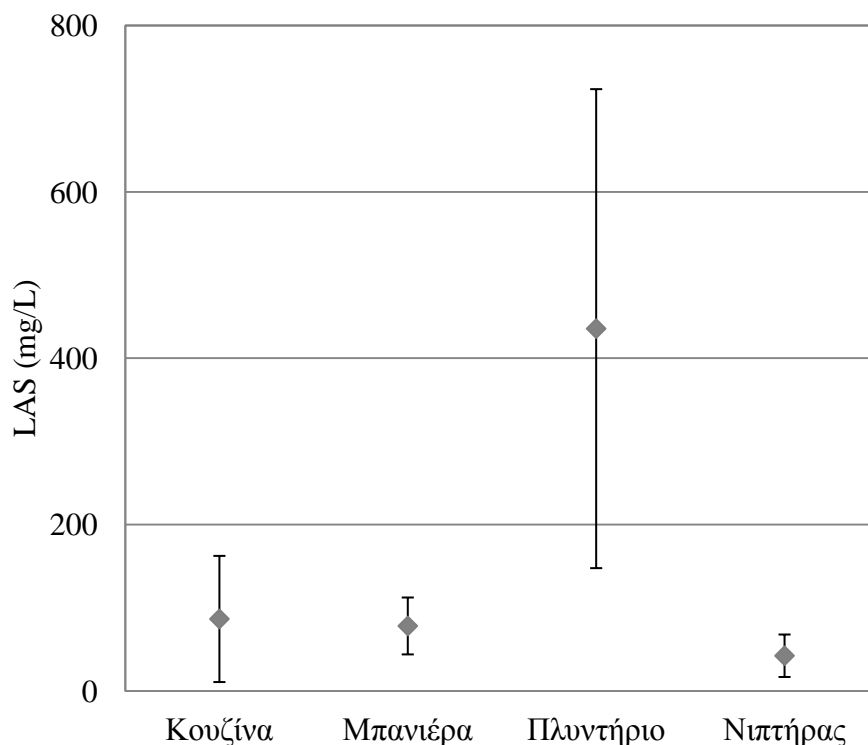
Σχήμα 4.34 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση διαλυτού φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό



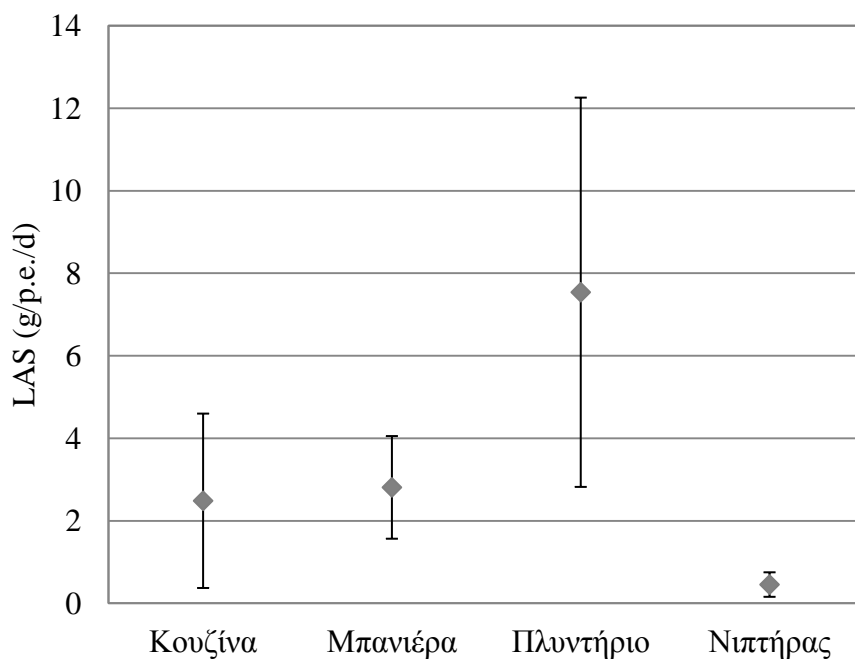
Σχήμα 4.35 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Στο Σχήμα 4.36 παρουσιάζεται η μέση συγκέντρωση των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων ανά πηγή προέλευσης γκρίζου νερού. Οι ανιονικές τασιενεργές ενώσεις (LAS) βρίσκονται σε υψηλότερη συγκέντρωση στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου (69-820 mg/L). Η συγκέντρωση στις υπόλοιπες ροές βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα. Η συγκέντρωση στη ροή της κουζίνας κυμαίνεται μεταξύ 19 mg/L και 258 mg/L, στη ροή της μπανιέρας μεταξύ 20 και 141 mg/L και στον νιπτήρα μεταξύ 6,5 mg/L και 94 mg/L. Τα LAS κυρίως απατώνται στα απορρυπαντικά ρούχων σε μορφής σκόνης και υγρού, στα υγρά σαπούνια πιάτων και σε καθαριστικά. Το 80% των παραγόμενων LAS χρησιμοποιούνται στα απορρυπαντικά ρούχων και στα καθαριστικά (www.lasinfo.org). Οπότε η υψηλή συγκέντρωση LAS που προσδιορίστηκε στα λύματα που προέρχονται από τη χρήση του πλυντηρίου ήταν αναμενόμενη καθώς και το ιδιαίτερα υψηλό ανά κάτοικο φορτίο (Σχήμα 4.37), η μέση τιμή του οποίου είναι 7,5 g ανά κάτοικο και ημέρα. Αντίθετα, στις υπόλοιπες τρεις ροές που μελετήθηκαν, το αντίστοιχο φορτίο προέκυψε μικρότερο από 3 g ανά κάτοικο και ημέρα.

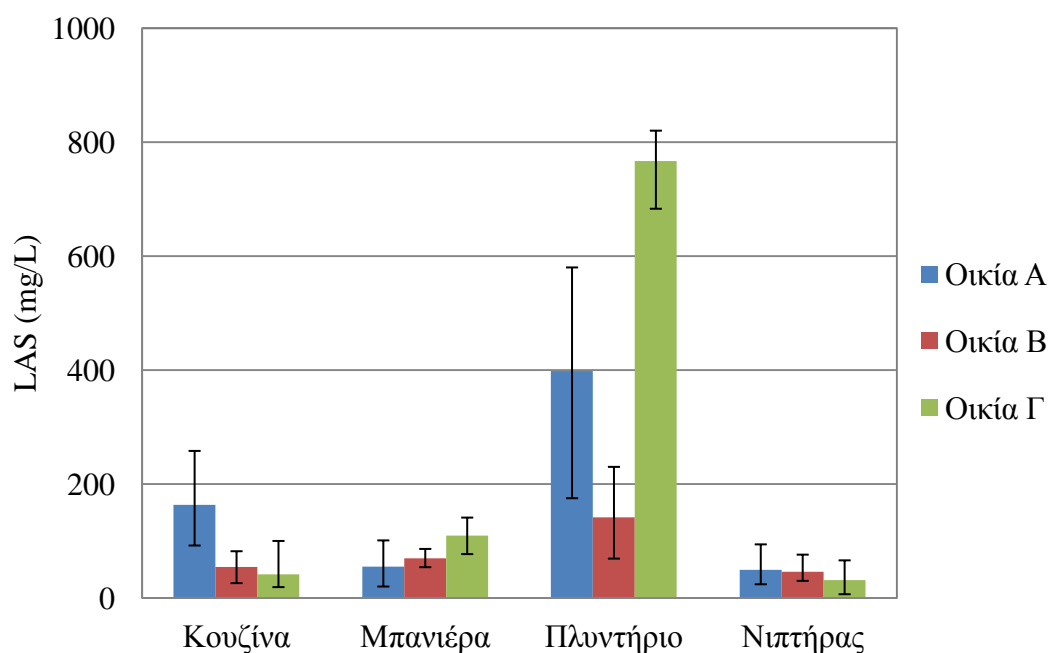
Στην περίπτωση των τασιενεργών ενώσεων είναι ιδιαίτερα αισθητή η επιρροή των συνηθειών των κατοίκων. Στην Οικία Γ η συγκέντρωση των LAS στη ροή του πλυντηρίου είναι σημαντικά υψηλότερη, πιθανώς λόγω διαφορετικών συνηθειών των κατοίκων (ποσότητα απορρυπαντικού, χρήση πρόγραμμα πρόπλυσης, τύπος απορρυπαντικού). Επίσης, στη ροή της κουζίνας, παρατηρείται υψηλότερη –σχεδόν τριπλάσια– συγκέντρωση στην Οικία Α σε σχέση με τις Οικίες Β και Γ (Σχήμα 4.38).



Σχήμα 4.36 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



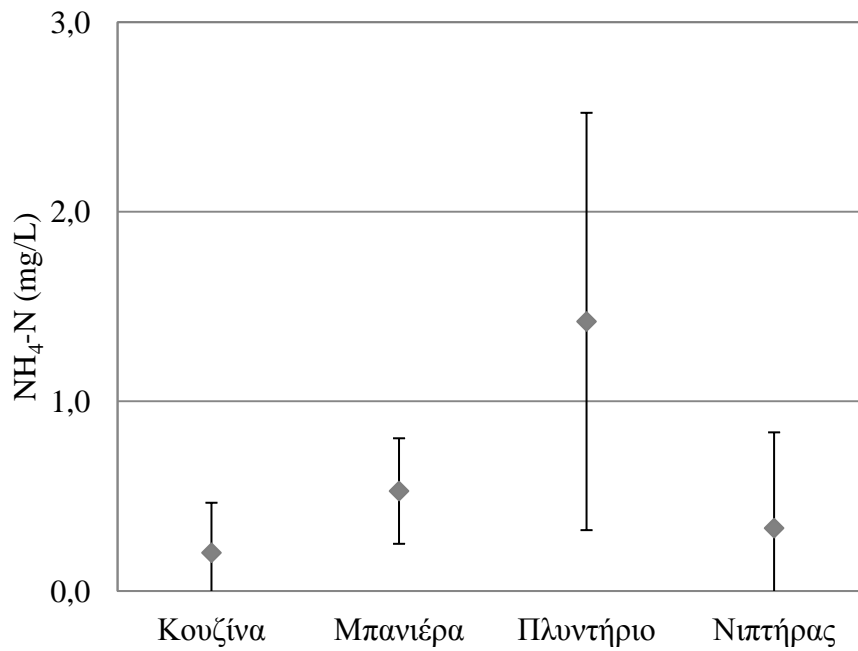
Σχήμα 4.37 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό



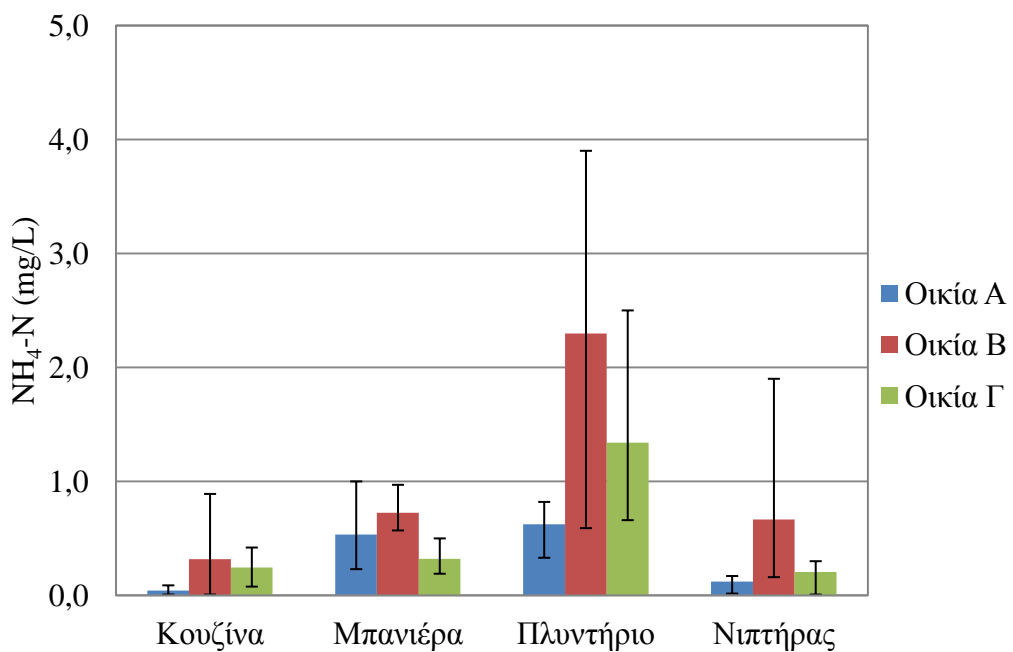
Σχήμα 4.38 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση τασιενεργών ενώσεων στο γκρίζο νερό ανά οικία

Στα Σχήματα 4.39-4.48 παρουσιάζεται η συγκέντρωση αζώτου (αμμωνιακού, νιτρικού, νιτρώδους, TKN και ολικού αζώτου) ανά ροή γκρίζου νερού. Η υψηλότερη συγκέντρωση αμμωνίας καταγράφηκε στην ροή του πλυντηρίου ρούχων ($1,4 \pm 1,1$ mg/L). Ιδιαίτερα χαμηλή προέκυψε η συγκέντρωση αμμωνίας στην κουζίνα ($0,20 \pm 0,26$ mg/L). Η συγκέντρωση

αμμωνίας που μετρήθηκε στη ροή της μπανιέρας και του νιπτήρα προέκυψε σε συγκρίσιμα επίπεδα ($0,53 \pm 0,28$ mg/L και $0,33 \pm 0,50$ mg/L, αντίστοιχα).



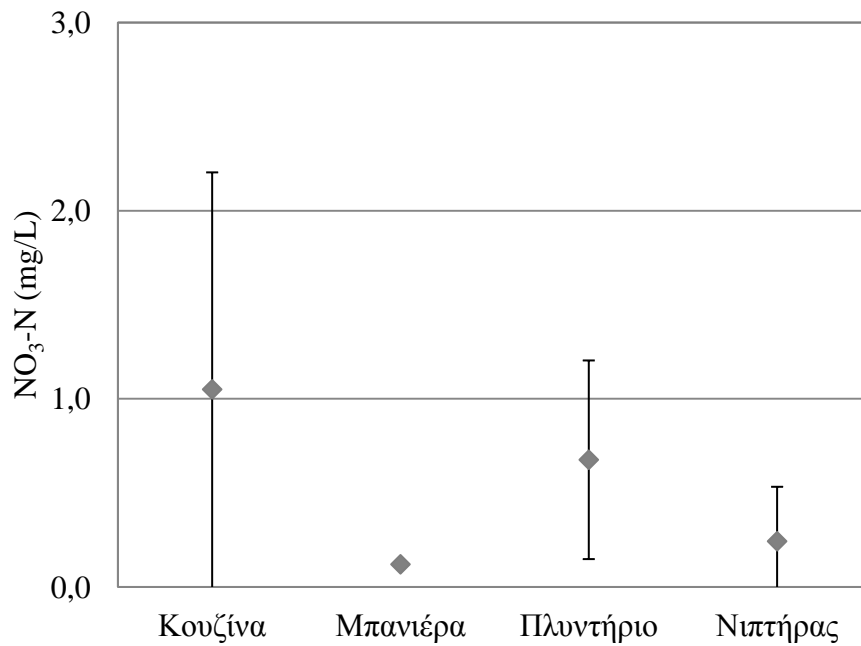
Σχήμα 4.39 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση αμμωνιακού αζώτου στο γκριζο νερό ανά πηγή προέλευσης



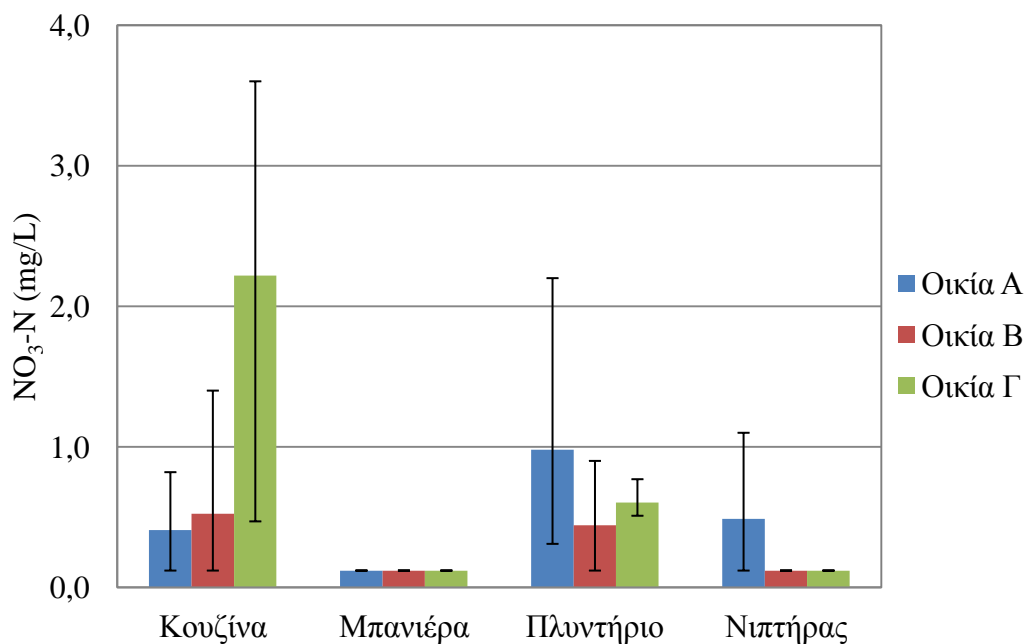
Σχήμα 4.40 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στο γκριζο νερό ανά οικία

Η συγκέντρωση του νιτρικού αζώτου στο γκριζο νερό της μπανιέρας προέκυψε σε όλα τα δείγματα μικρότερη του ορίου ανίχνευσης. Η υψηλότερη μέση συγκέντρωση εντοπίστηκε στη

ροή της κουζίνας ($1,1 \pm 1,2$ mg/L), ενώ όπως προκύπτει από το Σχήμα 4.42 στην Οικία Γ μετράται υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τις Οικίες Α και Β.



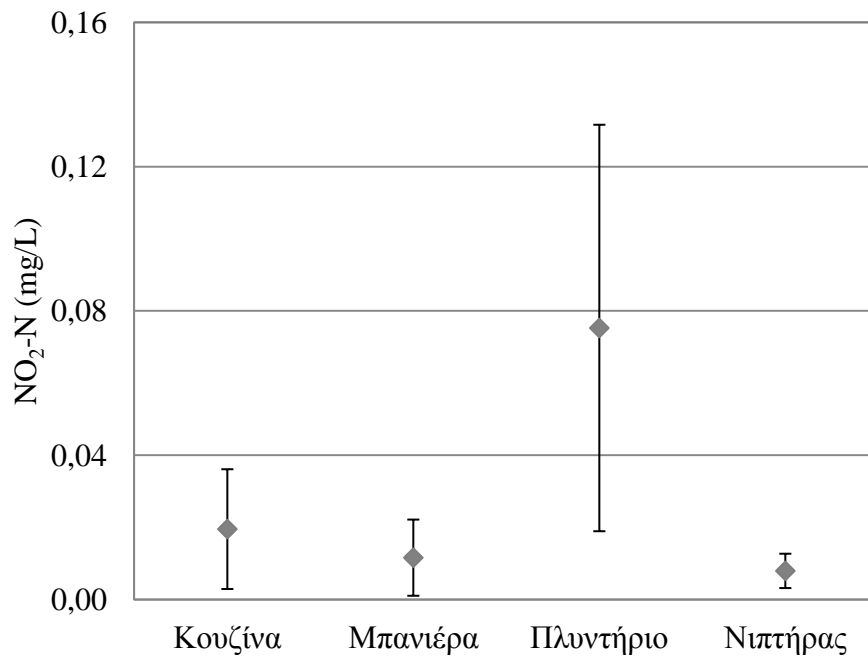
Σχήμα 4.41 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση νιτρικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



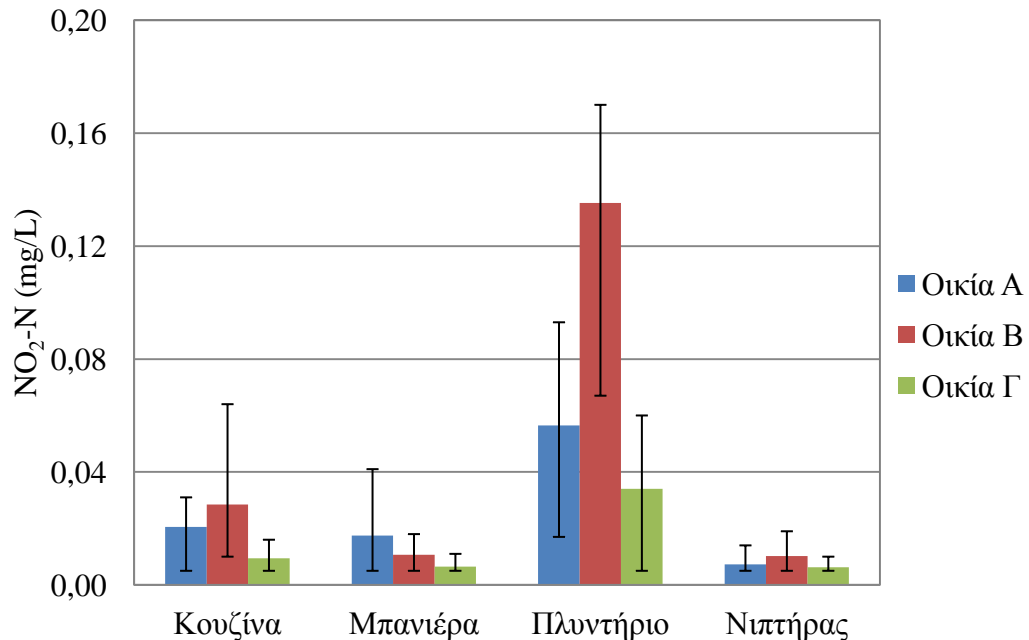
Σχήμα 4.42 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση νιτρικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις νιτρώδους αζώτου μετρήθηκαν στη ροή του πλυντηρίου (με μέση τιμή 75 ± 56 mg/L), με τα δείγματα που προέρχονται από την Οικία Β να συμβάλλουν στην παρατήρηση αυτή καθώς παρουσιάζουν τις μέγιστες συγκεντρώσεις (Σχήμα 4.44). Οι

συγκεντρώσεις νιτρώδους αζώτου στις ροές της κουζίνας, της μπανιέρας και του νιπτήρα είναι σημαντικά μικρότερες.



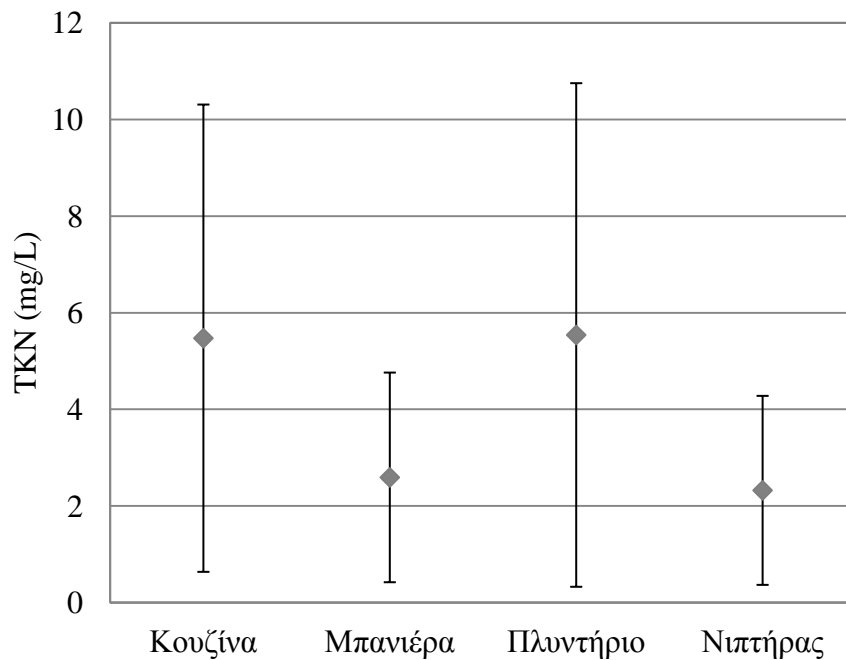
Σχήμα 4.43 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση νιτρώδους αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



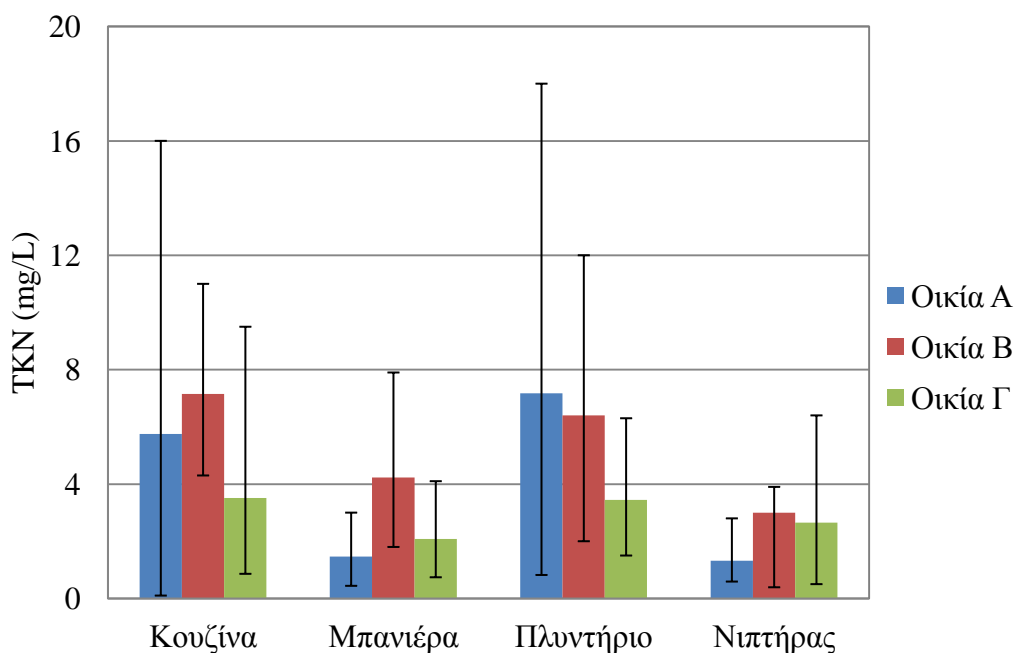
Σχήμα 4.44 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση νιτρώδους αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία

Το ολικό κατά Kjeldahl άζωτο στις ροές της κουζίνας και του πλυντηρίου ρούχων βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο ($5,5 \pm 4,8$ mg/L και $5,5 \pm 5,2$ mg/L, αντίστοιχα). Οι ροές της μπανιέρας και του

νιπτήρα παρουσιάζουν επίσης παρόμοια χαρακτηριστικά ($2,6 \pm 2,2$ mg/L και $2,3 \pm 2,0$ mg/L, αντίστοιχα).



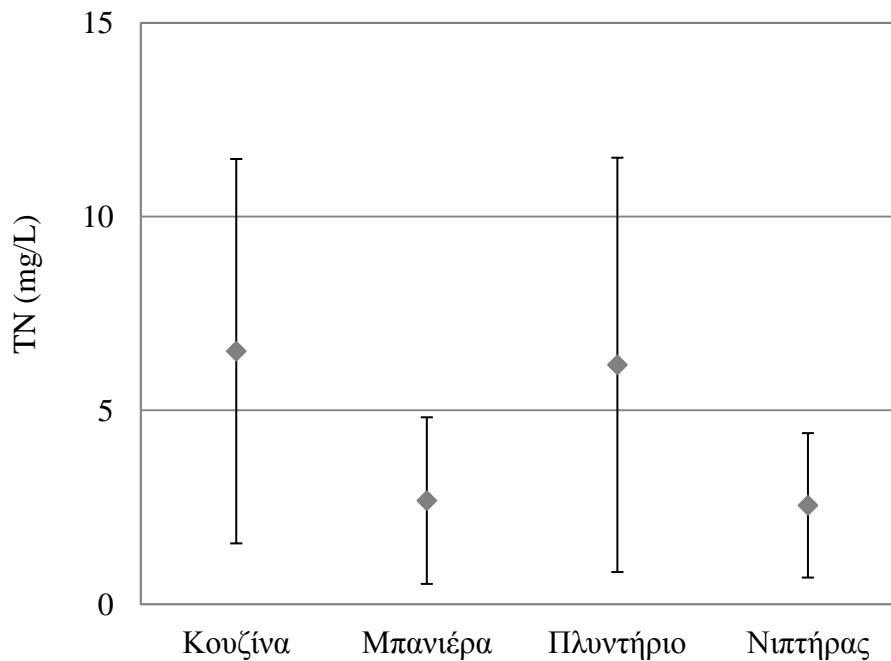
Σχήμα 4.45 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού κατά Kjeldahl αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



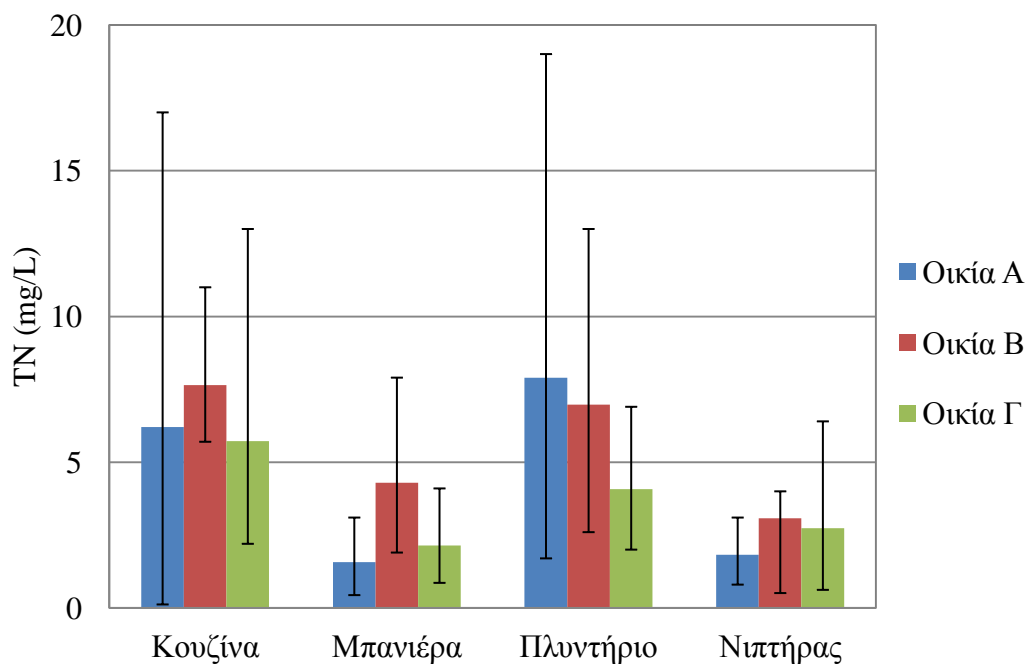
Σχήμα 4.46 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού κατά Kjeldahl αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία

Το ολικό κατά Kjeldahl άζωτο έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στη συγκέντρωση του ολικού αζώτου και κατά συνέπεια το ολικό άζωτο παρουσιάζει την ίδια τάση –οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μετρήθηκαν στις ροές της κουζίνας και του πλυντηρίου ρούχων, οι οποίες

προέκυψαν σε συγκρίσιμα επίπεδα ($6,5 \pm 5,0$ mg/L και $6,2 \pm 5,3$ mg/L, αντίστοιχα), ενώ οι ροές της μπανιέρας και του νιπτήρα παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις ($2,7 \pm 2,2$ mg/L και $2,5 \pm 1,9$ mg/L, αντίστοιχα).



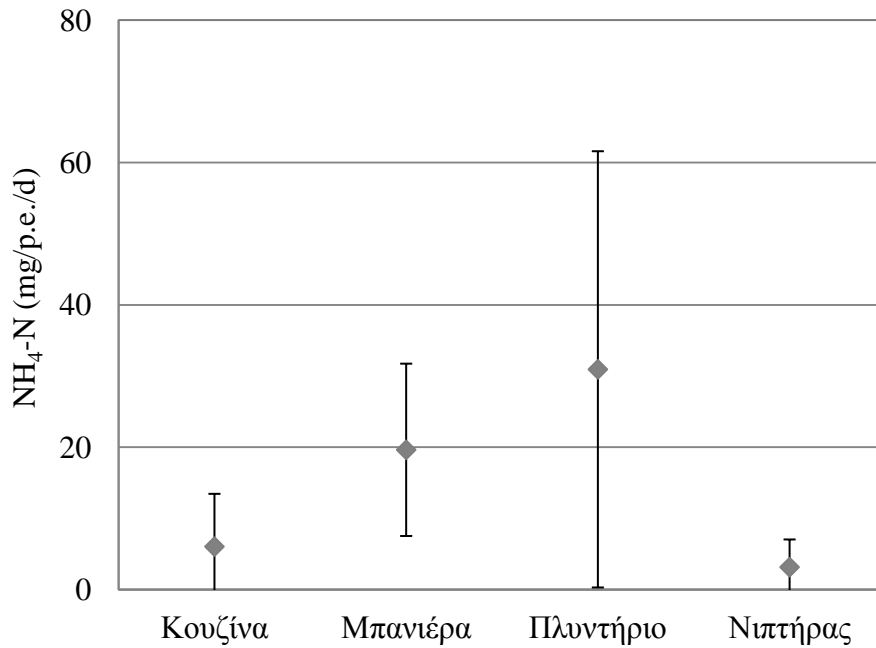
Σχήμα 4.47 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση ολικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



Σχήμα 4.48 Μέση, ελάχιστη και μέγιστη συγκέντρωση ολικού αζώτου στο γκρίζο νερό ανά οικία

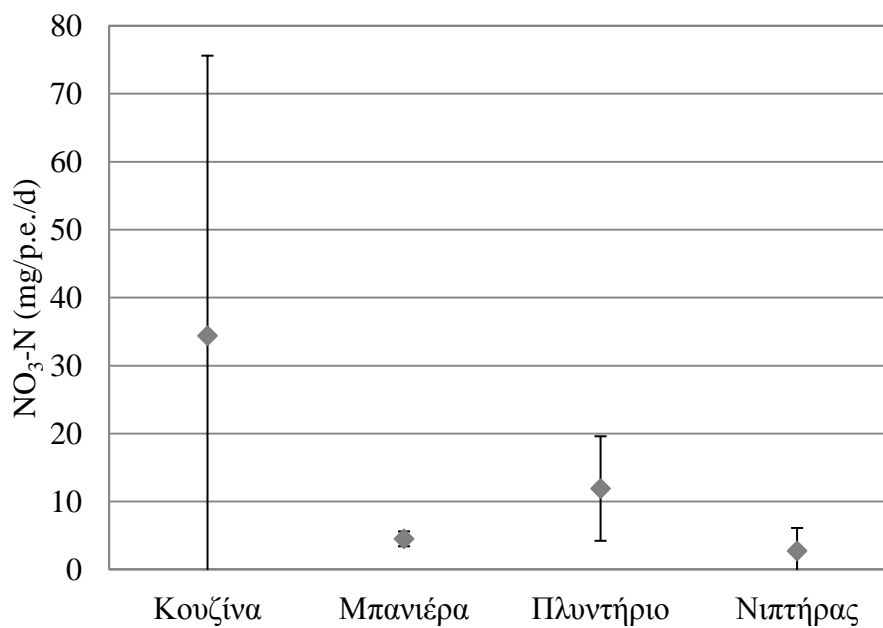
Στα Σχήματα 4.49-4.53 παρουσιάζονται τα ανά κάτοικο ημερήσια φορτία αζώτου. Το μέσο φορτίο αμμωνιακού αζώτου στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου είναι ίσο με 30,9 mg ανά

κάτοικο και ημέρα, στο γκρίζο νερό της μπανιέρας ίσο με 19,6 mg ανά κάτοικο και ημέρα, ενώ στο γκρίζο νερό του νιπτήρα και της κουζίνας είναι μικρότερο από 10 mg (Σχήμα 4.49).



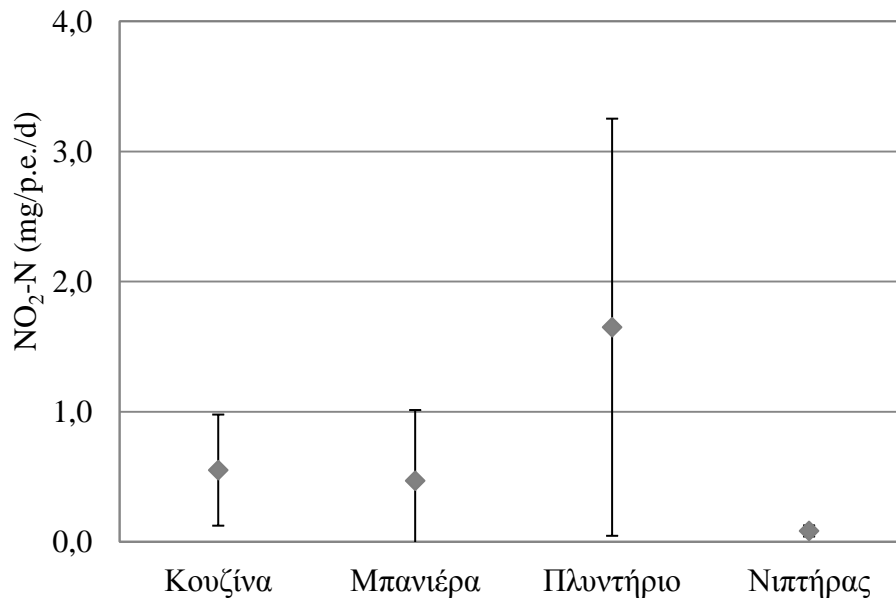
Σχήμα 4.49 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση αμμωνιακού αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Το μέσο φορτίο νιτρικού αζώτου στο γκρίζο νερό της κουζίνας είναι ίσο με 34,4 mg ανά κάτοικο και ημέρα, στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου ίσο με 11,90 mg ανά κάτοικο και ημέρα, ενώ στο γκρίζο νερό του νιπτήρα και της μπανιέρας είναι μικρότερο από 5 mg (Σχήμα 4.50).



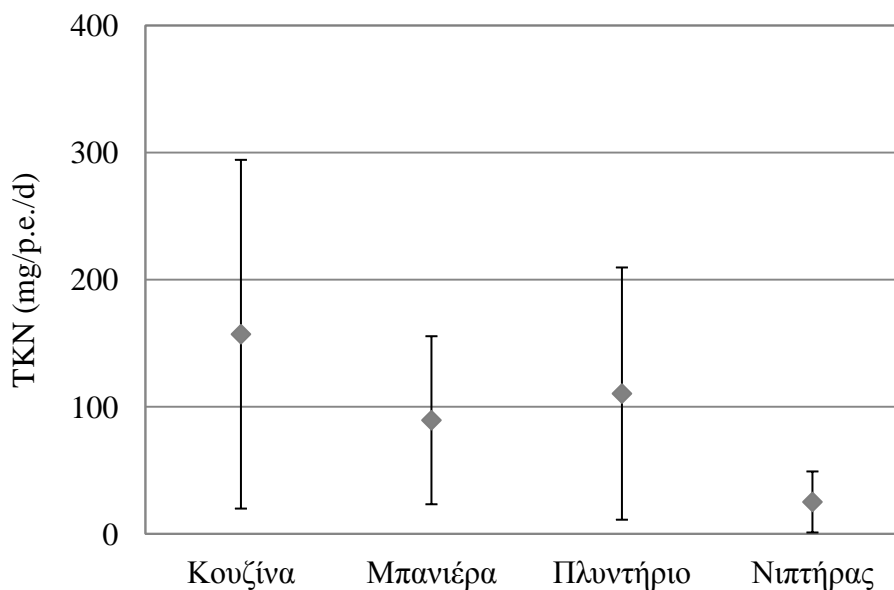
Σχήμα 4.50 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση νιτρικού αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Αντίστοιχα, το μέσο φορτίο νιτρώδους αζώτου στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου είναι ίσο με 1,65 mg ανά κάτοικο και ημέρα, ενώ στο γκρίζο νερό του νιπτήρα, της μπανιέρας και της κουζίνας είναι μικρότερο από 0,6 mg ανά κάτοικο και ημέρα (Σχήμα 4.51).



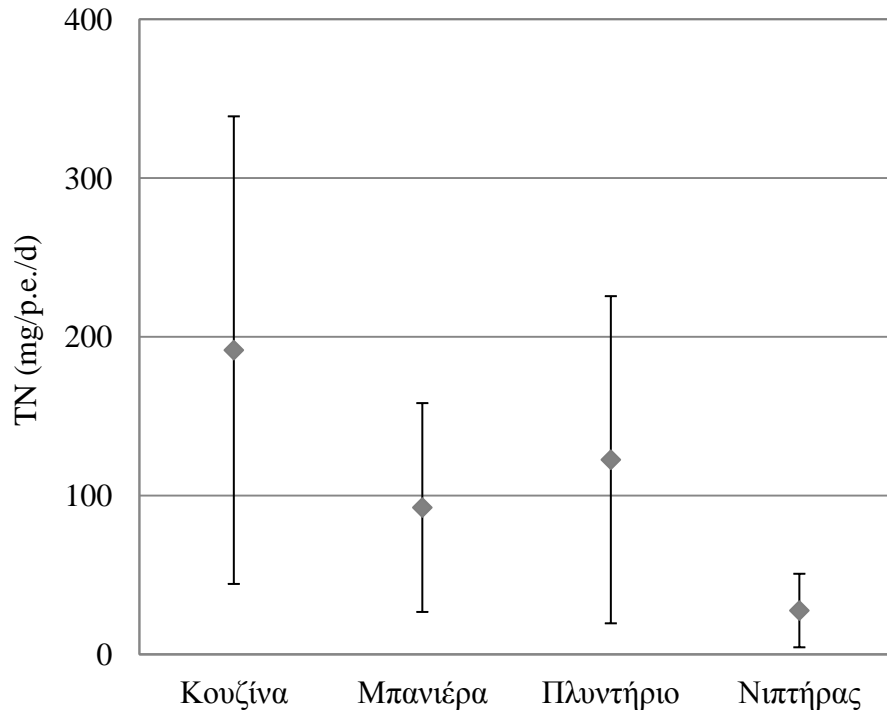
Σχήμα 4.51 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση νιτρώδους αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Το φορτίο του ολικού κατά Kjeldahl αζώτου βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές αζώτου. Το μέσο φορτίο στο γκρίζο νερό της κουζίνας είναι ίσο με 157 mg ανά κάτοικο και ημέρα, στο γκρίζο νερό της μπανιέρας ίσο με 89 mg ανά κάτοικο και ημέρα, στο γκρίζο νερό του νιπτήρα 25 mg ανά κάτοικο και του πλυντηρίου ρούχων 110 mg (Σχήμα 4.52).



Σχήμα 4.52 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού κατά Kjeldahl αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

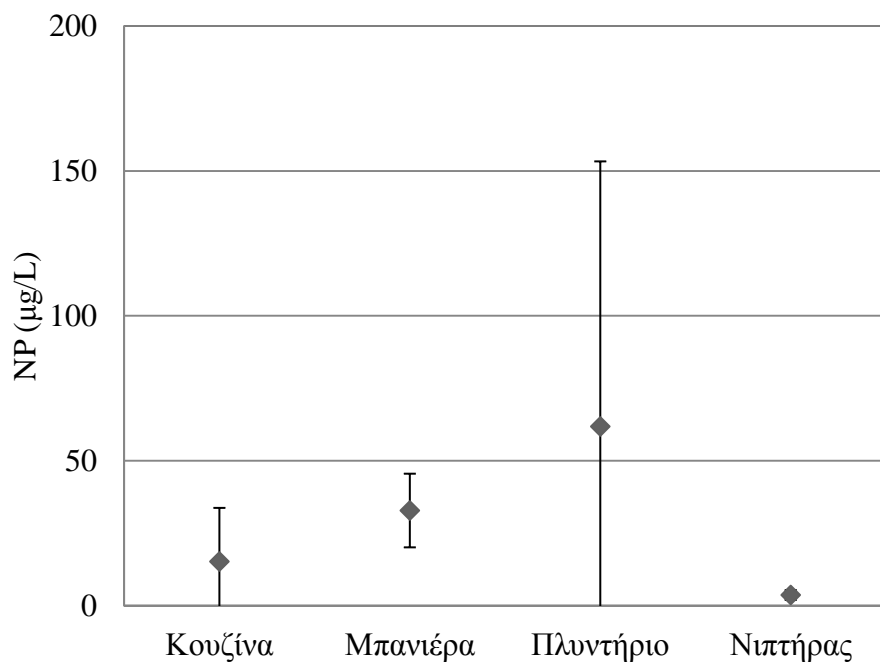
Το ολικό άζωτο βρίσκεται στα επίπεδα του TKN. Το μέσο φορτίο στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου είναι ίσο με 123 mg ανά κάτοικο και ημέρα, στο γκρίζο νερό της μπανιέρας ίσο με 92 mg ανά κάτοικο και ημέρα, στο γκρίζο νερό του νιπτήρα 28 mg ανά κάτοικο και της κουζίνας 192 mg (Σχήμα 4.53).



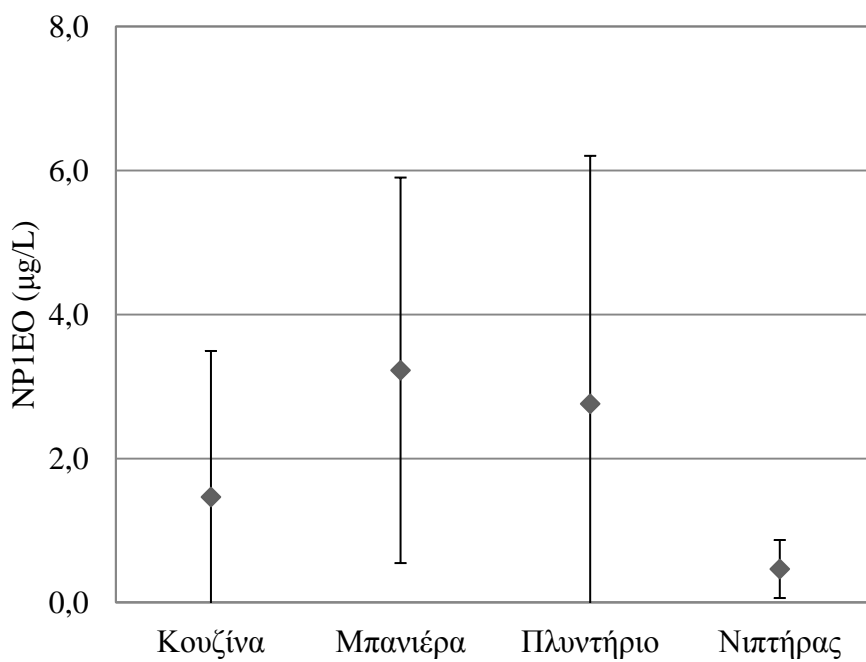
Σχήμα 4.53 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση ολικού αζώτου ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Στα Σχήματα 4.54-4.56 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις εννεύλοφαινόλης, μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης και δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης. Υψηλές συγκεντρώσεις καταγράφονται στην ροή του πλυντηρίου ρούχων (61,8 µg NP/L, 2,76 µg NP1EO/L, 2,89 µg NP2EO/L μέσες τιμές), πιθανώς λόγω της χρήσης απορρυπαντικών ρούχων, ενώ στη ροή του νιπτήρα οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά χαμηλότερες (3,66 µg NP/L, 0,465 µg NP1EO/L, 0,206 µg NP2EO/L μέσες τιμές). Η συγκέντρωση της μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό που προέρχεται από τη μπανιέρα είναι $3,22 \pm 2,68$ µg/L και της δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης $2,39 \pm 11,49$ µg/L. Οι αντίστοιχες τιμές για την κουζίνα είναι $1,46 \pm 2,03$ µg/L και $1,30 \pm 2,84$ µg/L.

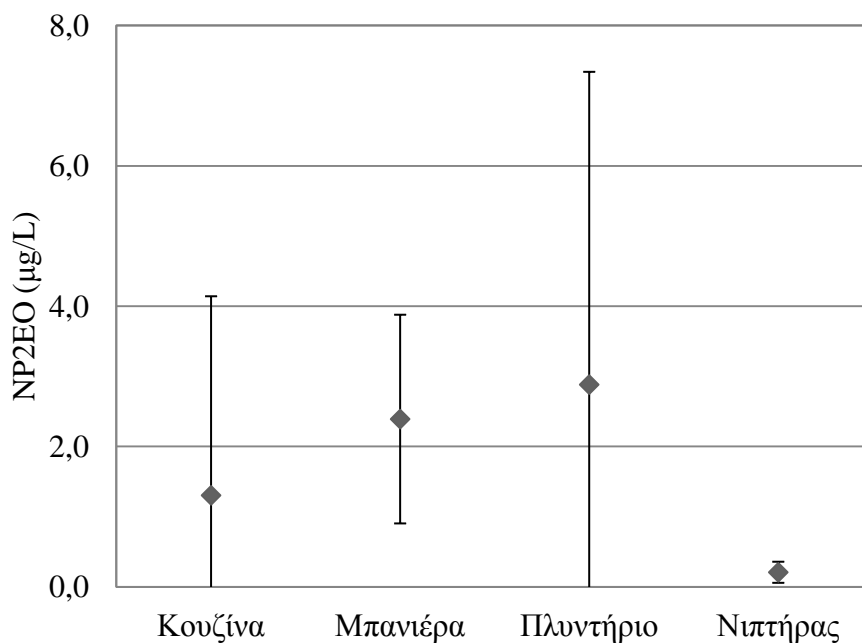
Όσο αφορά την τρικλοζάνη στο γκρίζο νερό, η υψηλότερη συγκέντρωση εντοπίζεται στο γκρίζο νερό της μπανιέρας ($0,436 \pm 0,385$ µg/L), η οποία οφείλεται πιθανώς στη χρήση προϊόντων προσωπικής υγιεινής (Σχήμα 4.57). Η συγκέντρωση τρικλοζάνης στο γκρίζο νερό του νιπτήρα είναι $0,208 \pm 0,232$ µg/L. Η συγκέντρωση στην κουζίνα και το πλυντήριο είναι σημαντικά χαμηλότερες, όπως ήταν αναμενόμενο καθώς η τρικλοζάνη εντοπίζεται κυρίως στα αντιβακτηριδιακά προϊόντα.



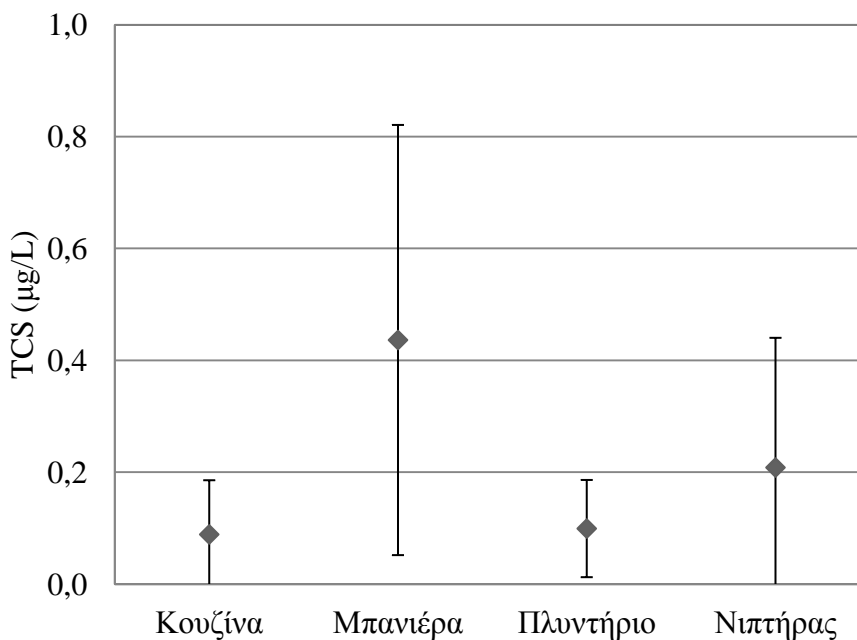
Σχήμα 4.54 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



Σχήμα 4.55 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



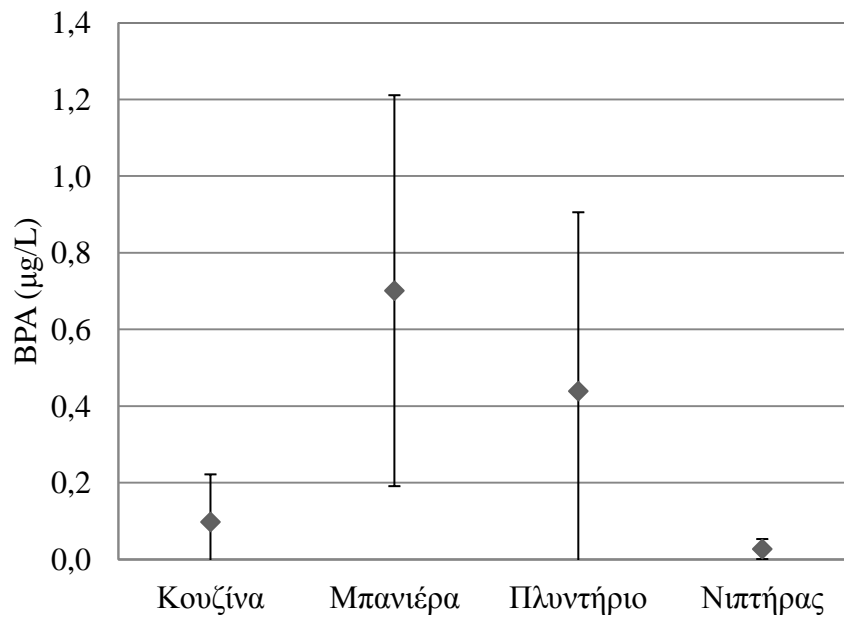
Σχήμα 4.56 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης



Σχήμα 4.57 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση τρικλοζάνης στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης

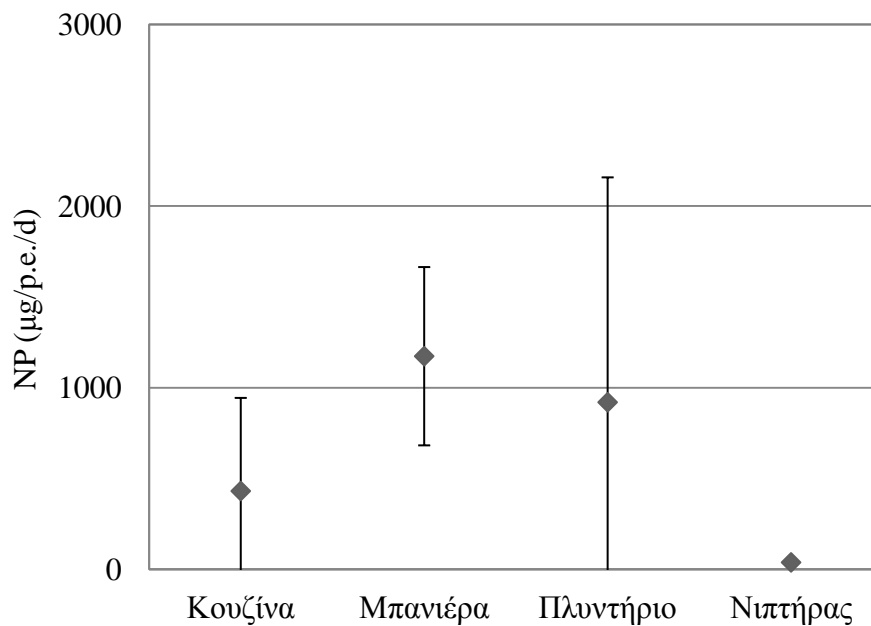
Στο Σχήμα 4.58 παρουσιάζεται η συγκέντρωση δισφαινόλης Α στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης. Η μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση δισφαινόλης στο γκρίζο νερό εντοπίζεται στη ροή της μπανιέρας ($0,701 \pm 0,510$ µg/L). Η συγκέντρωση δισφαινόλης στο γκρίζο νερό του πλυντηρίου ρούχων είναι $0,439 \pm 0,467$ µg/L. Οι μέσες συγκεντρώσεις στην κουζίνα και τον νιπτήρα είναι σημαντικά χαμηλότερες, μικρότερες από 0,1 µg/L. Ωστόσο, δεδομένου ότι η

κύρια χρήση της δισφαινόλης είναι στην παραγωγή συσκευασιών τροφίμων, θα αναμενόταν υψηλότερη συγκέντρωση στη ροή της κουζίνας, σε σχέση με τις υπόλοιπες ροές.



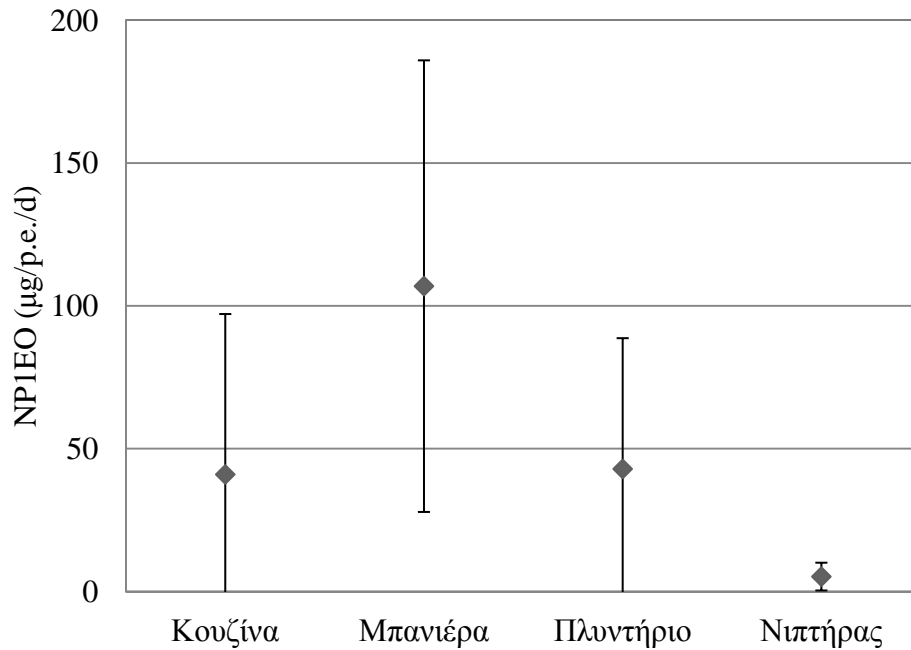
Σχήμα 4.58 Μέση συγκέντρωση και τυπική απόκλιση δισφαινόλης Α στο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης

Στο Σχήμα 4.59 παρουσιάζεται το μέσο φορτίο εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό. Τα υψηλότερα φορτία καταγράφονται στη μπανιέρα και το πλυντήριο, με μέσες τιμές 1172 µg ανά κάτοικο και ημέρα και 919 µg ανά κάτοικο και ημέρα, αντίστοιχα. Ωστόσο, η ροή του πλυντηρίου παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση, όπως γίνεται φανερό από το Σχήμα. Τα φορτία της κουζίνας και του νιπτήρα είναι αρκετά χαμηλότερα.

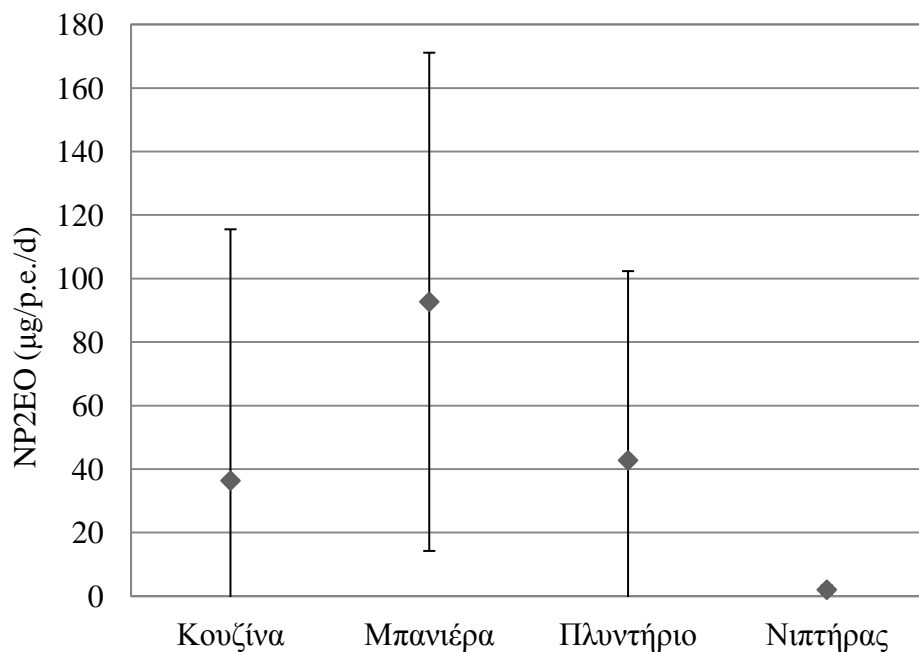


Σχήμα 4.59 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Το φορτίο μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό που προέρχεται από τη μπανιέρα είναι ίσο με $107 \pm 79,0$ μg , ενώ αντίστοιχα το φορτίο δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης είναι $92,7 \pm 78,4$ μg ανά κάτοικο και ημέρα. Στη ροή του πλυντηρίου ρούχων το φορτίο μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης είναι $42,9 \pm 45,8$ μg ανά κάτοικο και ημέρα και δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης $42,8 \pm 59,6$ μg .

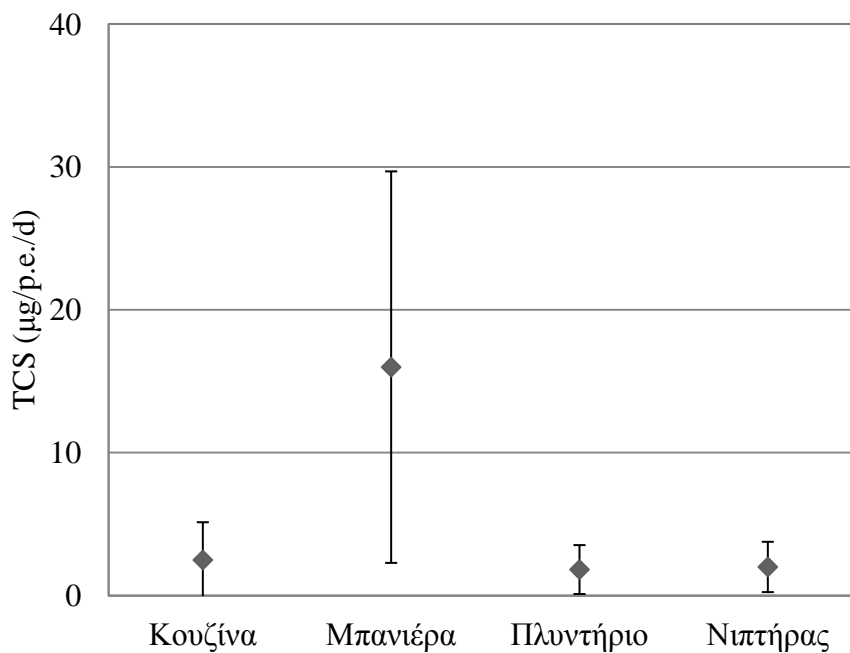


Σχήμα 4.60 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

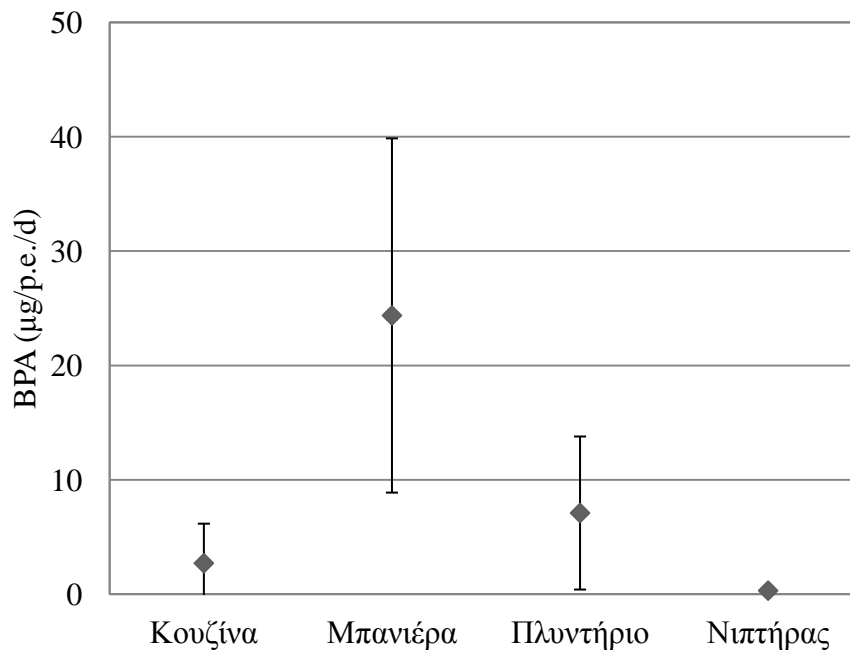


Σχήμα 4.61 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Το μέγιστο φορτίο της τρικλοζάνης και της δισφαινόλης Α εντοπίζεται στη ροή της μπανιέρας, με μέσες τιμές $16,0 \pm 13,4$ μg ανά κάτοικο και ημέρα και $24,4 \pm 15,5$ μg ανά κάτοικο και ημέρα, αντίστοιχα.



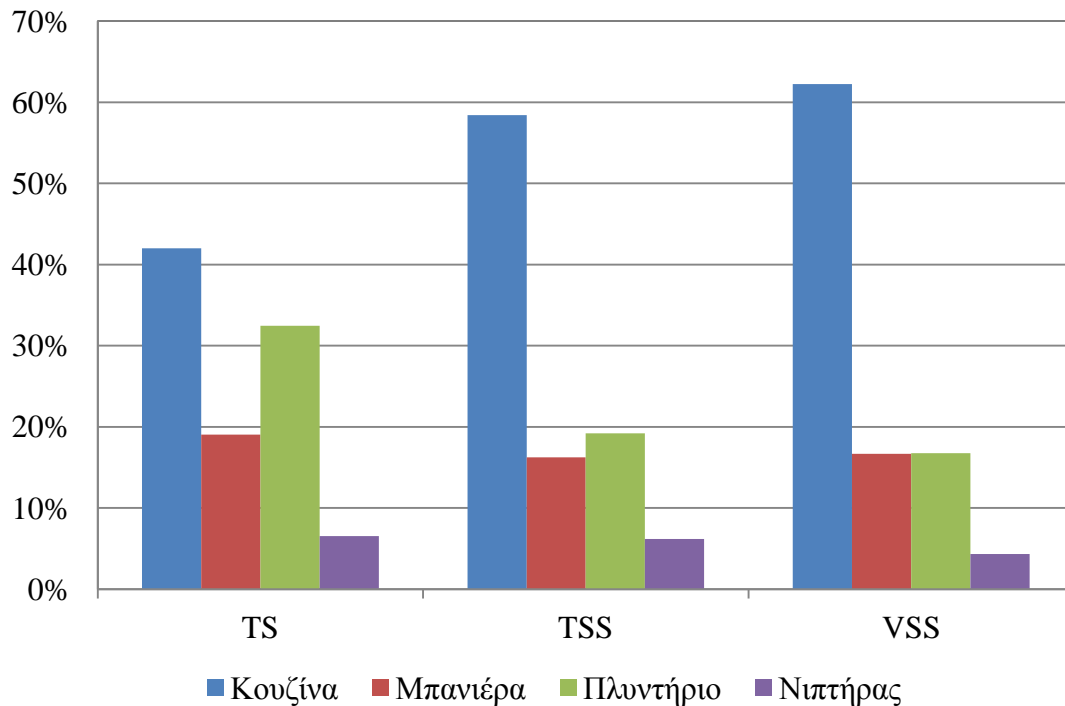
Σχήμα 4.62 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση τρικλοζάνης ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό



Σχήμα 4.63 Μέσο φορτίο και τυπική απόκλιση δισφαινόλης Α ανά κάτοικο και ημέρα στο γκρίζο νερό

Στο Σχήμα 4.64 παρουσιάζεται η κατανομή της συνολικής μάζας στερεών (ολικών, ολικών και πτητικών αιωρούμενων στερεών) στο μίκτο γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης. Το 42% της ημερήσιας παραγόμενης μάζας των ολικών στερεών στο γκρίζο νερό προέρχεται από την

κουζίνα. Το 19% προέρχεται από τη μπανιέρα, το 32 % από το πλυντήριο ρούχων και μόλις το 7% από τον νιπτήρα. Αντίστοιχα, από τη συνολική ημερήσια παραγόμενη ποσότητα ολικών αιωρούμενων στερεών, το 58% προέρχεται από την κουζίνα, το 16% από το πλυντήριο ρούχων, το 19% από τη μπανιέρα και το 6% από τον νιπτήρα. Η κατανομή της μάζας των πτητικών αιωρούμενων στερεών στις διάφορες ροές του γκρίζου νερού ακολουθεί την ίδια τάση με τα ολικά αιωρούμενα στερεά. Το μεγαλύτερο ποσοστό προέρχεται από το την κουζίνα (62%), ενώ χαμηλότερα είναι τα ποσοστά της μπανιέρας, του πλυντηρίου ρούχων και του νιπτήρα (17%, 17% και 4%, αντίστοιχα).

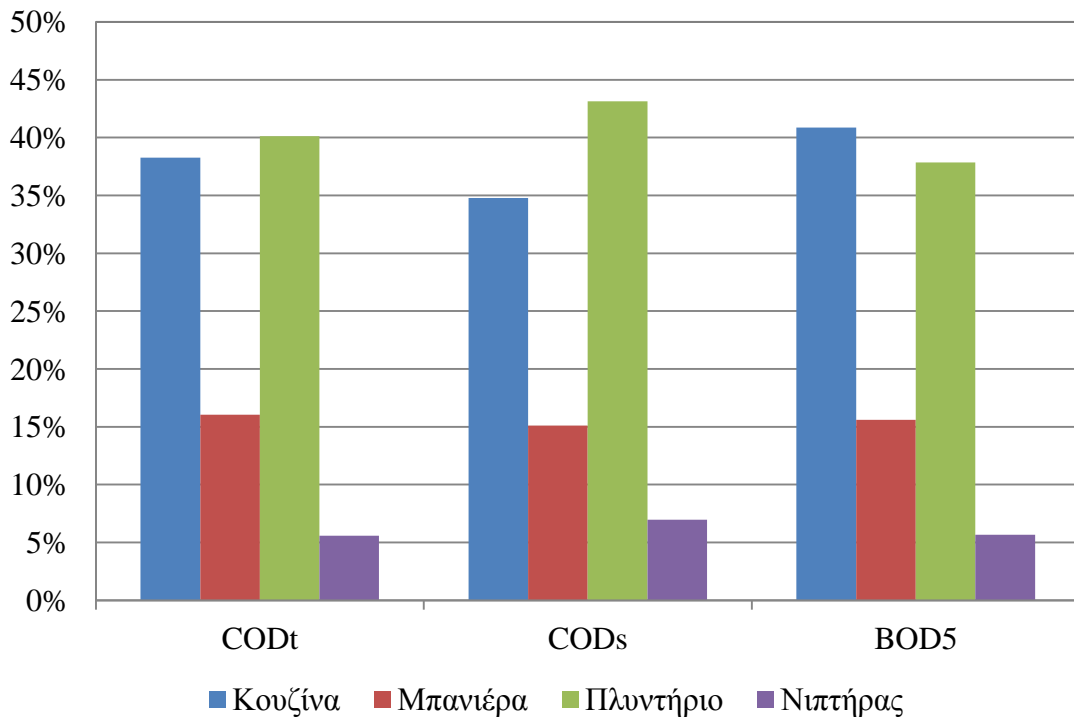


Σχήμα 4.64 Ποσοστιαία συνεισφορά μάζας ανά πηγή προέλευσης στο συνολικό φορτίο στερεών

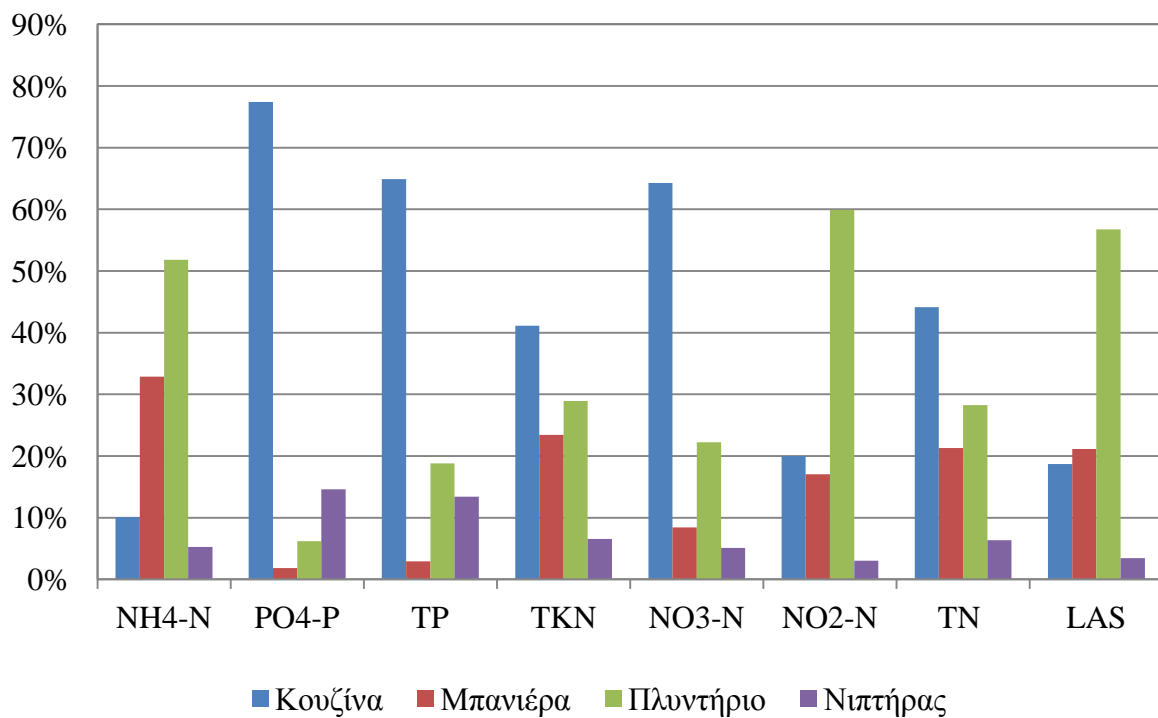
Στο Σχήμα 4.65 παρουσιάζεται η κατανομή της συνολικής μάζας COD_t, COD_s και BOD₅ στο μικτό γκρίζο νερό ανά πηγή προέλευσης. Γίνεται φανερή η σημαντική συνεισφορά μάζας της ροής του πλυντηρίου σε όλες τις παραμέτρους που αφορούν την απαίτηση οξυγόνου του γκρίζου νερού. Το ποσοστό συνεισφοράς του πλυντηρίου ρούχων στην ημερήσια παραγόμενη ποσότητα COD_t, COD_s και BOD₅ είναι 40%, 43% και 38% αντίστοιχα. Η συνεισφορά της ροής της κουζίνας βρίσκεται σε παρόμοια επίπεδα, ενώ η συνεισφορά του νιπτήρα και της μπανιέρας είναι χαμηλότερη.

Στο Σχήμα 4.66 παρουσιάζεται η συνεισφορά μάζας κάθε πηγής προέλευσης γκρίζου νερού, για διάφορες χημικές παραμέτρους. Αξίζει να σημειωθεί η σημαντική συνεισφορά της ροής του πλυντηρίου ρούχων στη συνολική μάζα αμμωνιακού αζώτου, νιτρώδους αζώτου και ανιονικών τασιενεργών ενώσεων στο γκρίζο νερό με ποσοστό 52%, 60% και 57%, αντίστοιχα. Η μάζα του διαλυτού φωσφόρου προέρχεται κατά 77% από τη ροή της κουζίνας, κατά 15% από τον νιπτήρα και κατά 6% από το πλυντήριο ρούχων. Η ροή της μπανιέρας συνεισφέρει ελάχιστα, μόλις 2%. Η μάζα του ολικού φωσφόρου προέρχεται κυρίως από το την κουζίνα (65%). Η μάζα του ολικού κατά Kjeldahl αζώτου προέρχεται κυρίως από την

κουζίνα (41%), ενώ η ροή της μπανιέρας συνεισφέρει κατά 23%. Το νιτρικό άζωτο προέρχεται κυρίως από το πλυντήριο ρούχων (22%) και την κουζίνα (64%).



Σχήμα 4.65 Ποσοστιαία συνεισφορά μάζας ανά πηγή προέλευσης στη συνολική ζήτηση οξυγόνου



Σχήμα 4.66 Ποσοστιαία συνεισφορά μάζας ανά πηγή προέλευσης στο συνολικό φορτίο των χημικών ιδιοτήτων του γκριζου νερού

4.1.4 Χαρακτηριστικά μικτού γκρίζου νερού με διαφορετική σύνθεση

Στις Ενότητες 4.1.2 και 4.1.3 παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων ροών γκρίζου νερού. Σε αυτά τα αποτελέσματα βασίστηκε ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του μικτού γκρίζου νερού με τη σύνθεση που αυτό προκύπτει με βάση την ποσοστιαία συνεισφορά κάθε παροχής γκρίζου νερού στη συνολική. Συγκεκριμένα, μελετώνται τρεις τύποι μικτού γκρίζου νερού: ο Τύπος Α ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις ροές γκρίζου νερού, ο Τύπος Β ο οποίος περιλαμβάνει τις ροές της μπανιέρας, του πλυντηρίου ρούχων και του νιπτήρα και ο Τύπος Γ ο οποίος περιλαμβάνει αποκλειστικά τις ροές της μπανιέρας και του νιπτήρα (ασθενές γκρίζο νερό). Τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά του μικτού γκρίζου νερού παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.11 και 4.12. Από τη σύγκριση των τριών τύπων μικτού γκρίζου νερού (Α, Β, Γ), παρατηρείται ότι η εξαίρεση της ροής της κουζίνας από τον πρώτο τύπο γκρίζου νερού δεν οδηγεί σε σημαντική βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λυμάτων. Αντίθετα, το ασθενές γκρίζο νερό είναι αισθητά λιγότερο επιβαρυνόμενο. Η εξαίρεση των ροών της κουζίνας και του πλυντηρίου ρούχων από το γκρίζο νερό Τύπου Α οδηγεί σε μείωση της συγκέντρωσης των ολικών στερεών στο γκρίζο νερό Τύπου Γ κατά 50%.

Οι συγκεντρώσεις και το ανά κάτοικο φορτίο των χημικών ιδιοτήτων και των βαρέων μετάλλων στο μικτό γκρίζο νερό παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.13-4.16. Παρατηρείται ότι το γκρίζο νερό Τύπου Α και Τύπου Β έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες. Αντίθετα, το ασθενές γκρίζο νερό παρουσιάζει σημαντική βελτίωση στην ποιότητα σε σχέση με το γκρίζο νερό Τύπου Α και Β, εκτός από την περίπτωση του διαλυτού φωσφόρου, όπου η μέση συγκέντρωση στο γκρίζο νερό Τύπου Β και Γ είναι στα ίδια επίπεδα. Χαρακτηριστικά, η συγκέντρωση του ολικού COD του ασθενούς γκρίζου νερού (401 ± 112 mg/L) αποτελεί σχεδόν το 44% του ολικού COD του γκρίζου νερού τύπου Α (903 ± 286 mg/L). Η συγκέντρωση COD_i στο γκρίζο νερό Τύπου Β (810 ± 346 mg/L) κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με το Τύπο Α. Η συγκέντρωση των LAS στο ασθενές γκρίζο νερό, με μέση συγκέντρωση 68 mg/L, είναι μειωμένη σχεδόν κατά 50% σε σχέση με τη συγκέντρωση στο γκρίζο νερό Τύπου Α και Β. Η συγκέντρωση ολικού φωσφόρου στον Τύπο Α είναι $1,23 \pm 0,89$ mg/L, στον Τύπο Β είναι σημαντικά μειωμένη ($0,63 \pm 0,52$ mg/L) και στον Τύπο Γ είναι ακόμα μικρότερη ($0,41 \pm 0,61$ mg/L). Ο ψευδάργυρος στο μικτό γκρίζο νερό Τύπου Α παρουσιάζει μέση συγκέντρωση ίση με 0,092 mg/L, στο ίδιο επίπεδο με τον Τύπο Β, ενώ στο ασθενές γκρίζο νερό η μέση συγκέντρωση είναι μικρότερη ($0,070$ mg/L). Η συγκέντρωση του χαλκού είναι περίπου 30 μg/L, ανεξαρτήτως σύνθεσης του μικτού γκρίζου νερού.

Η συγκέντρωση των μικροοργανικών ενώσεων στο μικτό γκρίζο νερό παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.17 και το αντίστοιχο ανά κάτοικο και ημέρα φορτίο στον Πίνακα 4.18. Η συγκέντρωση εννεύλοφαινόλης στο γκρίζο νερό Τύπου Α είναι $26,4 \pm 18,1$ μg/L, στον Τύπο Β είναι $30,3 \pm 21,9$ μg/L, ενώ η συγκέντρωση στο ασθενές γκρίζο νερό είναι σαφώς μειωμένη και συγκεκριμένα είναι ίση με $25,5 \pm 11,2$ μg/L. Αντίθετα, στην περίπτωση της τρικλοζάνης και της δισφαινόλης Α η συγκέντρωσή τους αυξάνεται στο γκρίζο νερό Τύπου Γ σε σχέση με τον Τύπο Α, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται η ίδια τάση στο ανά κάτοικο φορτίο.

Πίνακας 4.11 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μικτού γκρίζου νερού

Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος		
	TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L
Τύπου Α ¹	649±151	168±70,3	155±63,4
Τύπου Β ²	543±151	100±31,1	83,6±24,3
Τύπου Γ ³	336±49,5	79,2±31,2	68,2±27,6

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.12 Γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά μικτού γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος		
	TS g/p.e./d	TSS g/p.e./d	VSS g/p.e./d
Τύπου Α ¹	62,8±13,2	16,2±6,93	14,9±5,73
Τύπου Β ²	36,4±9,46	6,73±1,97	5,64±1,64
Τύπου Γ ³	16,1±3,04	3,63±1,03	3,14±1,00

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.13 Χημικές ιδιότητες μικτού γκρίζου νερού

Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος										
	COD _t	COD _s	BOD ₅	PO ₄ -P	TP	LAS	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	TKN	TN
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μg/L	mg/L	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	810±346	449±297	542±242	0,17±0,28	0,63±0,52	162±84,5	0,81±0,53	0,28±0,14	33,0±26,2	3,5±2,1	3,7±2,1
Τύπου Γ ³	401±112	210±113	274±73,1	0,17±0,36	0,41±0,61	68,4±25,6	0,49±0,28	<0,20	<10	2,7±1,9	2,8±1,9

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.14 Βαρέα μέταλλα στο μικτό γκρίζο νερό

Μικτό 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	2,7±1,8	<5,0	0,095±0,030	30±28
Τύπου Γ ³	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,070±0,0059	27±35

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.15 Χημικές ιδιότητες μικτού γκρίζου νερού σε μονάδες βάρους (mg ή g) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος										
	COD _t	COD _s	BOD ₅	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
Τύπου Α ¹	88,3±29,3	46,2±26,3	61,6±23,8	51,7±70,1	119±81,0	13,3±5,10	59,7±37,2	53,5±41,0	2,75±1,72	373±252	424±260
Τύπου Β ²	54,5±22,4	30,2±18,9	36,5±15,7	11,7±18,2	41,6±32,7	10,8±5,21	54,7±33,4	19,1±10,5	2,20±1,69	215±145	232±148
Τύπου Γ ³	19,1±5,95	10,2±5,58	13,1±4,33	8,49±16,8	19,3±28,3	3,26±1,40	22,8±12,8			114±73,9	120±71,6

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.16 Βαρέα μέταλλα στο μικτό γκρίζο νερό σε μονάδες βάρους (μg ή mg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος		
	Cr	Zn	Cu
	μg/p.e./d	mg/p.e./d	μg/p.e./d
Τύπου Α ¹	251±155	8,95±3,49	2836±2588
Τύπου Β ²	183±117	6,36±2,10	1978±1791
Τύπου Γ ³		3,58±1,84	826±1410

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.17 Μικροοργανικές ενώσεις στο μικτό γκρίζο νερό

Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος				
	NP	NP1EO	NP2EO	TCS	BPA
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Τύπου Α ¹	26,4±18,1	2,06±1,31	1,81±2,22	0,24±0,22	0,37±0,22
Τύπου Β ²	30,3±21,9	2,29±1,57	1,95±1,91	0,30±0,27	0,49±0,31
Τύπου Γ ³	25,5±11,2	2,53±2,24	1,86±1,32	0,40±0,39	0,56±0,43

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.18 Μικροοργανικές ενώσεις στο μικτό γκρίζο νερό σε μονάδες βάρους (µg) ανά κάτοικο (p.e.) ανά ημέρα (d)

Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος				
	NP	NP1EO	NP2EO	TCS	BPA
	µg/p.e./d	µg/p.e./d	µg/p.e./d	µg/p.e./d	µg/p.e./d
Τύπου Α ¹	2621±1927	201±129	182±231	23,2±21,0	36,1±21,3
Τύπου Β ²	2110±1684	154±101	138±146	20,5±18,5	32,8±20,3
Τύπου Γ ³	1191±546	111±86,8	95,4±86,7	18,7±16,8	25,7±17,0

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

³ μπανιέρα και νιπτήρας

4.1.5 Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών χαρακτηριστικών γκρίζου νερού

Στους Πίνακες 4.19-4.23 πραγματοποιείται σύγκριση των παραμέτρων του γκρίζου νερού όπως αυτές προέκυψαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας με τιμές των παραμέτρων από τη βιβλιογραφία.

Συγκρίνοντας τη συγκέντρωση ολικών στερεών του μικτού γκρίζου νερού Τύπου Α (Πίνακας 4.19) που προέκυψε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας (649±151 mg/L) με αντίστοιχη συγκέντρωση που αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Antonopoulou et al., 2013) διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση που προέκυψε στη παρούσα μελέτη είναι χαμηλή. Οι Schäfer et al. (2006) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση των ολικών στερεών στο γκρίζο νερό μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 113 mg/L έως 2410 mg/L. Η μέση μετρηθείσα συγκέντρωση των ολικών στερεών στη ροή της κουζίνας (883±426 mg/L) βρίσκεται σε συγκρίσιμα επίπεδα με την αντίστοιχη συγκέντρωση που προσεγγίστηκε από τους Antonopoulou et al. (2013), ενώ η αντίστοιχη συγκέντρωση στη ροή του νιπτήρα προέκυψε χαμηλότερη από τις τιμές που σημειώνονται στη βιβλιογραφία (Friedler et al., 2004, Antonopoulou et al., 2013).

Η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών που προέκυψε στο μικτό γκρίζο νερό κατά την παρούσα μελέτη (168±70,3 mg/L) βρίσκεται σε συγκρίσιμα επίπεδα με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις που προσδιορίστηκαν από τους Donner et al. (2010), Schäfer et al. (2006), Department of Health Western Australia (2002), Li et al. (2009), είναι ωστόσο

χαμηλότερη από τη συγκέντρωση που παρουσιάζεται στη μελέτη των Antonopoulou et al. (2013). Η συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών που μετρήθηκε στη ροή της κουζίνας (319 ± 209 mg/L) είναι σύμφωνη με τη συγκέντρωση που αναφέρεται στη μελέτη των Donner et al. (2010), ενώ οι Li et al. (2009) καταγράφουν σημαντικά μεγαλύτερο εύρος τιμών, με μέγιστη συγκέντρωση TSS 1300 mg/L (Πίνακας 4.19).

Οι τιμές αγωγιμότητας που μετρήθηκαν στις ροές της κουζίνας, της μπανιέρας και του νιπτήρα (449 ± 341 μ S/cm, $318 \pm 29,9$ μ S/cm, $318 \pm 26,8$ μ S/cm αντίστοιχα) είναι σημαντικά μικρότερες από τις αντίστοιχες στη βιβλιογραφία (Πίνακας 4.19).

Το ολικό COD που προσδιορίστηκε στο μικτό γκρίζο νερό (903 ± 286 mg/L) βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με την αντίστοιχη συγκέντρωση που προσεγγίστηκε από τους Antonopoulou et al. (2013), αλλά είναι αρκετά υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη συγκέντρωση των Donner et al. (2010), η οποία κυμαίνεται μεταξύ 283 και 549 mg/L (Πίνακας 4.20).

Το COD_i των ροών της μπανιέρας και του νιπτήρα κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τις τιμές της βιβλιογραφίας, ενώ το COD_i της κουζίνας και του πλυντηρίου ρούχων παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών τόσο στη βιβλιογραφία όσο και στα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας.

Οι τιμές του ολικού φωσφόρου που προέκυψαν στην παρούσα εργασία είναι ιδιαίτερα χαμηλές (<0,050-12 mg/L) σε σχέση με τις αναφερόμενες τιμές της βιβλιογραφίας, οι οποίες κυμαίνονται από 0,0062 mg/L έως 101 mg/L (Πίνακας 4.20).

Η μέση συγκέντρωση TKN στο μικρό γκρίζο νερό είναι ίση με $4,1 \pm 2,7$ (Πίνακας 4.20), αρκετά χαμηλότερη από τη μέγιστη που εντοπίστηκε στη βιβλιογραφία TKN, δηλαδή 31,5 mg/L (Department of Health Western Australia, 2002).

Η μέση συγκέντρωση του ολικού αζώτου στην κουζίνα προέκυψε χαμηλότερη ($6,5 \pm 5,0$ mg/L) σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Li et al. (2009) και Donner et al. (2010), σύμφωνα με τους οποίους το TKN κυμαίνεται από 11,4 mg/L έως 74 mg/L (Πίνακας 4.20). Η ίδια παρατήρηση προκύπτει και για το γκρίζο νερό του πλυντηρίου ρούχων, καθώς το ολικό άζωτο προέκυψε ίσο με $6,2 \pm 5,3$ mg/L, ενώ σύμφωνα με τους Donner et al. (2010) κυμαίνεται από 6 mg/L έως 21 mg/L και σύμφωνα με τους Li et al. (2009) μεταξύ 1,1 mg/L και 40,3 mg/L.

Στον Πίνακα 4.21 συγκρίνονται οι βιβλιογραφικές και πειραματικές τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων. Συγκρίνοντας τις συγκεντρώσεις των μετάλλων για το γκρίζο νερό Τύπου Α που υπολογίστηκαν στην παρούσα εργασία και στη μελέτη των Palmquist and Hanæus (2005) παρατηρείται ότι οι δύο μελέτες βρίσκονται σε συμφωνία, εκτός από την περίπτωση του νικελίου, καθώς στην πλαίσια της παρούσας εργασίας το νικέλιο βρίσκεται σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα, ενώ στη μελέτη των Palmquist and Hanæus (2005) η συγκέντρωση κυμαίνεται από 4,45 μ g/L έως 28,1 μ g/L. Ωστόσο και στη μελέτη των Eriksson and Donner (2009) το νικέλιο το οποίο εντοπίζεται στο ασθενές γκρίζο νερό βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα (από 5,1 μ g/L έως 27 μ g/L), ενώ στην παρούσα εργασία το νικέλιο βρέθηκε σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα και στο ασθενές γκρίζο νερό.

Στον Πίνακα 4.22 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές του ρυπαντικού φορτίου του μικτού γκρίζου νερού Τύπου Α, όπως αυτές καταγράφονται στα πλαίσια της εργασίας και στη μελέτη των Benetto et al. (2009). Το φορτίο COD που υπολογίστηκε στην παρούσα εργασία (88,3 g ανά κάτοικο και ημέρα) είναι υψηλότερο από το φορτίο που προτείνουν οι Benetto et al. (2009)

(60 g ανά κάτοικο και ημέρα). Τα φορτία των υπόλοιπων παραμέτρων είναι σαφώς χαμηλότερα από τα φορτία που αναφέρουν οι Benetto et al. (2009).

Η συγκέντρωση της εννεύλοφαινόλης στο μικτό γκρίζο νερό ($26,4 \pm 18,1$ $\mu\text{g/L}$) που υπολογίστηκε στην παρούσα εργασία (Πίνακας 4.23) είναι σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με τις τιμές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Almqvist and Hanæus, 2006, Hernández-Leal et al., 2011, Palmquist and Hanæus, 2005). Η τιμή αυτή προσεγγίστηκε με βάση τη σύνθεση του γκρίζου νερού όπως αυτή προσεγγίστηκε από την καταγραφή των καταναλώσεων εντός των τριών οικιών που μελετήθηκαν. Ωστόσο, λόγω της σημαντικής απόκλισης από τις βιβλιογραφικές τιμές, προτείνεται η περαιτέρω μελέτη της συγκεκριμένης παραμέτρου, έπειτα από τη διενέργεια νέων δειγματοληψιών. Η συγκέντρωση της τρικλοζάνης στο μικτό γκρίζο νερό προέκυψε χαμηλή ($0,24 \pm 0,22$ $\mu\text{g/L}$), σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των Hernández-Leal et al. (2011) και Almqvist and Hanæus (2006). Η συγκέντρωση NP1EO είναι σύμφωνη με τη συγκέντρωση των Almqvist and Hanæus (2006), παρουσιάζει ωστόσο μικρότερο εύρος τιμών σε σχέση με τη μελέτη των Palmquist and Hanæus (2005). Η συγκέντρωση της NP2EO βρέθηκε στα ίδια επίπεδα με την αντίστοιχη μελέτη των Almqvist and Hanæus (2006), αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που μέτρησαν οι Palmquist and Hanæus (2005).

Σημειώνεται ωστόσο ότι κατά τη σύγκριση βιβλιογραφικών και πειραματικών παραμέτρων του γκρίζου νερού, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε όσες μελέτες δεν υπάρχει δυνατότητα συλλογής των δειγμάτων από χωριστό δίκτυο συλλογής γκρίζου νερού, ο τρόπος δειγματοληψίας από κάθε πηγή προέλευσης επηρεάζει την αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων. Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3, τα δείγματα γκρίζου νερού που ελήφθησαν από κάθε πηγή στις Οικίες Α, Β και Γ συλλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά δείγματα της ημερήσιας κατανάλωσης. Συγκεκριμένα, έχουν συλλεχθεί όγκοι που προέρχονται από όλες τις χρήσεις που πραγματοποιούνται σε κάθε πηγή, σταθμισμένοι ως προς το ποσοστό συνεισφοράς κάθε χρήσης στη συνολική παραγόμενη ποσότητα γκρίζου νερού στην πηγή αυτή. Επίσης, τα χαρακτηριστικά του μικτού γκρίζου νερού έχουν υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη την ποσοστιαία σύνθεση του μικτού γκρίζου νερού με βάση τη μέση ημερήσια παροχή ανά ροή γκρίζου νερού (κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων, νιπτήρας), η οποία υπολογίστηκε έπειτα από την εβδομαδιαία παρατήρηση των συνηθειών εντός των τριών κατοικιών.

Στον Πίνακα 4.24 συγκρίνονται τα χαρακτηριστικά του μικτού γκρίζου νερού που προέρχεται από όλες τις ροές με τα χαρακτηριστικά των οικιακών λυμάτων όπως αυτά προέκυψαν από τον Tchobanoglous (1991), ο οποίος έχει προσεγγίσει την τυπική σύσταση τριών ειδών οικιακών λυμάτων –των ασθενών, των μεσαίων και των ισχυρών. Παρατηρείται ότι το COD του γκρίζου νερού Τύπου Α και Β βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με το COD των ισχυρών οικιακών λυμάτων, ενώ το COD του ασθενούς γκρίζου νερού είναι συγκρίσιμο με το COD των ασθενών οικιακών λυμάτων. Τα ολικά στερεά του γκρίζου νερού Τύπου Α και Β βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με στερεά των μεσαίων οικιακών λυμάτων, ενώ η συγκέντρωση των ολικών στερεών του ασθενούς γκρίζου νερού είναι συγκρίσιμη με τη συγκέντρωση των ασθενών οικιακών λυμάτων. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά σε όλους τους τύπους γκρίζου νερού στα επίπεδα των ασθενών οικιακών λυμάτων (100 mg/L). Ο φώσφορος στο μικτό γκρίζο νερό, όλων των τύπων που μελετήθηκαν, μετρήθηκε σε μικρότερες συγκεντρώσεις (~ 1 mg/L) σε σχέση με τα οικιακά λύματα ($4-15$ mg/L), όπως και το αμμωνιακό άζωτο.

Πίνακας 4.19 Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών γκρίζου νερού
(μέση τιμή και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος		
		TS mg/L	TSS mg/L	αγωγιμότητα μS/cm
Παρούσα εργασία	Γκρίζο νερό Τύπου Α	649±151	168±70,3	
Antonopoulou et al., 2013	Γκρίζο νερό Τύπου Α	2209±1067	542±179	1985±294
Donner et al., 2010	Ποικίλες πηγές		(15-112)	
Schäfer et al., 2006	Ποικίλες πηγές	(113-2410)	(3,1-330)	
Department of Health Western Australia, 2002	Ποικίλες πηγές		(45-330)	(325-1140)
Li et al., 2009	Ποικίλες πηγές		(25-183)	
Li et al., 2009	Κουζίνα		(134-1300)	
Donner et al., 2010	Κουζίνα		(235-720)	
Παρούσα εργασία	Κουζίνα	883±319	319±209	449±341
Antonopoulou et al., 2013	Κουζίνα	879±833	299±324	930±315
Παρούσα εργασία	Μπανιέρα	325±55,3	73,5±38,3	318±29,9
Antonopoulou et al., 2013	Μπανιέρα	632±217	63±38	939±238
Παρούσα εργασία	Πλυντήριο ρούχων	1085±608	169±96,1	653±423
Donner et al., 2010	Πλυντήριο ρούχων		(120-280)	
Li et al., 2009	Πλυντήριο ρούχων		(68-465)	
Παρούσα εργασία	Νιπτήρας	373±96,0	90,5±68,3	318±26,8
Friedler et al., 2004	Νιπτήρας	835±263	259±130	
Antonopoulou et al., 2013	Νιπτήρας	570±180	61±37	903±302

Πίνακας 4.20 Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών χημικών παραμέτρων γκρίζου νερού
(μέση τιμή και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Παράμετρος				
		COD _t mg/L	TP mg/L	NH ₄ -N mg/L	TKN mg/L	TN mg/L
Παρούσα εργασία	Γκρίζο νερό Τύπου Α	903±286	1,23±0,89	0,63±0,43	4,1±2,7	4,6±2,7
Antonopoulou et al., 2013	Γκρίζο νερό Τύπου Α	1178±245				
Donner et al., 2010	Ποικίλες πηγές	(283-549)	(0,6->68)			(0,6-11)
Schäfer et al., 2006	Ποικίλες πηγές	(3,8-1380)	(0,0062-74)			(0,28-74)
Department of Health Western Australia, 2002	Ποικίλες πηγές		(0,6-27,3)	(<1,0-25,4)	(2,1-31,5)	
Li et al., 2009	Ποικίλες πηγές	(100-700)	(0,11-22,8)			(1,7-34,3)
Παρούσα εργασία	Κουζίνα	1119±476	2,7±3,1	0,20±0,26	5,5±4,8	6,5±5,0
Li et al., 2009	Κουζίνα	(26-2050)	(2,9->74)			(11,4-74)
Donner et al., 2010	Κουζίνα	(644-1380)	(68-74)			(40-74)
Antonopoulou et al., 2013	Κουζίνα	775±63		4,0±4,8		
Παρούσα εργασία	Μπανιέρα	390±125	0,10±0,14	0,53±0,28	2,6±2,2	2,7±2,2
Antonopoulou et al., 2013	Μπανιέρα	399±183		8,4±12,6		
Παρούσα εργασία	Πλυντήριο ρούχων	2076±1401	1,2±0,81	1,4±1,1	5,5±5,2	6,2±5,3
Donner et al., 2010	Πλυντήριο ρούχων	(725-1815)	(0,1->101)			(6-21)
Li et al., 2009	Πλυντήριο ρούχων	(231-2950)				(1,1-40,3)
Παρούσα εργασία	Νιπτήρας	427±192	1,3±2,0	1,4±1,1	2,3±2,0	2,5±1,9
Antonopoulou et al., 2013	Νιπτήρας	335±207		2,6±2,9		

Πίνακας 4.21 Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στο γκρίζο νερό
(μέση τιμή και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος					
		Cd μg/L	Pb μg/L	Cr μg/L	Ni μg/L	Zn mg/L	Cu μg/L
Παρούσα εργασία	Τύπου Α ¹	<0,15	<2,5	2,6±1,5	<5,0	0,092±0,034	29±26
Palmquist and Hanæus, 2005	Τύπου Α ¹	(0,06-0,16)	(2,14-3,14)	(2,06-5,46)	(4,45-28,1)	(0,0553-0,0778)	(47,0-70,2)
Παρούσα εργασία	Τύπου Γ ²	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,070±0,059	27±35
Eriksson and Donner, 2009	Τύπου Γ ²	(0,012-0,22)	(4,9-10)		(5,1-27)		

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

² μπανιέρα και νιπτήρας

Πίνακας 4.22 Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών τιμών μέσου ρυπαντικού φορτίου μικτού γκρίζου νερού

Αναφορά	Μικτό γκρίζο νερό	Παράμετρος					
		COD g/p.e./d	TN g/p.e./d	TP mg/p.e./d	Cr mg/p.e./d	Zn mg/p.e./d	Cu mg/p.e./d
Παρούσα εργασία	Τύπου Α ¹	88,3	0,424	119	0,251	8,95	2,84
Benetto et al., 2009	Τύπου Α ¹	60	1,3	500	3	46	20

¹ κουζίνα, μπανιέρα, πλυντήριο ρούχων και νιπτήρας

Πίνακας 4.23 Σύγκριση πειραματικών και βιβλιογραφικών τιμών μικροοργανικών ενώσεων σε μικτό γκρίζο νερό Τύπου Α
(μέση τιμή και ελάχιστη-μέγιστη σε παρένθεση)

Αναφορά	Παράμετρος				
	NP μg/L	NP1EO μg/L	NP2EO μg/L	TCS μg/L	BPA μg/L
Παρούσα εργασία	26,4±18,1	2,06±1,31	1,81±2,22	0,24±0,22	0,37±0,22
Almqvist and Hanæus, 2006	0,76 (0,56-1,1)	(<0,5-3,7)	(<0,5-5,0)	0,19 (0,075-16,6)	
Hernández-Leal et al., 2011	7,5±7,1			15,6±6,8	0,74±0,21
Palmquist and Hanæus, 2005	3,80 (2,82-5,95)	4,28 (2,75-6,73)	8,79 (4,02-15,9)	3,43 (0,56-5,9)	

Πίνακας 4.24 Σύγκριση χαρακτηριστικών μικτού γκρίζου νερού και οικιακών λυμάτων

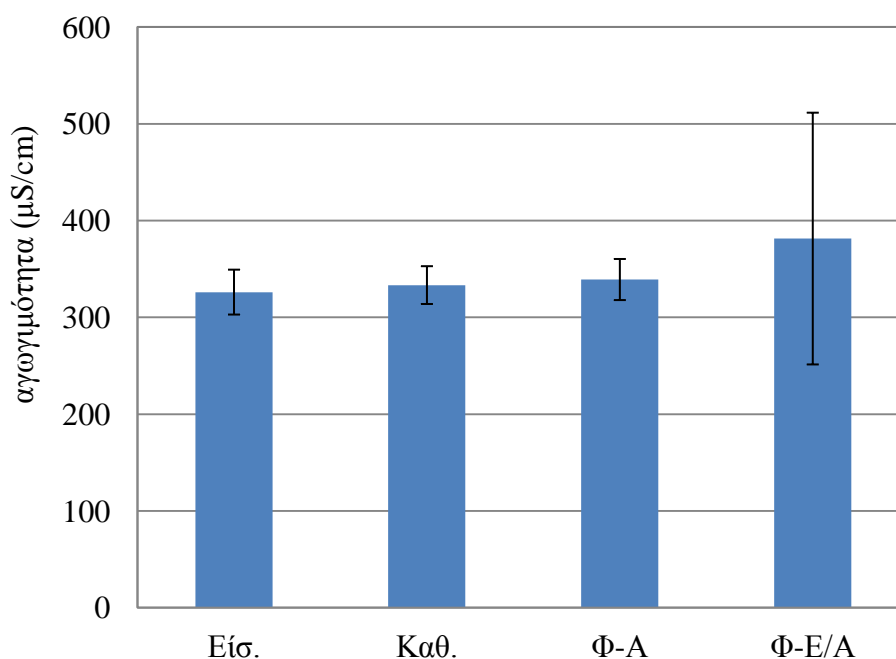
Αναφορά	Πηγή προέλευσης λυμάτων	Παράμετρος					
		TS mg/L	TSS mg/L	COD _t mg/L	TP mg/L	NH ₄ -N mg/L	TN mg/L
Παρούσα εργασία	Γκρίζο νερό Τύπου Α	649±151	168±70,3	903±286	1,23±0,89	0,63±0,43	4,6±2,7
Παρούσα εργασία	Γκρίζο νερό Τύπου Β	543±151	100±31,1	810±346	0,63±0,52	0,81±0,53	3,7±2,1
Παρούσα εργασία	Γκρίζο νερό Τύπου Γ	336±49,5	79,2±31,2	401±112	0,41 ±0,61	0,49±0,28	2,8±1,9
Tchobanoglous (1991)	Ασθενή οικιακά λύματα	350	100	250	4	12	20
Tchobanoglous (1991)	Μεσαία οικιακά λύματα	720	220	500	8	25	40
Tchobanoglous (1991)	Ισχυρά οικιακά λύματα	1200	350	1000	15	50	85

4.2 Αποτελέσματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

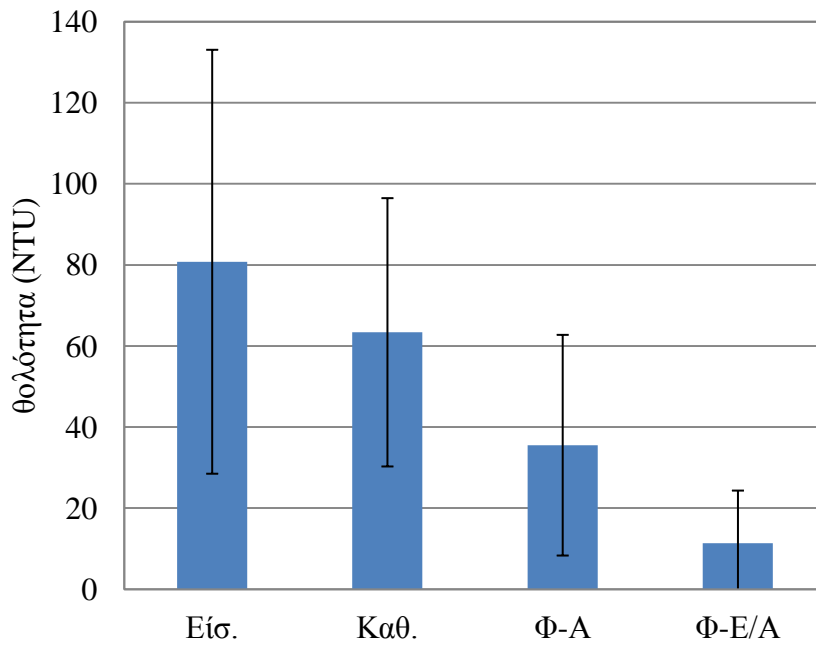
Η επεξεργασία του γκρίζου νερού με το σύνθετο σύστημα επεξεργασίας φίλτρων άμμου και ενεργού άνθρακα διήρκτησε οκτώ εβδομάδες. Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2, δείγματα λαμβάνονταν από τα ανεπεξέργαστα λύματα και από κάθε στάδιο επεξεργασίας (καθίζηση, φίλτρο άμμου και φίλτρο άνθρακα). Στα Σχήματα 4.67-4.73 και στον Πίνακα 4.25 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των επτά παραμέτρων (θολότητα, αγωγιμότητα, συγκέντρωση των αιωρούμενων ολικών και πηκτικών στερεών, ολικό και διαλυτό χημικώς απαιτούμενο οξυγόνο, ανιονικές τασιενεργές ενώσεις) που παρακολουθούνταν στις τέσσερις θέσεις δειγματοληψίας: την είσοδο στην εγκατάσταση (Εισ.), την δεξαμενή καθίζησης (Καθ.), την έξοδο από το φίλτρο άμμου (Φ-Α) και την έξοδο από το φίλτρο ενεργού άνθρακα (Φ-Ε/Α).

Πίνακας 4.25 Μέσες τιμές παραμέτρων γκρίζου νερού ανά στάδιο επεξεργασίας

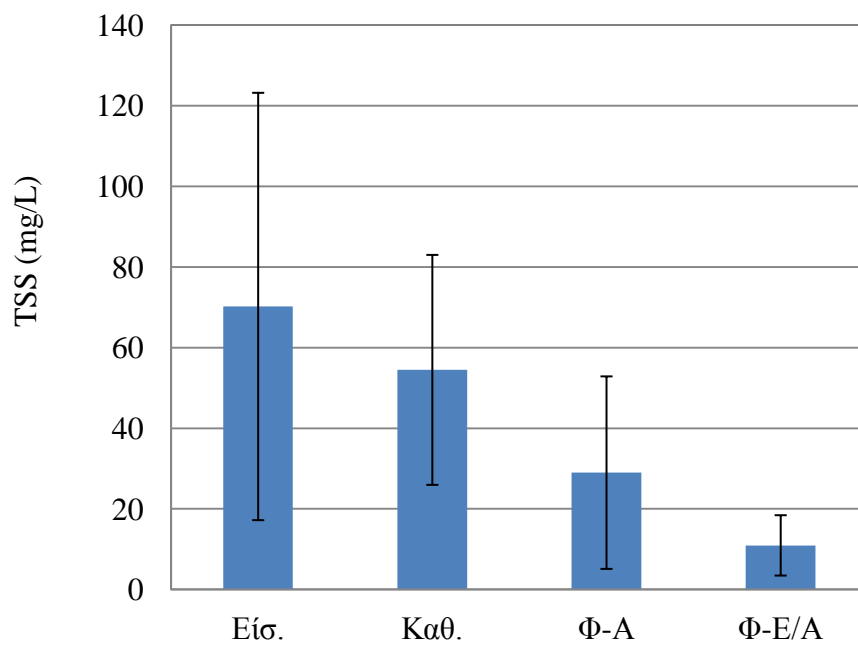
Δείγμα	Παράμετρος						
	αγωγιμότητα μS/cm	θολότητα NTU	TSS mg/L	VSS mg/L	COD _t mg/L	COD _s mg/L	LAS mg/L
Εισ.	326±23,2	80,8±52,3	70,2±53,0	59,3±50,8	337±121	167±53,8	55±22
Καθ.	333±19,5	63,4±33,1	54,5±28,5	49,2±29,1	309±82,8	150±47,5	49±16
Φ-Α	339±21,2	35,5±23,9	29,0±23,9	27,8±23,7	231±81,5	132±41,0	34±14
Φ-Ε/Α	381±130	11,4±13,0	10,9±7,49	10,7±7,47	28,4±21,9	<15	0,98±1,6



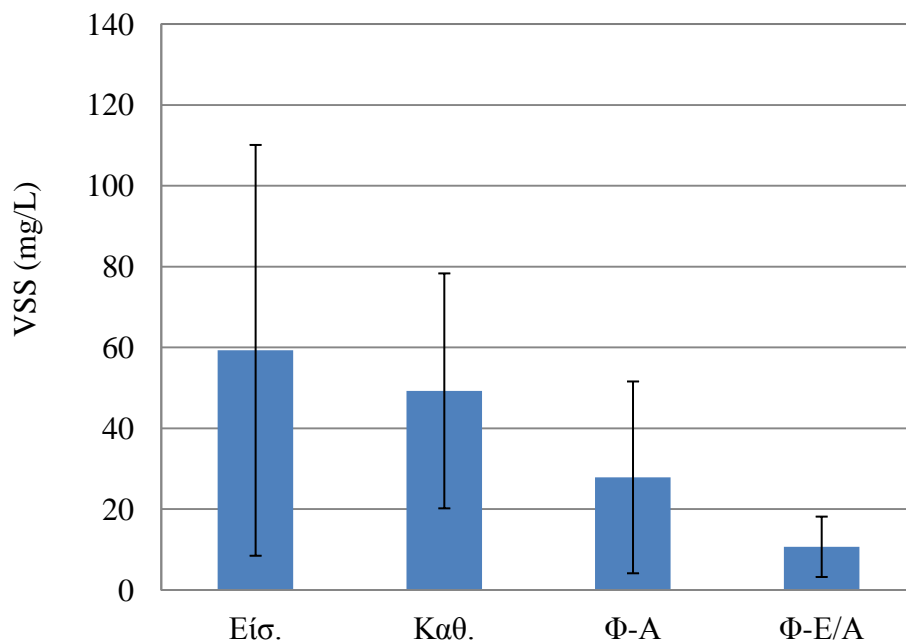
Σχήμα 4.67 Μέση αγωγιμότητα στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



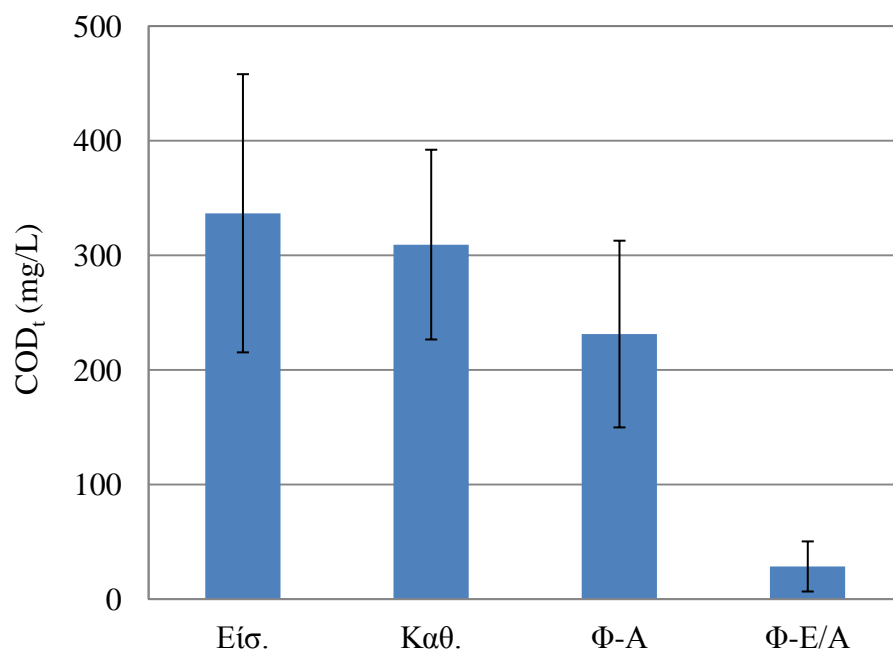
Σχήμα 4.68 Μέση τιμή θολότητας στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



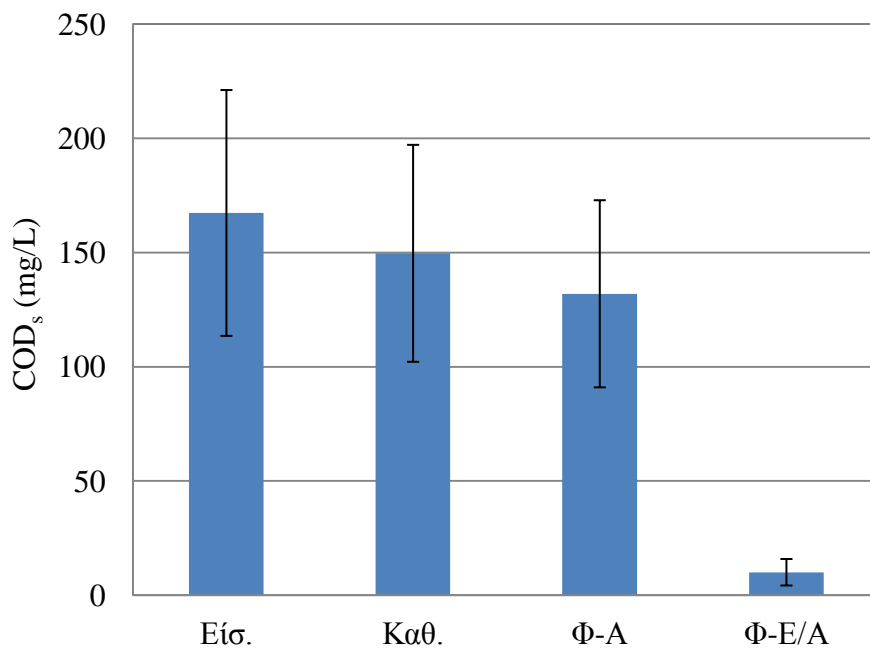
Σχήμα 4.69 Μέση συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



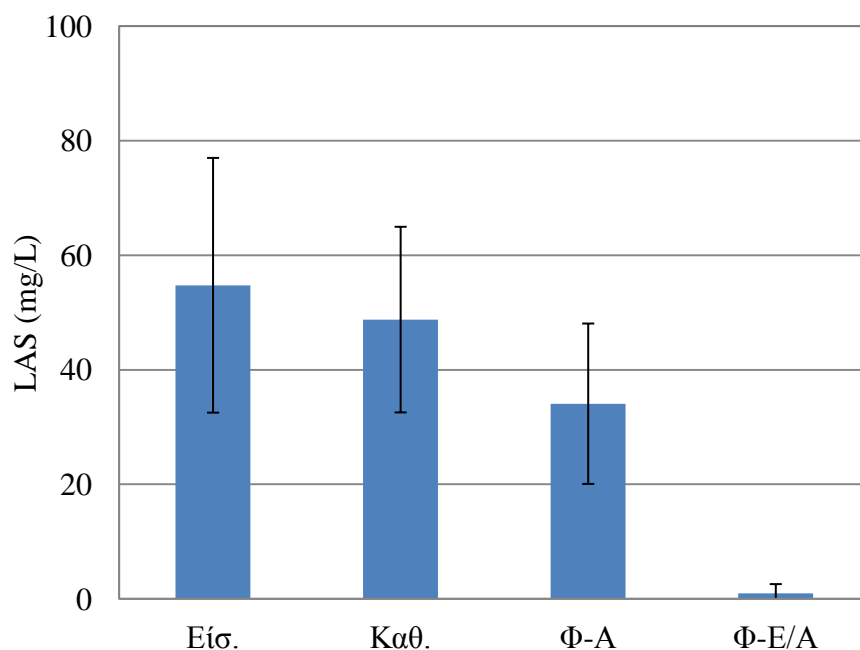
Σχήμα 4.70 Μέση συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



Σχήμα 4.71 Μέση συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



Σχήμα 4.72 Μέση συγκέντρωση διαλυτού χημικός απαιτούμενου οξυγόνου στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



Σχήμα 4.73 Μέση συγκέντρωση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Στα Σχήματα 4.68-4.70 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές θολότητας και συγκέντρωσης αιωρούμενων στερεών (ολικών και πτητικών) ανά στάδιο επεξεργασίας. Παρατηρείται ότι η δεξαμενή καθίζησης και το φίλτρο άμμου συντελούν στην ικανοποιητική απομάκρυνση τόσο

της θολότητας όσο και των στερεών, απομακρύνοντας περισσότερο από το 50% των στερεών, ενώ το φίλτρο ενεργού άνθρακα έχει καθοριστικό ρόλο στην επεξεργασία του γκριζού νερού καθώς στην έξοδο της εγκατάστασης η συνολική μέση απομάκρυνση θολότητας είναι 86% ενώ των ολικών και πηκτικών αιωρούμενων στερεών 82% και 78% αντίστοιχα. Ωστόσο, η μέση συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στην έξοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας είναι 11 mg/L και μόλις στο 50% των δειγμάτων η συγκέντρωση TSS είναι μικρότερη/ίση από 10 mg/L. Συνεπώς, υπερβαίνεται το όριο που έχει οριστεί στην ΚΥΑ 145116/2011 για απεριόριστη άρδευση (≤ 10 mg SS/L στο 80% των δειγμάτων) και αστική και περιαστική χρήση (≤ 2 mg SS/L στο 80% των δειγμάτων). Αντίθετα, ικανοποιείται το όριο που έχει τεθεί (≤ 35 mg SS/L για το 80% των δειγμάτων) για περιορισμένη άρδευση. Επιπλέον, δεν ικανοποιείται η συνθήκη επαναχρησιμοποίησης για απεριόριστη άρδευση και αστική και περιαστική χρήση όσο αφορά στην τιμή της θολότητας (2 NTU διάμεση τιμή), καθώς η διάμεση τιμή θολότητας στην έξοδο του φίλτρου άνθρακα προέκυψε ίση με 9 NTU.

Όσο αφορά στο ολικό και διαλυτό COD δεν προκύπτει σημαντική απομάκρυνση μετά τη διύλιση στο φίλτρο άμμου, καθώς η μέση συγκέντρωση COD_i στην έξοδο του φίλτρου προέκυψε $231 \pm 81,5$ mg/L και η μέση συγκέντρωση COD_s $132 \pm 41,0$ mg/L. Η μέση απομάκρυνση του ολικού COD των ανεπεξεργαστων λυμάτων μετά τη διέλευση από το φίλτρο άμμου είναι 30% και μετά το φίλτρο ενεργού άνθρακα 92% (Σχήμα 4.71). Η μέση συγκέντρωση στην έξοδο της εγκατάστασης είναι $28,4 \pm 21,9$ mg/L. Συγκεκριμένα, το ολικό COD στην έξοδο της εγκατάστασης είναι στο 90% των δειγματοληψιών μικρότερο από 40 mg/L. Αντίστοιχα, η απομάκρυνση για το διαλυτό COD είναι 20% μετά το φίλτρο άμμου, ενώ μετά το φίλτρο άνθρακα αγγίζει το 96% (Σχήμα 4.72). Η μέση συγκέντρωση COD_s είναι μικρότερη του ορίου ανίχνευσης (< 15 mg/L).

Η συγκέντρωση των ανιονικών τασιενεργών ενώσεων μειώνεται σημαντικά μετά τη διέλευση των λυμάτων από το φίλτρο άνθρακα. Στο επεξεργασμένο νερό είναι μικρότερη από 2 mg/L, καθώς επιτυγχάνεται απομάκρυνση μεγαλύτερη από 90%.

Όσο αφορά το αμμωνιακό άζωτο, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις σε ορισμένο αριθμό δειγμάτων και διαπιστώθηκε ότι τόσο τα επίπεδα αμμωνίας στην είσοδο της εγκατάστασης όσο και στην έξοδο των επεξεργασμένων λυμάτων είναι χαμηλά ($0,47 \pm 0,066$ mg/L και $0,49 \pm 0,40$ mg/L, αντίστοιχα).

Με σκοπό τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της μεθόδου επεξεργασίας, μελετήθηκαν μικροβιολογικές παράμετροι στην έξοδο της εγκατάστασης. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.26, η λειτουργία της εγκατάστασης δεν οδηγεί σε ικανοποιητική απομάκρυνση των μικροοργανισμών (E. Coli), καθώς σύμφωνα με τα όρια επαναχρησιμοποίησης δεν τηρείται ο περιορισμός της ΚΥΑ για τον αριθμό E. Coli για την επαναχρησιμοποίηση για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση, ούτε για τον αριθμό των ολικών κολοβακτηριδίων για την περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης σε αστικό και περιαστικό περιβάλλον. Συνεπώς, η χρήση φίλτρων δεν επαρκεί και απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία. Σημειώνεται επίσης ότι η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν επιτρέπεται για οποιαδήποτε χρήση χωρίς να έχει προηγηθεί το στάδιο της απολύμανσης, σύμφωνα με την ΚΥΑ 145116/2011.

Στα Σχήματα 4.74-4.78 παρουσιάζονται οι μέσες συγκεντρώσεις των μικροοργανικών ενώσεων (NP, NP1EO, NP2EO, TCS, BPA) ενώσεων στα διάφορα στάδια επεξεργασίας. Όπως είναι φανερό, ο ενεργός άνθρακας ως μέσο προσρόφησης είναι ιδιαίτερα

αποτελεσματικός καθώς η απομάκρυνση των μικροοργανικών ενώσεων ξεπερνά το 80% εκτός από την περίπτωση της NP2EO η οποία απομακρύνεται κατά 50%. Η μέση συγκέντρωση της εννεύλοφαινόλης, της μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης και της δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο επεξεργασμένο γκρίζο νερό είναι 1163 ± 896 ng/L, 81 ± 65 ng/L και 302 ± 341 ng/L, αντίστοιχα. Ο έλεγχος της συγκέντρωσης της εννεύλοφαινόλης είναι απαραίτητος μόνο για εγκαταστάσεις με αριθμό ισοδύναμων κατοίκων μεγαλύτερο των 100 000. Η μέση συγκέντρωση εννεύλοφαινόλης στην έξοδο του φίλτρου ενεργού άνθρακα είναι μικρότερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση που ορίζεται στην ΚΥΑ 145116/2011 (2 µg/L), ωστόσο μετρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση από τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση στο 20% των δειγμάτων (Πίνακας 4.27). Η μέση συγκέντρωση της τρικλοζάνης στο γκρίζο νερό μετά την προσρόφηση στον ενεργό άνθρακα είναι 38 ± 17 ng/L και της δισφαινόλης A $5,3\pm 5,2$ ng/L.

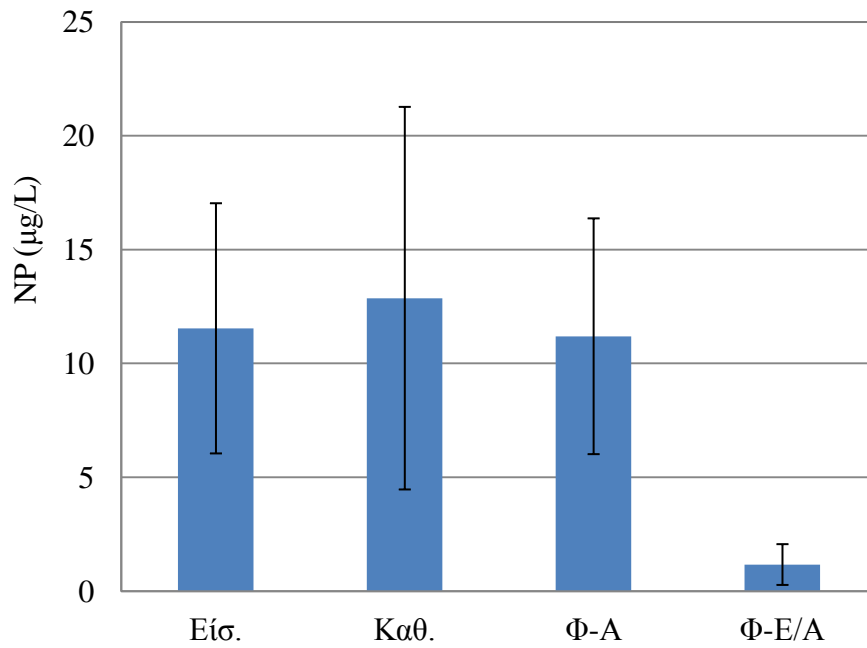
Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται Πίνακες με τις τιμές των παραμέτρων ανά δειγματοληψία και στα Σχήματα 4.79-4.85 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων ανά ημέρα λειτουργίας.

Πίνακας 4.26 E. Coli στα επεξεργασμένα λύματα

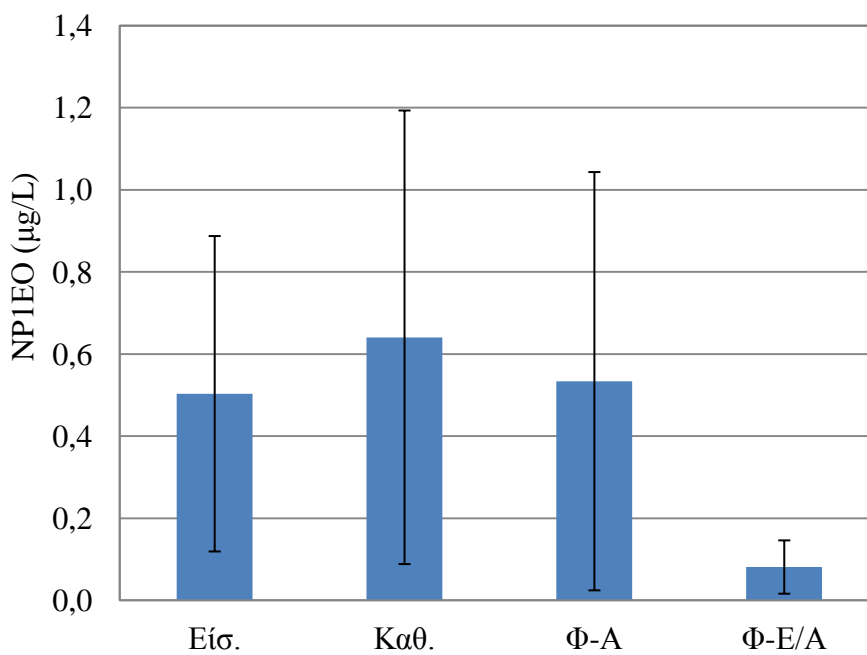
Ημερομηνία δειγματοληψίας	E.Coli ανα 100ml
08/04/2014	920
09/04/2014	920
07/05/2014	700
08/05/2014	45
09/05/2014	130
Μέση τιμή	543

Πίνακας 4.27 Συγκέντρωση μικροοργανικών ενώσεων στα επεξεργασμένα λύματα

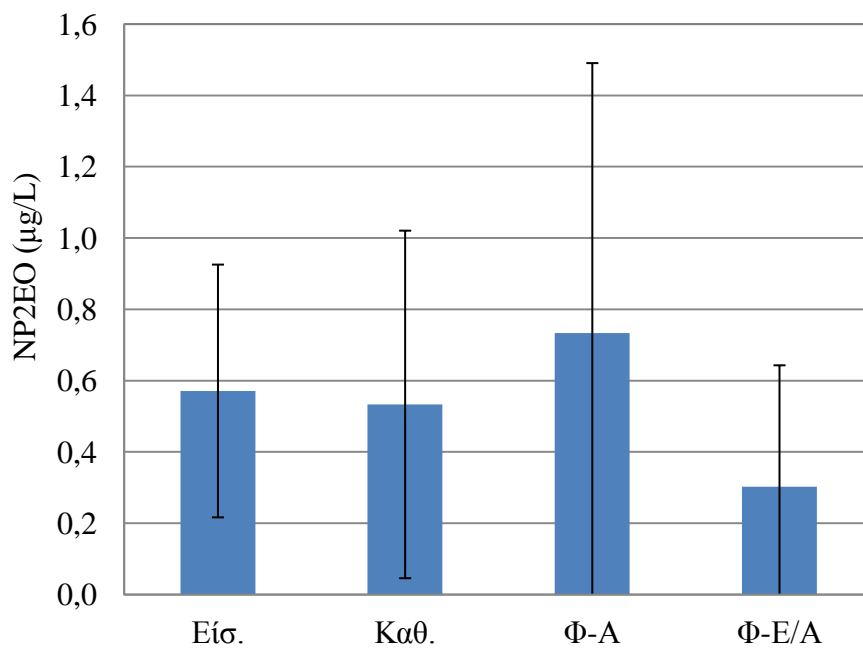
Ημερομηνία δειγματοληψίας	NP ng/L	NP1EO ng/L	NP2EO ng/L	TCS ng/L	BPA ng/L
03/04/2014	700	38	238	29	<3,0
04/04/2014	1878	141	82	39	11
08/04/2014	90	6,6	59	23	<3,0
09/04/2014	2279	155	893	33	11
10/04/2014	869	64	239	66	<3,0



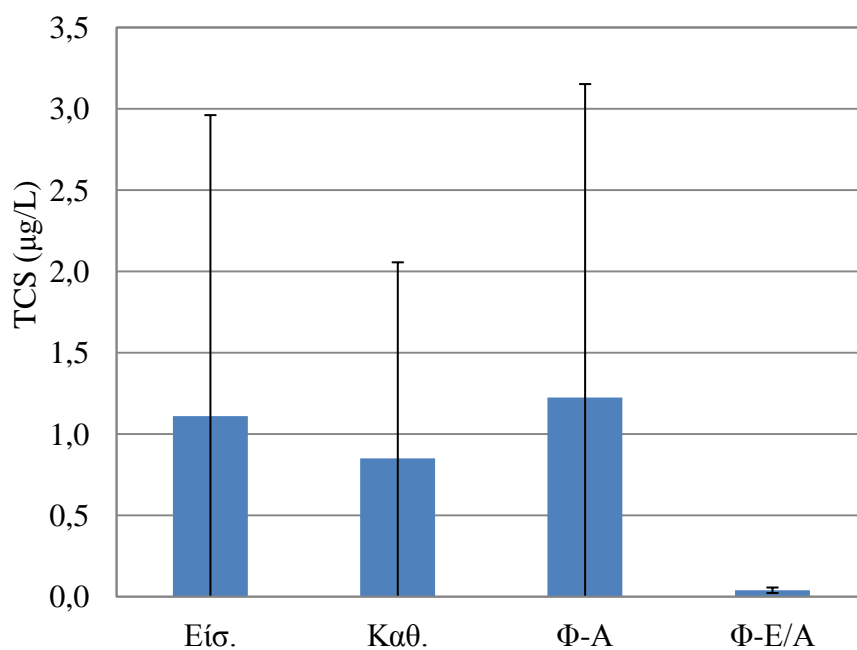
Σχήμα 4.74 Μέση συγκέντρωση εννεύλοφαινόλης στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



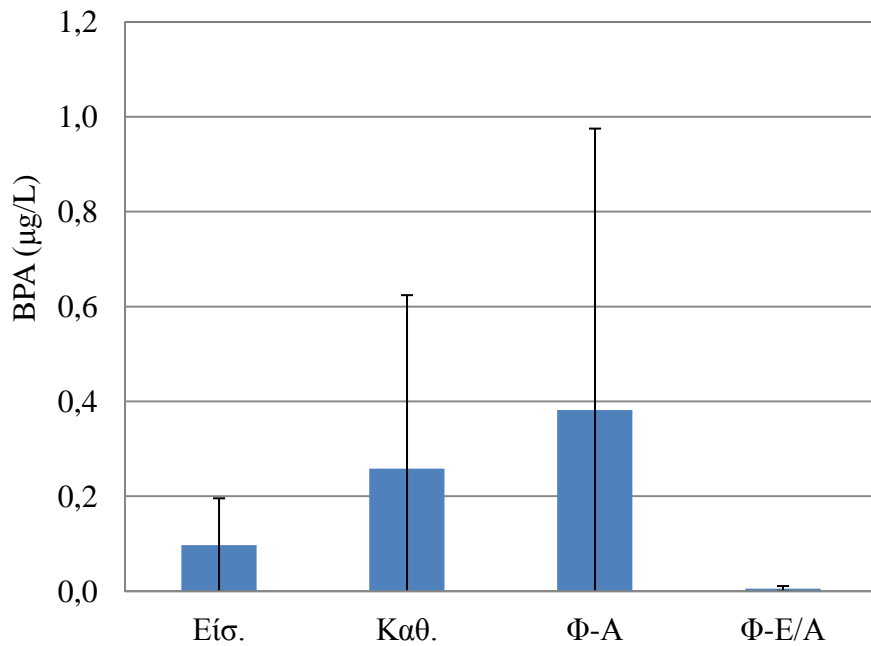
Σχήμα 4.75 Μέση συγκέντρωση μονο-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



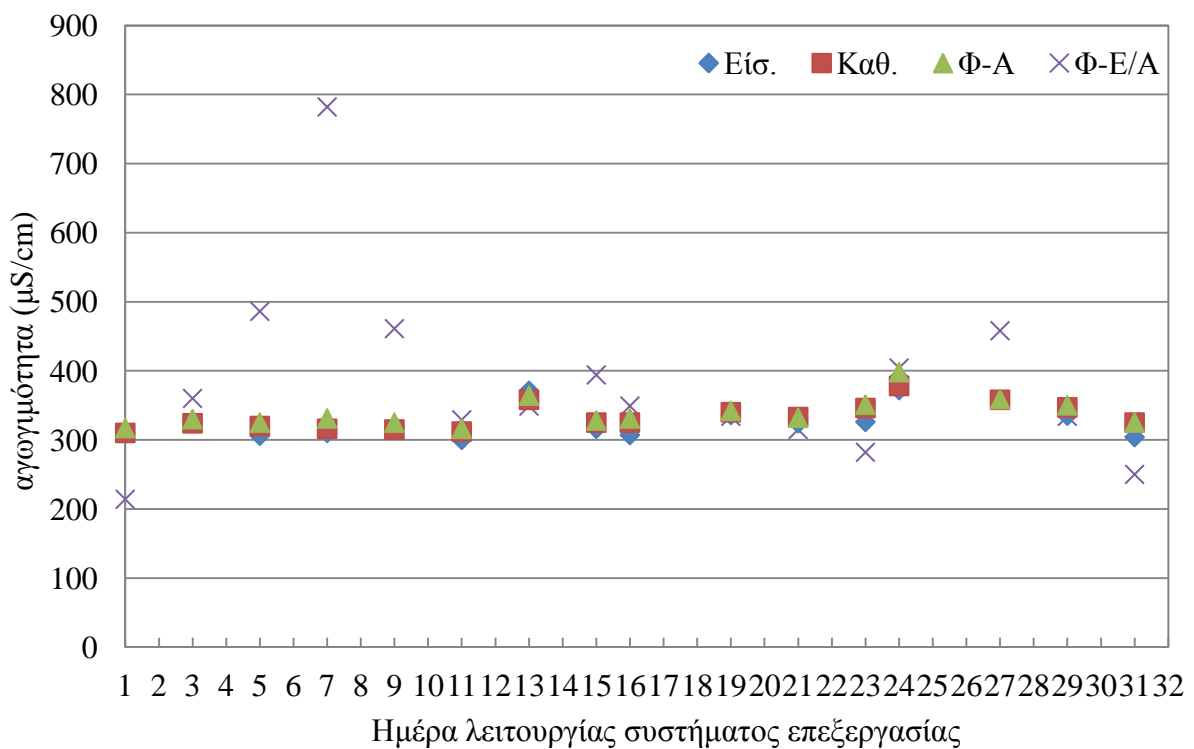
Σχήμα 4.76 Μέση συγκέντρωση δι-αιθοξυλιωμένης εννεύλοφαινόλης στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



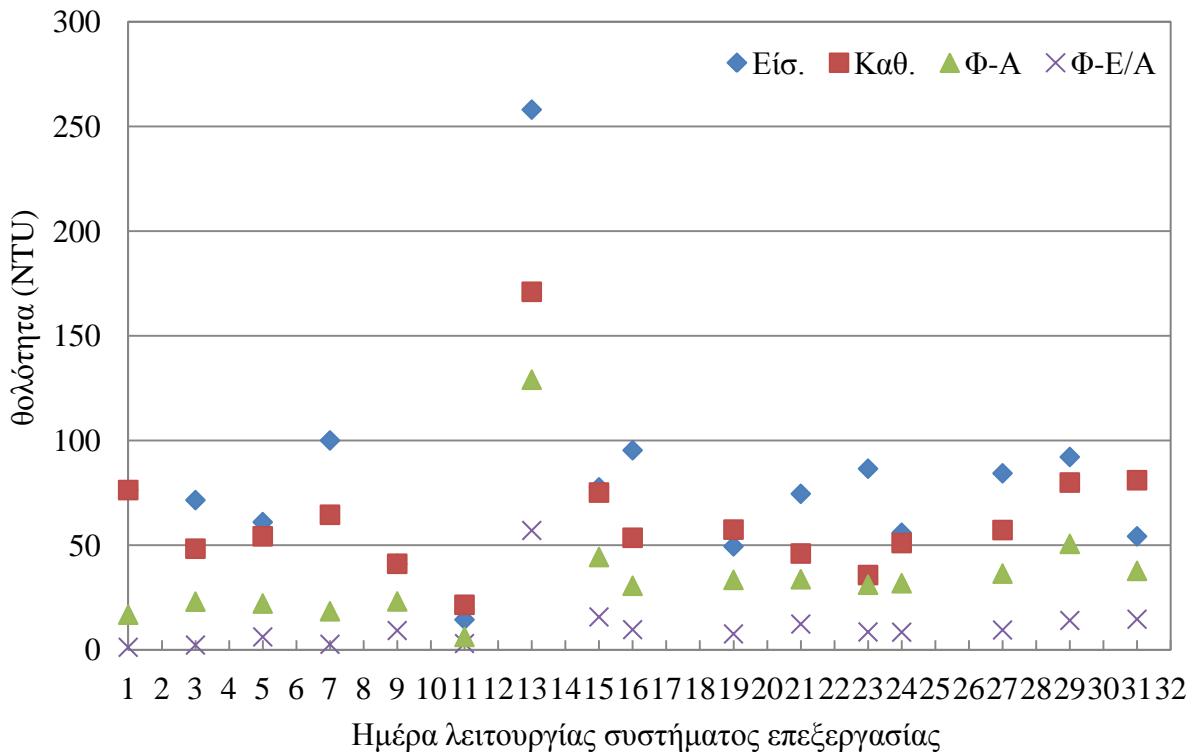
Σχήμα 4.77 Μέση συγκέντρωση τριχλωζάνης στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



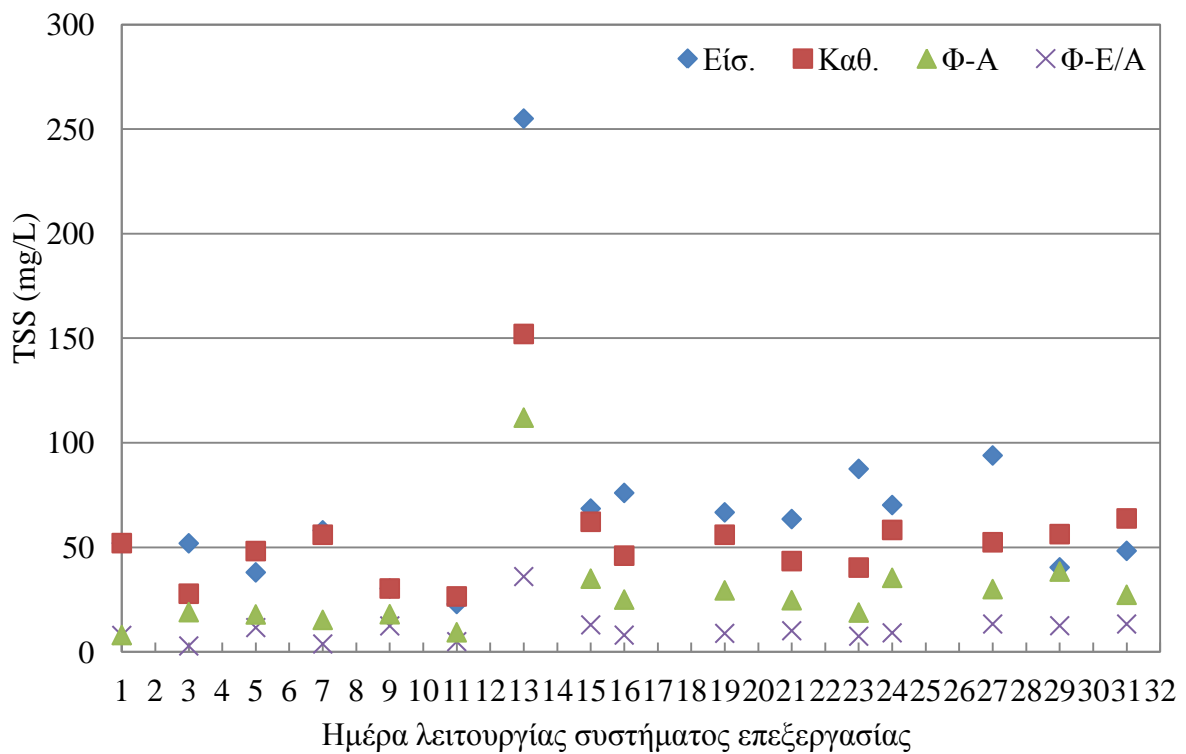
Σχήμα 4.78 Μέση συγκέντρωση δισφαινόλης Α στο σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού



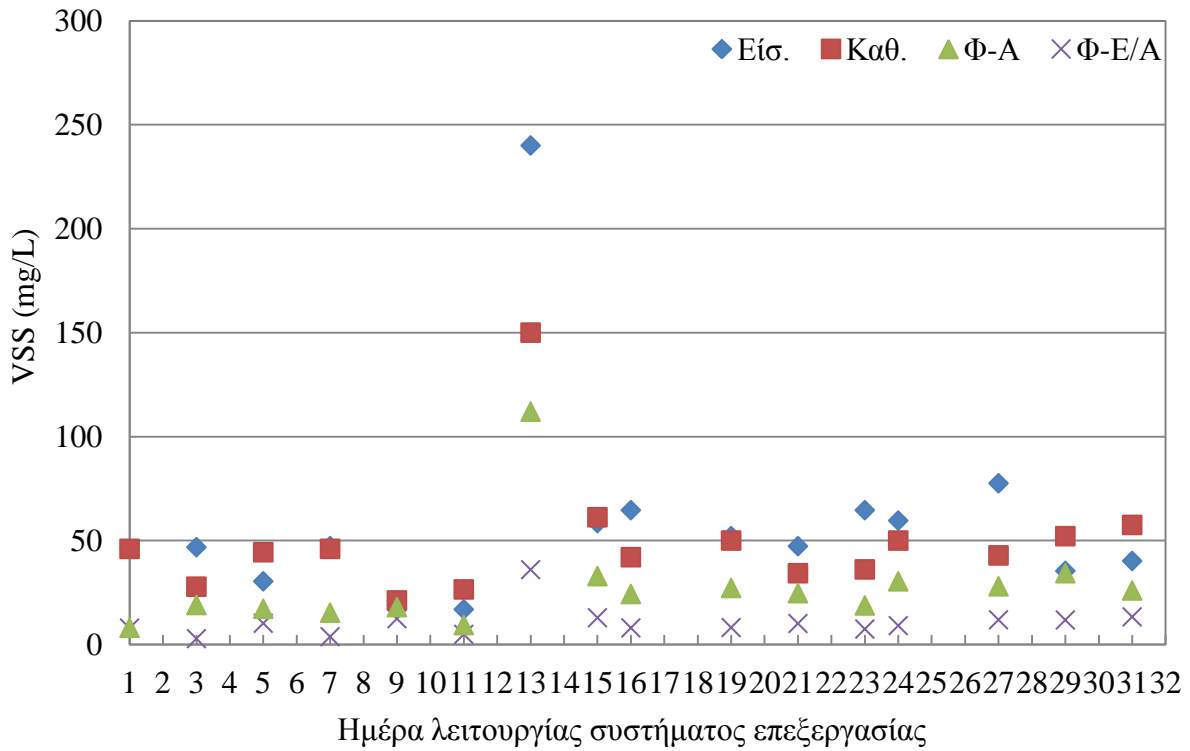
Σχήμα 4.79 Αγωγιμότητα ανά δειγματοληψία και θέση



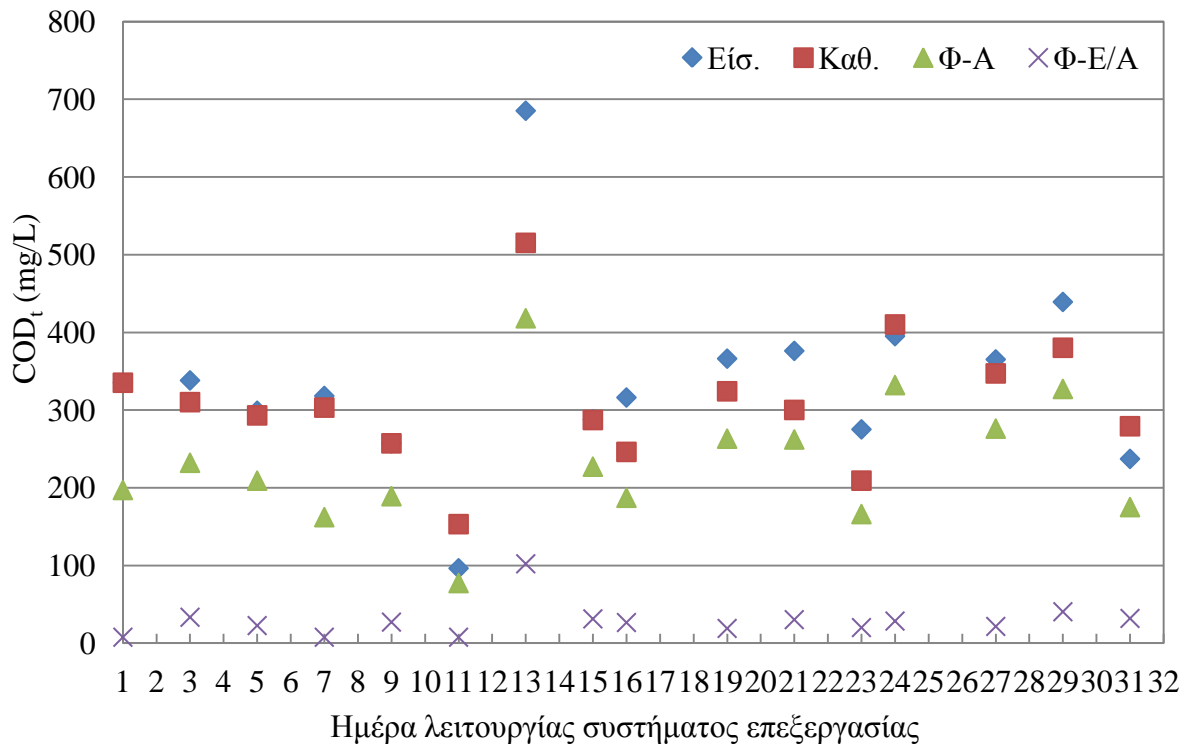
Σχήμα 4.80 Τιμές θολότητας ανά δειγματοληψία και θέση



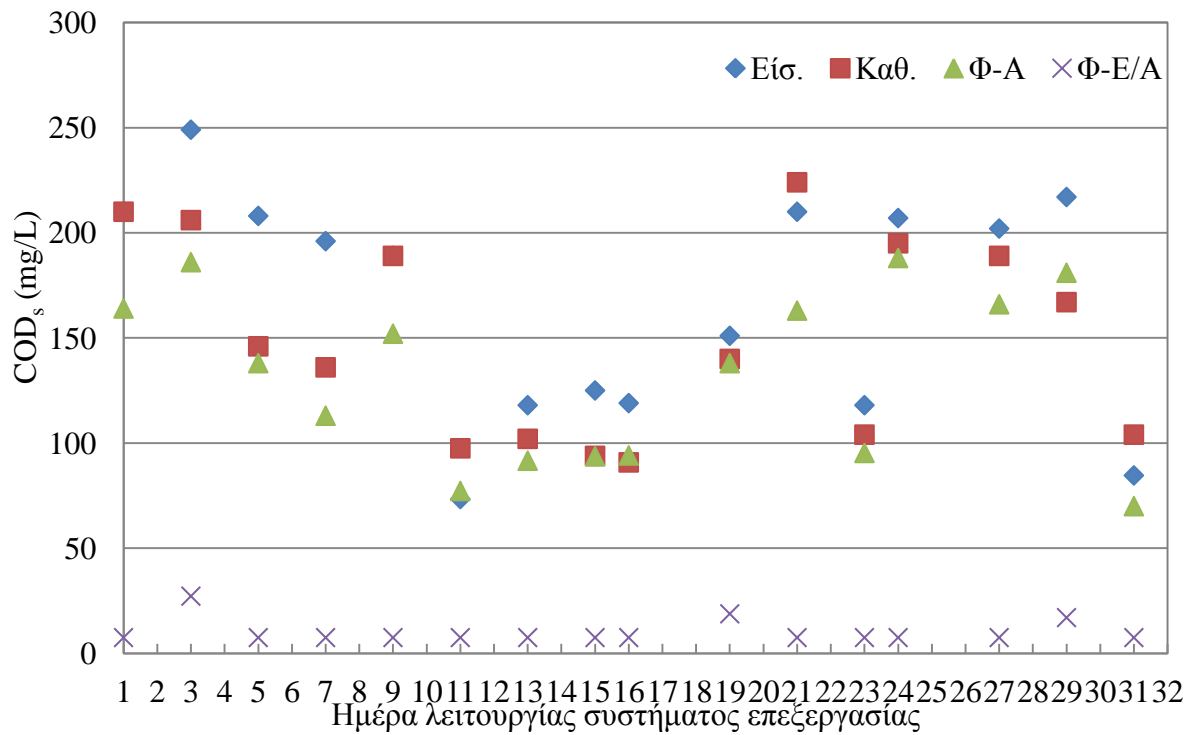
Σχήμα 4.81 Συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων στερεών ανά δειγματοληψία και θέση



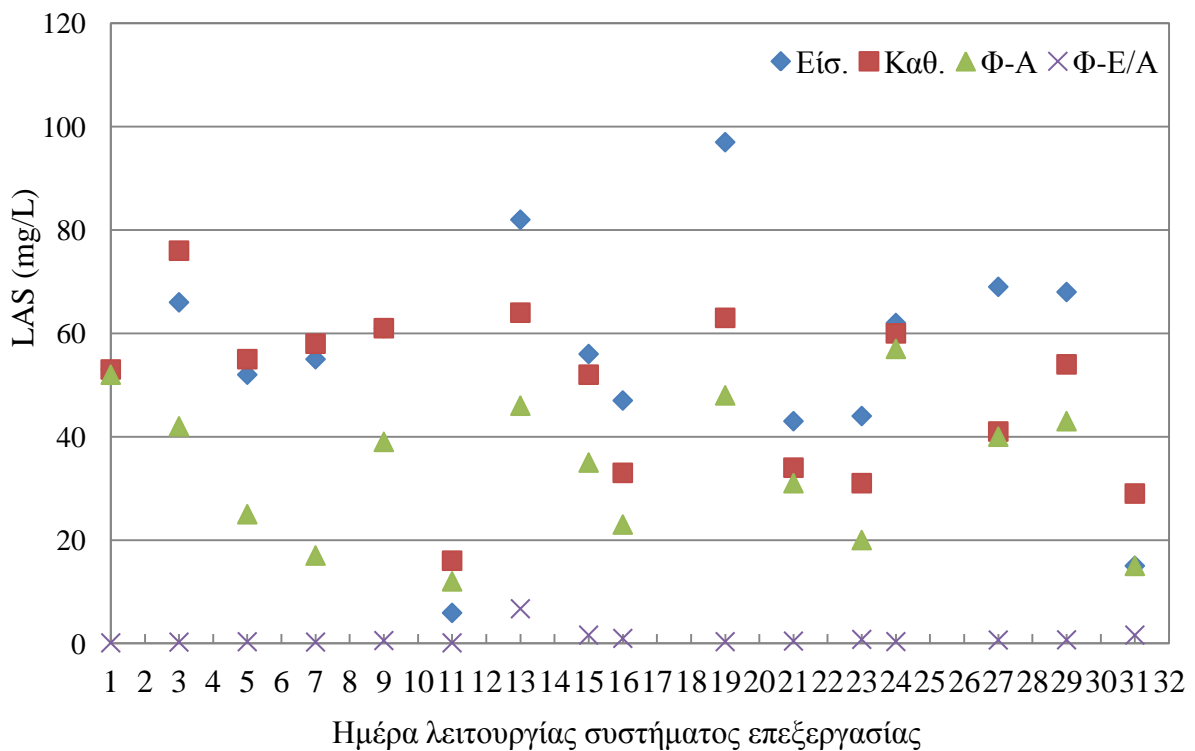
Σχήμα 4.82 Συγκέντρωση πτητικών αιωρούμενων στερεών ανά δειγματοληψία και θέση



Σχήμα 4.83 Συγκέντρωση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά δειγματοληψία και θέση



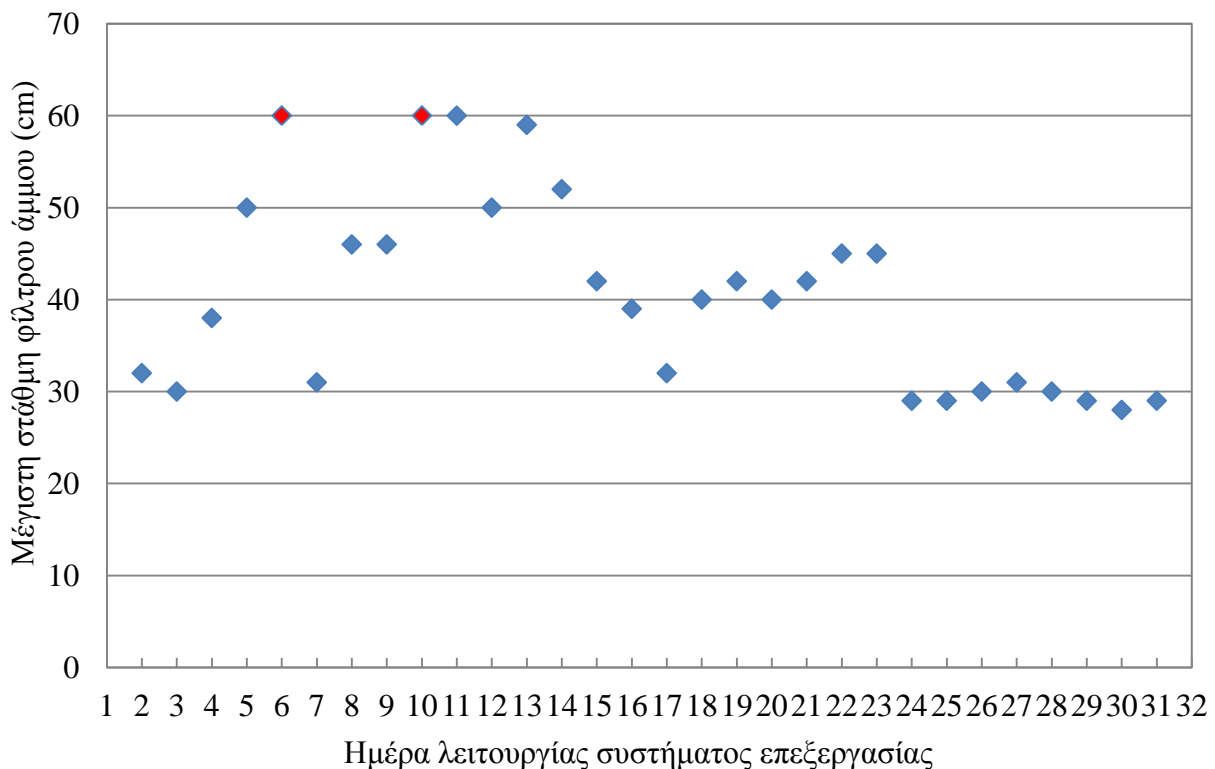
Σχήμα 4.84 Συγκέντρωση διαλυτού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά δειγματοληψία και θέση



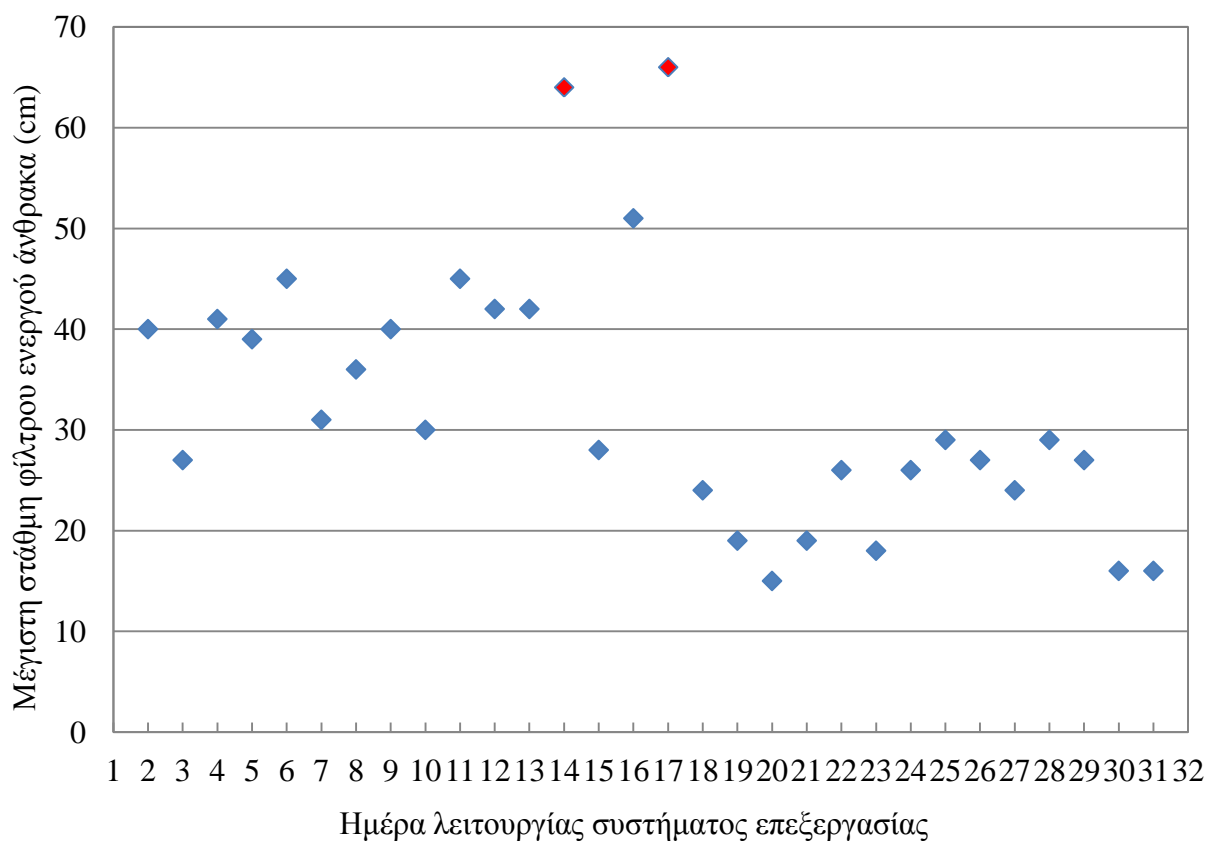
Σχήμα 4.85 Συγκέντρωση ανιονικών τασιενεργών ενώσεων ανά δειγματοληψία και θέση

Στα Σχήματα 4.86 και 4.87, παρουσιάζεται η μέγιστη στάθμη λυμάτων πάνω από το φίλτρο άμμου και άνθρακα, αντίστοιχα, ανά ημέρα λειτουργίας του συστήματος επεξεργασίας. Με κόκκινο δείκτη σημειώνονται οι ημέρες όπου η μέγιστη στάθμη ήταν ίση ή μεγαλύτερη από τη στάθμη που έχει ως οριστεί ως όριο για την πραγματοποίηση έκπλυσης (60 cm). Παρατηρείται ότι η έκπλυση των φίλτρων επαναφέρει τη στάθμη σε λειτουργικά επίπεδα.

Στον Πίνακα 4.28 παρουσιάζεται το ποσοστό απομάκρυνσης του ολικού COD του γκρίζου νερού της δεξαμενής καθίζησης μετά τη δύλιση στο φίλτρο άμμου ($\Delta\text{COD}_{\text{Καθ.-Φ-Α}}$) και το ποσοστό απομάκρυνσης του μετά το φίλτρο του ενεργού άνθρακα ($\Delta\text{COD}_{\text{Καθ.-Φ-Ε/Α}}$) σε συγκεκριμένες ημέρες λειτουργίας του συστήματος όπου η μέγιστη στάθμη λυμάτων πάνω από το φίλτρο άμμου είναι αρκετά υψηλή (50 και 59 cm) και χαμηλή (29 και 30 cm). Παρατηρείται ότι ταυτόχρονα με την υψηλή στάθμη πάνω από το φίλτρο άμμου (59 cm) σημειώνεται και μειωμένη απομάκρυνση COD κατά τη διέλευση του γκρίζου νερού από αυτό (80%), πιθανώς λόγω της έμφραξης των πόρων του φίλτρου. Στον Πίνακα 4.29 παρουσιάζεται το ποσοστό απομάκρυνσης του ολικού COD του γκρίζου νερού της δεξαμενής καθίζησης μετά τη διέλευση των λυμάτων από τα φίλτρα άμμου και ενεργού άνθρακα ($\Delta\text{COD}_{\text{Καθ.-Φ-Ε/Α}}$) και το ποσοστό απομάκρυνσης του COD του γκρίζου νερού της εκροής του φίλτρου άμμου μετά την προσρόφηση στο φίλτρο του ενεργού άνθρακα ($\Delta\text{COD}_{\text{Φ-Α-Φ-Ε/Α}}$). Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, δεν παρατηρείται μειωμένη επεξεργασία τις ημέρες όπου σημειώνεται υψηλή στάθμη λυμάτων πάνω από το φίλτρο ενεργού άνθρακα.



Σχήμα 4.86 Μέγιστη στάθμη φίλτρου άμμου κατά τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας



Σχήμα 4.87 Μέγιστη στάθμη φίλτρου ενεργού άνθρακα κατά τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας

Πίνακας 4.28 Στάθμη φίλτρου άμμου και απομάκρυνση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά στάδιο επεξεργασίας

Στάθμη άμμου (cm)	COD _{Καθ.} (mg/L)	COD _{Φ-Α} (mg/L)	COD _{Φ-Ε/Α} (mg/L)	ΔCOD ¹ _{Καθ.-Φ-Α} (%)	ΔCOD ² _{Καθ.-Φ-Ε/Α} (%)
29	279	175	31,7	-37	-89
30	310	232	33,2	-25	-89
50	293	209	22,5	-29	-92
59	515	418	102	-19	-80

¹ Ποσοστό απομάκρυνσης μετά το στάδιο της διύλισης με φίλτρο άμμου με αναφορά το στάδιο της καθίζησης

² Ποσοστό απομάκρυνσης μετά το στάδιο προσρόφησης ενεργού άνθρακα με αναφορά το στάδιο της καθίζησης

Πίνακας 4.29 Στάθμη φίλτρου ενεργού άνθρακα και απομάκρυνση ολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου ανά στάδιο επεξεργασίας

Στάθμη άνθρακα (cm)	COD _{Καθ.} (mg/L)	COD _{Φ-Α} (mg/L)	COD _{Φ-Ε/Α} (mg/L)	ΔCOD _{Φ-Α-Φ-Ε/Α} %	ΔCOD _{Καθ.-Φ-Ε/Α} %
16	279	175	31,7	-82	-89
24	347	276	21,4	-92	-94
45	153	77,2	7,5	-90	-95
51	246	187	26,4	-86	-89

¹ Ποσοστό απομάκρυνσης μετά το στάδιο προσρόφησης ενεργού άνθρακα με αναφορά την εκροή από το φίλτρο άμμου

² Ποσοστό απομάκρυνσης μετά το στάδιο προσρόφησης ενεργού άνθρακα με αναφορά το στάδιο της καθίζησης

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν διττός: ο χαρακτηρισμός και η επεξεργασία γκρίζου νερού. Αρχικά, προσδιορίστηκε η παροχή του γκρίζου νερού και των μικτών οικιακών λυμάτων. Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν τα γενικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και οι χημικές ιδιότητες δειγμάτων που ελήφθησαν από τις τέσσερις ροές γκρίζου νερού –την κουζίνα, τη μπανιέρα, το πλυντήριο ρούχων και τον νιπτήρα. Έπειτα, ακολούθησε η επεξεργασία γκρίζου νερού που προερχόταν από τη μπανιέρα και τον νιπτήρα, σε εγκατάσταση που αποτελούνταν από δεξαμενή καθίζησης, φίλτρο άμμου και φίλτρο ενεργού άνθρακα.

5.1 Συμπεράσματα από τον χαρακτηρισμό του γκρίζου νερού

Έπειτα από την καταγραφή των υδατικών καταναλώσεων σε επίπεδο οικίας, η μέση παροχή του γκρίζου νερού προέκυψε 98,1 L ανά κάτοικο και ημέρα, παροχή που αντιστοιχεί στο 72% των οικιακών υγρών αποβλήτων. Από τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- (α) Τα χαρακτηριστικά και η παροχή του γκρίζου νερού παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα και εξαρτώνται από τις συνήθειες των κατοίκων, τα προϊόντα και τις συσκευές που αυτοί χρησιμοποιούν.
- (β) Το μεγαλύτερο μέρος της ημερήσιας παροχής γκρίζου νερού προέρχεται από τη χρήση της μπανιέρας και του νεροχύτη.
- (γ) Το γκρίζο νερό που προέρχεται από το πλυντήριο ρούχων και την κουζίνα είναι το πιο επιβαρυνόμενο, καθώς σε αυτές τις ροές παρατηρείται το υψηλότερο οργανικό φορτίο, η μεγαλύτερη συγκέντρωση στερεών και τασιενεργών ενώσεων.
- (δ) Το μικτό γκρίζο νερό, το οποίο προκύπτει από τη χρήση του νιπτήρα, του νεροχύτη, της μπανιέρας και του πλυντηρίου ρούχων, παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις COD_t (903 ± 286 mg/L), COD_s (470 ± 259 mg/L) και BOD_5 (630 ± 233 mg/L). Η συγκέντρωση των ολικών στερεών είναι 649 ± 151 mg/L. Η εξαίρεση της ροής της κουζίνας από αυτό δε βελτιώνει την ποιότητα του γκρίζου νερού, ενώ αντίθετα, το ασθενές γκρίζο νερό, το οποίο προέρχεται αποκλειστικά από το μπάνιο, παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις.
- (ε) Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων εντοπίζονται στη ροή του πλυντηρίου ρούχων, ωστόσο όλες οι συγκεντρώσεις που μετρήθηκαν είναι μικρότερες από τις μέγιστες επιτρεπόμενες που αναφέρονται στην ΚΥΑ 145116/2011.
- (στ) Η ύπαρξη ενδοκρινικών διαταρακτών στο γκρίζο νερό οφείλεται στη χρήση καθαριστικών, απορρυπαντικών και ειδών προσωπικής υγιεινής. Συνεπώς, οι επιλογές των κατοίκων ως καταναλωτές επηρεάζουν τη συγκέντρωση των μικροοργανικών ενώσεων σε αυτό. Οι υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις NP και NP2EO καταγράφονται στη ροή του πλυντηρίου ρούχων, ενώ η υψηλότερη μέση συγκέντρωση TCS, NP1EO και BPA στο γκρίζο νερό της μπανιέρας.

5.2 Συμπεράσματα από τη λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας

Τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθηκαν από την παρακολούθηση των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας συνοψίζονται στα εξής:

- (α) Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου –του ολικού και του διαλυτού COD– επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της προσρόφησης στο φίλτρο ενεργού άνθρακα, καθώς μετά το στάδιο της καθίζησης και της διύλισης στο φίλτρο άμμου η μέση απομάκρυνση είναι περιορισμένη.
- (β) Αντίθετα, η θολότητα και η συγκέντρωση των στερεών μειώνεται σημαντικά τόσο κατά τη διύλιση με το φίλτρο άμμου όσο και από τη προσρόφηση στον ενεργό άνθρακα.
- (γ) Ο μέσος αριθμός των E. Coli στην εκροή του συστήματος επεξεργασίας είναι 543 E. Coli/100 mL, συνεπώς το στάδιο της απολύμανσης είναι απαραίτητο.
- (δ) Η συγκέντρωση των τασιενεργών ενώσεων στο επεξεργασμένο νερό είναι σημαντικά μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη των ανεπεξέργαστων. Η μείωση αυτή ωστόσο οφείλεται κυρίως στη χρήση φίλτρου ενεργού άνθρακα.
- (ε) Το φίλτρο του ενεργού άνθρακα επιτυγχάνει σημαντική απομάκρυνση των ενδοκρινικών διαταρακτών.

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, η Ελλάδα έχει υιοθετήσει αυστηρά όρια για την επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού. Συνεπώς, η εγκατάσταση επεξεργασίας που μελετήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση, ώστε τα χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου νερού να τηρούν τα όρια επαναχρησιμοποίησης.

Με σκοπό τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της εγκατάστασης σχετικά με την απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου του γκρίζου νερού, θα μπορούσε να μελετηθούν και να συγκριθούν ως προς την αποτελεσματικότητά τους:

- (α) η αύξηση του ύψους των φίλτρων,
- (β) η επιβολή διαφορετικών υδραυλικών φορτίσεων,
- (γ) η χρήση άμμου διαφορετικής κοκκομετρίας ή η χρήση ενεργού άνθρακα με διαφορετικά χαρακτηριστικά,
- (δ) η χρήση κροκιδωτικών και
- (ε) η εφαρμογή χλωρίωσης ή UV ακτινοβολίας στην εκροή του φίλτρου του ενεργού άνθρακα.

Επιπλέον, θα είχε ενδιαφέρον η μελέτη της επεξεργασίας γκρίζου νερού, διαφορετικής σύνθεσης, όπως για παράδειγμα μικτό γκρίζο νερό το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση όλων των ροών.

Αναφορές

Ξενόγλωσσες αναφορές

Abdel_Kader, A., Studying The Efficiency Of Grey Water Treatment By Using Rotating Biological Contactors System, *Fifteenth International Water Technology Conference, IWTC-15*, Egypt, 2011.

Abdel-Shafya, H.I., El-Khateebab, M.A., Shehata, M., Greywater treatment using different designs of sand filters, *Desalination and water treatment*, 1-6, 2013.

Allen L., Christian-Smith J., & Palaniappan M. (2010). Overview of Greywater Reuse: The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management. Pacific Institute Oakland, California. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: http://www.environmentportal.in/files/greywater_overview.pdf

Almqvist, H., Hanæus, J., Organic hazardous substances in graywater from Swedish households, *Journal of Environmental Engineering*, 132 (8), 901–908, 2006.

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*, 454-455, 426-432, 2013.

Benetto, E., Nguyen, D., Lohmann, T., Schmitt, B., Schosseler., P., Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment, *Science of The Total Environment*, 407(5), 1506-1516, 2009.

Casanova, L. M. , Gerba, C.P., Karpiscak, M., Chemical and microbial characterization of household graywater, *Journal of Environmental Science and Health*, A36(4), 395-401 2001.

Chaillou, K., Gérente, C., Andrès, Y., Wolbert, D., Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse, *Water Air Soil Pollut* ,215:31–42, 2011.

Christova – Boal, D., R. E. Eden and S. McFarlane, An investigation into greywater reuse for urban residential properties, *Desalination*, 106 (1-3), 391 – 397, 1996.

Department of Health Western Australia, Draft Guidelines for the Reuse of Greywater in Western Australia, 2002. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.health.wa.gov.au>

Donner, E., Eriksson, E., Revitt, D.M., Scholes, L., Holten Lützhøft, H-C., Ledin, A., Presence and fate of priority substances in domestic greywater treatment and reuse systems, *Science of the Total Environment*, 408, 2444-2451, 2010.

Environment Agency, Greywater for domestic users: an information guide, Bristol, 2011. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο <http://www.sswm.info>

EPA, Guidelines for Water Reuse, EPA/600/R-12/618, 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>

Eriksson, E., K. Auffarth, M. Henze and A. Ledin, Characteristics of grey wastewater, *Urban Water*, 4, 85-104, 2002.

Eriksson, E., Donner, E., Metals in greywater: Sources, presence and removal efficiencies, *Desalination*, 248, 271-278, 2009.

Fane, S., Reardon, C., Wastewater re – use, *Water Use*, 227-230, 2009.

- Friedler E., and Penn R. (2011) Study of the effects of on-site greywater reuse on municipal sewer systems. Research Project No. 2013031, Final Report. Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο: http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/gwri_abstracts/2011/1.pdf
- Friedler, E., Kovalio, R., Galil, N.I., On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings, *Proceedings of the 1st International Conference on Onsite Wastewater Treatment & Recycling*, Fremantle, Western Australia, 2004.
- Gilmour, D., Blackwood, D., Comber, S., Thornell, A., Identifying human waste contribution of phosphorus loads to domestic wastewater, *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- Hernández-Leal, L., Zeeman, G., Temmink, H., Buisman, C.J.N., Characterisation and biological treatment of greywater, *Water Science & Technology* , 56 (5), 193-200, 2007.
- Hernández-Leal, L., Zeeman, G., Temmink, H., Buisman, C.J.N., Grey water treatment concept integrating water and carbon recovery and removal of micropollutants, *Water Practice & Technology*, 6 (2), 2011.
- Ledin, A., Eriksson, E., and Henze, M.. Aspects of groundwater recharge using grey wastewater. In *Decentralised Sanitation and Reuse*, G. Lettinga, ed (London), pp. 650., 2001.
- Li, F., Wichmann, K., Otterpohl, R., Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses, *Science of the Total Environment*, 407, 3439-3449, 2009.
- Lin, C., Lo, S., Kuo L., Wu , C., Pilot-Scale Electrocoagulation with Bipolar Aluminum Electrodes for On-Site Domestic Greywater Reuse, *Journal of environmental engineering*, 2005. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:3(491)
- Nganga, V.G., Kariuki, F.W., Kotut, K., A Comparison of the Physico-Chemical and Bacteriological Quality of Greywater from Water Deficient Households in Homabay Town and Githurai Estates in Kenya, *The Open Environmental Engineering Journal*, 5, 110-118, 2012.
- NSW Health, Greywater Reuse in Sewered Single Domestic Premises, 2000. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.health.nsw.gov.au>
- Ottoson, J., Stenström, T.A., Faecal contamination of greywater and associated microbial risks, *Water Research*, 37, 645–655, 2003.
- Palmquist, H., Hanæus, J., Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households, *Science of the Total Environment*, 348, 151-163, 2005.
- Pathan, A.A, Mahar, R.B., Ansari, K., Preliminary Study of Greywater Treatment through Rotating Biological Contactor, *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 30 (3), 2011.
- Pidou M., Memon, F.A., Stephenson, T., Jefferson, B., Jeffery, P., Greywater recycling: A review of treatment options and applications, *Institute of Civil Engineers, Proceedings of the ICE- Energy Sustainability*, 160, 119-131, 2007.
- Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S.A, Liu, S., Memon, F., Jefferson, B., Chemical solutions for greywater recycling, *Chemosphere*, 71, 147–155, 2008.

Ramon, G., Green, M., Semiat, R. and Dosoretz, C., Low strength greywater characterization and treatment by direct membrane filtration, *Desalination*, 170, 241-250, 2004.

Ridderstolpe, P., Introduction to Greywater Management, EcoSanRes Programme, WRS Uppsala AB, 2004. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <http://www.ecosanres.org>

Schäfer, A.I., Nghiem, L.D., Oschmann N., Bisphenol A retention in the direct ultrafiltration of greywater, *Journal of Membrane Science*, 283, 233-243, 2006.

Sostar-Turk, S., Petrinic, I., Simonic, M., 2005, Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration, *Resources, Conservation and Recycling*, 44 (2), 185-96, 2005.

State of Idaho Department of Environmental Quality, Domestic Wastewater Phosphorus Concentration Report, 2012. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: <https://www.deq.idaho.gov/media/883278-phosphorus-concentration-report-0812.pdf>

Tchobanoglous, G., Wastewater engineering : treatment, disposal and reuse, McGraw – Hill series in water resources and environmental engineering, 3rd edition, 1991.

W.H.O., Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture, W.H.O. Technical Report Series 772, Geneva, Switzerland, 1989. Διαθέσιμο στον δικτυακό τόπο: http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_778.pdf

Wright M., Safe Use of Household Greywater, Guide-106, New Mexico State University, 1986.

Ελληνικές αναφορές

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

Νουτσόπουλος, Κ., Σημειώσεις του μαθήματος Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων Μικρής Κλίμακας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010.

Ιστοσελίδες

<http://www.ecodes.biz/> (The 2010 Florida Building Code)

<http://www.efsa.europa.eu>

<http://www.epa.gov>

<http://www.fbr.de>

<http://www.greenpeace.org>

<http://www.greywater.com.au>

<http://www.healthcanada.gc.ca> (Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing)

<http://www.householdproducts.nlm.nih.gov>

<http://www.lasinfo.org>

<http://www.pub.gov.sg>

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

<http://www.subsport.eu>

<http://www.yourhome.gov.au>

Παράρτημα Α: Αποτελέσματα δειγματοληψιών χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Πίνακας Α.1 Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	αγωγιμότητα μS/cm	TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L
Οικία Α	Κουζίνα	346	367	10,0	9,67
	Μπανιέρα	308	303	89,5	89,5
	Πλυντήριο ρούχων	340	570	217	176
	Νιπτήρας	307	275	40,0	23,8
Οικία Β	Κουζίνα	375	750	415	425
	Μπανιέρα	298	363	141	131
	Πλυντήριο ρούχων	940	949	170	128
	Νιπτήρας	300	403	107	58,0
Οικία Γ	Κουζίνα	324	963	573	544
	Μπανιέρα	398	405	57,5	54,0
	Πλυντήριο ρούχων	519	605	182	88,2
	Νιπτήρας	280	470	165	107

Πίνακας Α.2 Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά τη δεύτερη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	αγωγιμότητα μS/cm	TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L
Οικία Α	Κουζίνα	337	485	163	163
	Μπανιέρα	278	235	30,9	30,9
	Πλυντήριο ρούχων	1515	2594	425	394
	Νιπτήρας	372	391	68,9	41,0
Οικία Β	Κουζίνα	1478	2030	700	695
	Μπανιέρα	302	278	66,7	64,3
	Πλυντήριο ρούχων	381	457	120	95,0
	Νιπτήρας	300	539	217	153
Οικία Γ	Κουζίνα	303	871	281	276
	Μπανιέρα	310	308	35,9	30,8
	Πλυντήριο ρούχων	371	1572	192	169
	Νιπτήρας	289	378	202	146

Πίνακας Α.3 Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την τρίτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	αγωγιμότητα μS/cm	TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L
Οικία Α	Κουζίνα	333	889	479	467
	Μπανιέρα	310	229	35,1	33,0
	Πλυντήριο ρούχων	311	512	59,2	59,2
	Νιπτήρας	334	337	28,9	21,9
Οικία Β	Κουζίνα	682	934	323	312
	Μπανιέρα	309	355	135	114
	Πλυντήριο ρούχων	997	954	64,3	44,6
	Νιπτήρας	317	254	37,0	37,0
Οικία Γ	Κουζίνα	298	917	71,9	71,9
	Μπανιέρα	336	371	50,0	43,3
	Πλυντήριο ρούχων	454	1375	155	139
	Νιπτήρας	315	211	30,7	21,1

Πίνακας Α.4 Αποτελέσματα γενικών ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την τέταρτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	αγωγιμότητα μS/cm	TS mg/L	TSS mg/L	VSS mg/L
Οικία Α	Κουζίνα	270	565	103	103
	Μπανιέρα	325	361	72,0	72,0
	Πλυντήριο ρούχων	333	780	138	138
	Νιπτήρας	356	393	34,0	28,0
Οικία Β	Κουζίνα	335	664	310	310
	Μπανιέρα	309	352	114	114
	Πλυντήριο ρούχων	1298	1390	205	150
	Νιπτήρας	330	351	65,9	35,2
Οικία Γ	Κουζίνα	303	1160	396	396
	Μπανιέρα	338	345	54,0	54,0
	Πλυντήριο ρούχων	372	1261	96,7	90,0
	Νιπτήρας	310	478	89,9	34,3

Πίνακας Α.5 Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου 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
Οικία Α	Κουζίνα	7,24	233	201	186	<0,050	<0,050	92	<0,015	<0,23	<0,010	<0,20	<0,23
	Μπανιέρα	7,38	405	213	270	<0,050	<0,050	66	1,0	<0,23	0,041	1,9	2,1
	Πλυντήριο ρούχων	7,86	2220	1630	1610	<0,050	0,46	350	0,77	0,74	0,093	0,82	1,7
	Νιπτήρας	7,61	354	332	255	0,53	0,90	49	0,016	<0,23	<0,010	0,68	0,80
Οικία Β	Κουζίνα	6,39	1100	602	911	1,50	2,6	67	<0,015	<0,23	0,024	11	11
	Μπανιέρα	7,30	461	264	306	<0,050	<0,050	86	0,97	<0,23	0,010	2,3	2,4
	Πλυντήριο ρούχων	8,67	732	544	443	0,067	0,86	150	2,1	<0,23	0,144	4,9	5,2
	Νιπτήρας	7,55	254	147	184	0,069	0,87	41	1,9	<0,23	0,019	3,9	4,0
Οικία Γ	Κουζίνα	6,95	1600	927	1500	1,50	2,30	25	0,077	0,47	0,016	1,7	2,2
	Μπανιέρα	7,41	528	439	332	<0,050	0,54	110	0,50	<0,23	0,011	2,4	2,5
	Πλυντήριο ρούχων	7,57	3340	3300	2850	<0,050	2,83	820	0,66	0,59	0,049	3,1	3,7
	Νιπτήρας	7,36	532	244	439	<0,050	0,43	39	<0,015	<0,23	<0,010	0,52	0,64

Πίνακας Α.6 Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά τη δεύτερη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου 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
Οικία Α	Κουζίνα	7,71	592	451	539	0,30	1,5	210	0,045	0,12	0,031	5,6	5,8
	Μπανιέρα	7,69	143	67,5	113	<0,050	<0,050	33	0,23	<0,23	<0,010	0,52	0,64
	Πλυντήριο ρούχων	9,72	4750	1930	3000	2,3	2,5	580	0,82	2,2	0,036		
	Νιπτήρας	8,03	455	405	314	0,19	0,98	24	0,17	1,1	<0,010	1,2	2,3
Οικία Β	Κουζίνα	6,91	2060	419	1350	9,8	12	82	0,89	0,27	0,064	5,8	6,1
	Μπανιέρα	7,60	252	123	177	<0,050	<0,050	54	0,57	<0,23	0,010	1,8	1,9
	Πλυντήριο ρούχων	7,44	432	175	297	<0,050	0,69	69	3,9	0,32	0,067	6,7	7,1
	Νιπτήρας	7,45	566	159	453	0,083	0,37	76	0,28	<0,23	<0,010	0,39	0,51
Οικία Γ	Κουζίνα	6,86	1320	729	805	<0,050	1,5	23	0,11	2,4	<0,010	2,0	4,4
	Μπανιέρα	7,54	360	145	233	<0,050	0,078	110	0,19	<0,23	<0,010	0,74	0,86
	Πλυντήριο ρούχων	7,46	3770	1470	2140	0,051	2,1	820	2,5	0,77	<0,010	2,9	3,7
	Νιπτήρας	7,42	504	106	337	0,34	0,76	66	0,30	<0,23	<0,010	0,50	0,62

Πίνακας Α.7 Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά την τρίτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου 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
Οικία Α	Κουζίνα	6,78	1132	282	707	2,6	3,6	258	0,026	0,57	0,017	1,3	1,9
	Μπανιέρα	7,79	205	90,7	128	<0,050	0,096	20	0,30	<0,23	<0,010	0,44	0,44
	Πλυντήριο ρούχων	7,91	918	592	473	<0,050	0,46	488	0,33	0,31	0,017	2,7	3,0
	Νιπτήρας	8,04	326	173	234	0,37	0,67	30	0,13	0,47	<0,010	0,59	1,1
Οικία Β	Κουζίνα	7,12	1048	260	620	<0,050	2,0	43	0,034	0,31	0,010	7,5	7,8
	Μπανιέρα	7,52	510	92,7	344	<0,050	0,054	69	0,67	<0,23	<0,010	7,9	7,9
	Πλυντήριο ρούχων	8,77	568	280	359	<0,050	0,8	116	0,59	0,43	0,16	2,0	2,6
	Νιπτήρας	7,72	163	106	119	0,59	1,2	30	0,16	<0,23	<0,010	3,8	3,8
Οικία Γ	Κουζίνα	7,12	974	761	725	0,080	1,5	19	0,42	2,4	<0,010	0,86	3,3
	Μπανιέρα	7,63	465	272	280	<0,050	0,1	141	0,21	<0,23	<0,010	1,1	1,1
	Πλυντήριο ρούχων	8,15	2709	1956	1627	<0,050	1,4	683	1,1	0,51	0,022	1,5	2,0
	Νιπτήρας	7,57	882	806	527	4,4	7,6	6,5	0,29	<0,23	<0,010	6,4	6,4

Πίνακας Α.8 Αποτελέσματα χημικών παραμέτρων κατά την τέταρτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου 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
Οικία Α	Κουζίνα	6,00	868	596	695	1,5	3,4	93	0,088	0,82	0,029	16	17
	Μπανιέρα	7,20	478	179	373	<0,050	<0,050	101	0,61	<0,23	0,019	3,0	3,1
	Πλυντήριο ρούχων	7,67	1619	963	1060	<0,050	0,58	175	0,58	0,67	0,080	18	19
	Νιπτήρας	7,93	507	431	406	0,40	0,9	94	0,17	0,26	0,014	2,8	3,1
Οικία Β	Κουζίνα	6,84	984	364	798	<0,050	1,3	26	0,34	1,4	0,016	4,3	5,7
	Μπανιέρα	7,42	461	109	306	<0,050	0,072	70	0,69	<0,23	0,018	4,9	5,0
	Πλυντήριο ρούχων	9,30	1142	594	804	<0,050	0,87	230	2,6	0,90	0,17	12	13
	Νιπτήρας	7,68	279	110	171	<0,050	0,4	38	0,33	<0,23	0,012	3,9	4,0
Οικία Γ	Κουζίνα	6,89	1520	628	1137	0,10	0,87	100	0,37	3,6	0,012	9,5	13
	Μπανιέρα	7,43	417	322	295	<0,050	0,12	77	0,38	<0,23	<0,010	4,1	4,1
	Πλυντήριο ρούχων	7,73	2669	540	1695	<0,050	0,98	745	1,1	0,55	0,060	6,3	6,9
	Νιπτήρας	7,29	298	240	215	0,14	0,59	14	0,22	<0,23	0,010	3,2	3,3

Πίνακας Α.9 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Cd μg/L	Pb μg/L	Cr μg/L	Ni μg/L	Zn mg/L	Cu μg/L
Οικία Α	Κουζίνα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,22	<5,0
	Μπανιέρα	<0,15	2,6	<2,5	<5,0	0,064	<5,0
	Πλυντήριο ρούχων	0,15	7,7	3,5	<5,0	0,27	49
	Νιπτήρας	0,16	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
Οικία Β	Κουζίνα	0,18	<2,5	<2,5	<5,0	0,059	<5,0
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,17	6,2
	Πλυντήριο ρούχων	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	12
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,083	<5,0
Οικία Γ	Κουζίνα	<0,15	<2,5	4,2	<5,0	0,051	46
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	102
	Πλυντήριο ρούχων	<0,15	3,7	19	6,8	0,31	73
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	6,8	<0,050	7,7

Πίνακας Α.10 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων κατά τη δεύτερη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Cd μg/L	Pb μg/L	Cr μg/L	Ni μg/L	Zn mg/L	Cu μg/L
Οικία Α	Κουζίνα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,12	<5,0
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
	Πλυντήριο ρούχων	<0,15	8,1	13	<5,0	0,42	80
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,11	<5,0
Οικία Β	Κουζίνα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,071	45
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,16	8,5
	Πλυντήριο ρούχων	<0,15	<2,5	2,9	<5,0	0,093	20
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
Οικία Γ	Κουζίνα	<0,15	<2,5	3,5	<5,0	<0,050	61
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	91
	Πλυντήριο ρούχων	<0,15	<2,5	4,0	<5,0	0,064	22
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	26

Πίνακας Α.11 Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο νερό του δικτύου

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	Cd μg/L	Pb μg/L	Cr μg/L	Ni μg/L	Zn mg/L	Cu μg/L
Οικία Α	Κουζίνα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,12	<5,0
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
	Πλυντήριο ρούχων	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	0,19	20
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
Οικία Β	Κουζίνα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
	Πλυντήριο ρούχων	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
Οικία Γ	Κουζίνα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
	Μπανιέρα	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0
	Νιπτήρας	<0,15	<2,5	<2,5	<5,0	<0,050	<5,0

Πίνακας Α.12 Συγκεντρώσεις μικροοργανικών ενώσεων κατά την πρώτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	NP ng/L	NP1EO ng/L	NP2EO ng/L	TCS ng/L	BPA ng/L
Οικία Α	Κουζίνα	36485	5403	7089	76	331
	Μπανιέρα	38846	1324	4921	108	624
	Πλυντήριο ρούχων	219772	8639	10772	61	1083
	Νιπτήρας	4111	342	53	92	15
Οικία Β	Κουζίνα	2144	42	72	4	26
	Μπανιέρα	38232	1307	1168	70	246
	Πλυντήριο ρούχων	3935	136	94	7	161
	Νιπτήρας	3017	192	266	89	16
Οικία Γ	Κουζίνα	2144	42	72	4	26
	Μπανιέρα	29054	5900	2652	312	1148
	Πλυντήριο ρούχων	62647	2940	1882	49	786
	Νιπτήρας	3017	192	266	89	16

Πίνακας Α.13 Συγκεντρώσεις μικροοργανικών ενώσεων κατά την τρίτη δειγματοληψία χαρακτηρισμού γκρίζου νερού

Οικία	Πηγή προέλευσης γκρίζου νερού	NP ng/L	NP1EO ng/L	NP2EO ng/L	TCS ng/L	BPA ng/L
Οικία Α	Κουζίνα	41319	1244	387	257	132
	Μπανιέρα	8642	418	677	676	144
	Πλυντήριο ρούχων	16781	1078	1012	218	132
	Νιπτήρας	4616	1239	346	213	73
Οικία Β	Κουζίνα	4675	1597	180	143	78
	Μπανιέρα	43010	6887	2187	1084	1453
	Πλυντήριο ρούχων	5852	999	646	160	32
	Νιπτήρας	6341	358	395	663	13
Οικία Γ	Κουζίνα	850	253	22	40	1
	Μπανιέρα	39067	3505	2735	368	590
	Νιπτήρας	1909	135	130	164	2

Παράρτημα Β: Αποτελέσματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Πίνακας Β.1 Αποτελέσματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Ημερομηνία δειγματοληψίας	Προέλευση δείγματος	αγωγιμότητα μS/cm	Θολότητα NTU	TSS mg/L	VSS mg/L	COD _t mg/L	COD _s mg/L	LAS mg/L	NH ₄ -N mg/L
18/02/2014	Είς.	310	76,3	52,0	46,0	335	210	53	0,53
	Καθ.	310	76,3	52,0	46,0	335	210	53	0,53
	Φ-Α	317	16,8	8,05	8,05	197	164	52	0,48
	Φ-Ε/Α	214	1,20	7,89	7,89	<15	<15	<0,20	0,080
20/02/2014	Είς.	325	71,5	51,9	46,8	338	249	66	0,37
	Καθ.	324	48,3	27,8	27,8	310	206	76	0,34
	Φ-Α	330	23,0	19,0	19,0	232	186	42	0,33
	Φ-Ε/Α	360	2,28	2,82	2,82	33,2	27,2	0,24	0,62
25/02/2014	Είς.	306	61,0	38,0	30,4	299	208	52	0,47
	Καθ.	320	54,2	48,2	44,4	293	146	55	0,26
	Φ-Α	325	22,1	17,9	17,2	209	138	25	0,35
	Φ-Ε/Α	486	6,15	11,6	10,2	22,5	<15	0,32	0,82
27/02/2014	Είς.	310	100	58,1	47,3	318	196	55	0,53
	Καθ.	316	64,5	56,0	46,0	303	136	58	0,59
	Φ-Α	331	18,4	15,3	15,3	162	113	17	0,45
	Φ-Ε/Α	782	2,63	3,77	3,77	<15	<15	0,25	0,049
04/03/2014	Είς.	315	41,1	30,3	21,2	257	189	61	0,46
	Καθ.	315	41,1	30,3	21,2	257	189	61	0,46
	Φ-Α	325	23,1	18,0	18,0	189	152	39	0,67
	Φ-Ε/Α	461	9,20	12,4	12,4	26,9	<15	0,54	0,87

06/03/2014	Είς.	300	14,4	22,9	16,9	96,2	73,4	5,9
	Καθ.	312	21,5	26,5	26,5	153	97,5	16
	Φ-Α	316	6,17	9,37	9,37	77,2	77,2	12
	Φ-Ε/Α	329	2,98	4,89	4,89	<15	<15	<0,20
10/03/2014	Είς.	371	258	255	240	685	118	82
	Καθ.	358	171	152	150	515	102	64
	Φ-Α	364	129	112	112	418	91,6	46
	Φ-Ε/Α	349	57,0	36,0	36,0	102	<15	6,7
12/03/2014	Είς.	316	77,6	68,5	58,4	288	125	56
	Καθ.	325	75,1	62,2	61,2	287	93,9	52
	Φ-Α	328	44,3	35,0	32,9	227	93,7	35
	Φ-Ε/Α	394	15,7	12,9	12,9	31,1	<15	1,6
18/03/2014	Είς.	307	95,3	76,0	64,6	316	119	47
	Καθ.	325	53,5	46,0	42,0	246	90,8	33
	Φ-Α	331	30,6	25,0	24,3	187	94,1	23
	Φ-Ε/Α	349	9,62	8,00	8,00	26,4	<15	0,96
21/03/2014	Είς.	336	49,4	66,7	52,1	366	151	94
	Καθ.	340	57,4	56,0	50,0	324	140	63
	Φ-Α	342	33,4	29,4	27,2	263	138	48
	Φ-Ε/Α	334	7,59	8,84	8,16	18,8	18,8	0,33
26/03/2014	Είς.	324	74,5	63,5	47,3	376	210	43
	Καθ.	333	46,0	43,4	34,3	300	224	34
	Φ-Α	332	33,7	24,7	24,7	262	163	31
	Φ-Ε/Α	315	12,3	10,1	10,1	30,1	<15	0,44

01/04/2014	Είς.	326	86,5	87,5	64,6	275	118	44
	Καθ.	346	35,7	40,3	36,1	209	104	31
	Φ-Α	351	31,1	18,8	18,8	166	95,3	20
	Φ-Ε/Α	282	8,53	7,46	7,46	19,9	<15	0,77
03/04/2014	Είς.	372	55,9	70,2	59,6	395	207	62
	Καθ.	378	51,0	58,3	50,0	410	195	60
	Φ-Α	398	31,8	35,4	30,4	332	188	57
	Φ-Ε/Α	404	8,40	9,09	9,09	28,3	<15	0,34
08/04/2014	Είς.	359	84,3	93,9	77,6	365	202	69
	Καθ.	358	57,2	52,4	42,9	347	189	41
	Φ-Α	359	36,4	30,0	28,0	276	166	40
	Φ-Ε/Α	458	9,46	13,3	11,9	21,4	<15	0,65
10/04/2014	Είς.	335	92,1	40,4	35,4	439	217	68
	Καθ.	347	79,9	56,3	52,1	380	167	64
	Φ-Α	350	50,6	38,4	34,3	327	181	43
	Φ-Ε/Α	334	14,0	12,5	11,8	40,3	17	0,69
15/04/2014	Είς.	304	54,2	48,3	40,2	237	84,6	15
	Καθ.	325	81,0	63,8	57,5	279	104	29
	Φ-Α	325	37,7	27,3	26,0	175	70,0	15
	Φ-Ε/Α	250	14,6	13,3	13,3	31,7	<15	1,6