



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΠΣ: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ (ΔΙΑ)

Διπλωματική Εργασία

**«Ανακύκλωση – επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού: Μέθοδοι
επεξεργασίας και εφαρμογές»**

Παπασταύρου Σταύρος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Βαρβάρα Συγγούνη

Πάτρα, Μάρτιος 2023

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Ανακύκλωση – επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού: Μέθοδοι
επεξεργασίας και εφαρμογές»

Παπασταύρου Σταύρος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Βαρβάρα Συγγούνη

Δρ. Χημικός Μηχανικός

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Γεώργιος Κύζας

Καθηγητής

Δρ. Χημικός

Τμήμα Χημείας, Διεθνές
Πανεπιστήμιο της Ελλάδος, Καβάλα

Πάτρα, Μάρτιος 2023



*«Παπασταύρου Σταύρος», «Ανακύκλωση – επαναχρησιμοποίηση
γκρίζου νερού: Μέθοδοι επεξεργασίας και εφαρμογές»*

Θέλω να ευχαριστήσω την κυρία Συγγούνη Βαρβάρα για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας. Αφιερώνω τη διπλωματική εργασία μου στην οικογένειά μου.

Περίληψη

Το γκρίζο νερό είναι τα υγρά απόβλητα από την κουζίνα, το πλυντήριο και το μπάνιο, εξαιρουμένων των λυμάτων τουαλέτας. Η επαναχρησιμοποίησή του για άρδευση στην κηπουρική μειώνει τη ζήτηση γλυκού νερού, μετριάξει την πίεση στους υδάτινους πόρους και βελτιώνει την επισιτιστική ασφάλεια καθώς τα φυτά μπορούν να ποτίζονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Δεν μπορεί πλέον να διαψευσθεί ότι η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού είναι υψίστης σημασίας για τον περιορισμό της επίμονης παγκόσμιας κρίσης νερού. Η επεξεργασία και η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση σε αυτό το πρόβλημα, καθώς θα εκτρέψει τη χρήση περιορισμένων πόρων γλυκού νερού σε καταναλωτικές χρήσεις. Η παρούσα εργασία αναφέρεται στις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του γκρίζου νερού. Τα ευρήματα έδειξαν μια ποικιλία μεθόδων φυσικοχημικής επεξεργασίας όπως η διήθηση, η προσρόφηση, η πήξη και η φωτοκαταλυτική οξειδωση, που χρησιμοποιούνται για την απολύμανση του γκρίζου νερού. Συζητούνται βιολογικές μέθοδοι όπως η χρήση αντιδραστήρων και τα κατασκευασμένα συστήματα υγροτόπων. Επισημαίνονται επίσης οι εφαρμογές μελέτης περίπτωσης των μεθόδων επεξεργασίας για τη διαχείριση του γκρίζου νερού. Ωστόσο, σημειώνεται ότι θα πρέπει να υιοθετηθούν κατάλληλες πολιτικές, επαρκής χρηματοδότηση και καλύτερος σχεδιασμός συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού για την υποστήριξη των πρακτικών εφαρμογής γκρίζου νερού.

Λέξεις – Κλειδιά

Γκρίζο νερό, επαναχρησιμοποίηση, συστήματα επεξεργασίας



*«Παπασταύρου Σταύρος», «Ανακύκλωση – επαναχρησιμοποίηση
γκρίζου νερού: Μέθοδοι επεξεργασίας και εφαρμογές»*

Recycling and reuse of greywater: treatment methods and applications

Stavros Papastavrou

Abstract

It can no longer be denied that gray water reuse is paramount to curbing the persistent global water crisis. Greywater treatment and reuse is a promising solution to this problem as it will divert the use of limited freshwater resources to unavoidable consumptive uses. This study examines the usual methods for the treatment of greywater. The findings include a variety of physicochemical treatment methods such as filtration, adsorption, coagulation, and photocatalytic oxidation used for greywater decontamination. Biological approaches such as the use of reactors and constructed wetland systems are discussed. Case study applications of treatment approaches for greywater management are also highlighted. However, it is noted that appropriate policies, adequate funding and better design of greywater treatment systems should be adopted to support greywater application practices.

Keywords

Greywater, reuse, treatment systems

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	x
Κατάλογος Πινάκων	xi
Συντομογραφίες&Ακρωνύμια.....	xii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Σύντομη περιγραφή του αντικειμένου	2
1.2 Σκοπός.....	3
1.3 Οργάνωση	3
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	5
2.1 Γκρίζο νερό	5
2.2 Χαρακτηριστικά και επεξεργασία γκρίζου νερού.....	7
2.3 Ποιότητα γκρίζου νερού.....	8
2.4 Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού.....	10
2.5 Συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού	11
2.6 Υλικά φίλτρων.....	13
2.7 Υδραυλικοί ρυθμοί φόρτισης	17
3. Βιβλιογραφική επισκόπηση	19
3.1 Συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού	19
3.2 Ανακύκλωση γκρίζου νερού σε ένα σύγχρονο πλαίσιο.....	20
3.3 Κοινές κινητήριες δυνάμεις για τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού στον ανεπτυγμένο κόσμο.....	21
3.4 Τεχνολογίες επεξεργασίας γκρίζου νερού.....	22
3.5 Σύνοψη της τεχνολογίας επεξεργασίας ανακύκλωσης γκρίζου νερού.....	26
3.6 Τύποι και διαμόρφωση συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού.....	28
3.7 Στοιχεία του συστήματος ανακύκλωσης γκρίζου νερού.....	31
3.7.1 Σωληνώσεις συλλογής και διανομής.....	32
3.7.2 Δεξαμενή συλλογής.....	33
3.7.3 Φίλτρα	34
3.7.4 Μονάδες απολύμανσης.....	34

3.7.5 Αντλίες	35
3.7.6 Δεξαμενή αποθήκευσης.....	36
3.7.7 Εφεδρική παροχή νερού	36
3.7.8 Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου/διαχείρισης.....	37
3.8 Εμπόδια στην υιοθέτηση συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού	37
3.9 Σύστημα ανακύκλωσης γκρίζου νερού και αξιολόγηση βιωσιμότητας.....	38
3.10 Βιβλιογραφικά κενά που καλύπτει η παρούσα έρευνα	39
4. Ανακύκλωση γκρίζου νερού	41
4.1 Σημασία και αντίκτυπος.....	41
4.2 Νομοθεσία για το γκρίζο νερό και απαιτήσεις επεξεργασίας	43
4.2.1 Αυστραλία	44
4.2.2 ΗΠΑ	45
4.2.3 Ευρώπη.....	46
4.2.4 Υπόλοιπες χώρες	47
4.3 Οικιακά συστήματα επαναχρησιμοποίησης μη πόσιμου νερού παγκοσμίως	48
4.4 Τοπικά συστήματα	49
4.4.1 ΗΠΑ	49
4.4.2 Ιαπωνία	50
4.4.3 Νέα Ζηλανδία.....	50
4.4.4 Αυστραλία	51
4.5 Συστήματα διπλής δικτύωσης.....	51
4.5.1 ΗΠΑ	51
4.5.2 Ιαπωνία.....	52
4.5.3 Σιγκαπούρη.....	52
4.5.4 Αυστραλία	53
4.6 Συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού για κηπουρική.....	53
5. Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού.....	55
5.1 Πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού.....	55
5.1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη.....	55
5.1.2 Οικονομικά οφέλη.....	57
5.2 Κίνδυνοι και νομοθεσία	58
5.2.1 Κίνδυνοι.....	58



*«Παπασταύρου Σταύρος», «Ανακύκλωση – επαναχρησιμοποίηση
γκρίζου νερού: Μέθοδοι επεξεργασίας και εφαρμογές»*

5.2.2 Νομοθεσία	60
5.3 Στρατηγικές επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού	65
6. Σύνοψη - Συμπεράσματα	67
6.1 Σύνοψη	67
6.2 Συμπεράσματα	68
Βιβλιογραφία.....	70

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 2.1 Διάγραμμα διαδρομής ροής που απεικονίζει τις θεμελιώδεις διαδικασίες ανακύκλωσης γκρίζου νερού.	5
Εικόνα 3.1 Εγκατάσταση MBR με βυθιζόμενη διαμόρφωση.	24
Εικόνα 3.2 Διάταξη συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής για ένα νοικοκυριό.	26
Εικόνα 3.3 Άμεση χρήση γκρίζου νερού από τον νιπτήρα στο καζανάκι.	29
Εικόνα 3.4 Ένα απλό σύστημα ανακύκλωσης γκρίζου νερού για μεμονωμένα νοικοκυριά.	30

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Χαρακτηριστικά μη επεξεργασμένου γκρίζου νερού.....	8
Πίνακας 2.2 Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων σε διάφορες χώρες	10
Πίνακας 2.3 HLR που χρησιμοποιούνται για διαφορετικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού με φίλτρα (l:όγκος σε λίτρα, m ² : επιφάνεια του φίλτρου, d:ημέρα).....	18
Πίνακας 3.1 Σύνοψη πέντε διαφορετικών τύπων τεχνικών επεξεργασίας γκρίζου νερού..	27
Πίνακας 3.2 Διαφορετικοί τύποι μεθόδων απολύμανσης.	35
Πίνακας 5.1 Τα πιο αντιπροσωπευτικά πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού από τα κράτη μέλη της ΕΕ	62
Πίνακας 5.2 Προβλεπόμενες χρήσεις για επαναχρησιμοποίηση νερού που περιλαμβάνονται στα πρότυπα των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	64
Πίνακας 5.3 Στρατηγικές επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες	65

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ACT	Australia Capital Territory
BOD	Biochemical Oxygen Demand
BSI	British Standards Institution
CE	Circular Economy
CFU	Coliform Forming Unit
COD	Chemical Oxygen Demand
DGW	Dark greywater
GAC	Granular Activated Carbon
GRP	Glass-Reinforced Plastic
HLR	Hydraulic Loading Rate
IUCN	International Union for Conservation of Nature
LECA	Lightweight Expanded Clay
LGW	Light Greywater
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
MBR	Membrane Bioreactors
NBS	Nature-Based Solutions
RBC	Rotating Biological Contactors
SBR	Sequencing Batch Reactor
SCG	Spent Coffee Grounds
TSS	Total Suspended Solids
UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blankets
WHO	World Health Organization
XOCs	Xenobiotic Organic Compounds

1. Εισαγωγή

Η επεξεργασία και η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού θα μπορούσε να είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη μείωση της σπατάλης νερού. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια που χαρακτηρίζονται από αυξανόμενη λειψυδρία και πίεση στους υδάτινους πόρους. Τα συστήματα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού είναι μια μορφή διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Τα τελευταία χρόνια, οι κυβερνήσεις και οι υπεύθυνοι φορείς στη διαχείριση του νερού προωθούν συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού ως πιθανή λύση για τη μείωση της λειψυδρίας (Edwin et al., 2013).

Η παραγωγή γκρίζου νερού δεν εξαρτάται από το κλίμα π.χ. σε σύγκριση με άλλες πηγές καλύτερης ποιότητας νερού, όπως η συλλογή βρόχινου νερού (Leong et al., 2017). Συνεπώς, ένα σύστημα επεξεργασίας γκρίζου νερού λαμβάνει σταθερή παροχή γκρίζου νερού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Τα συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού σε αστικές, πυκνοκατοικημένες περιοχές έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερους και πιο σταθερούς όγκους γκρίζου νερού προς επεξεργασία, επομένως μια απρόσκοπτη παροχή γκρίζου νερού για τον επιθυμητό σκοπό επαναχρησιμοποίησης. Αυτό διευκρινίζει περαιτέρω γιατί η επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού έχει προκαλέσει το αυξανόμενο ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Η ανακύκλωση γκρίζου νερού σε μεγάλη κλίμακα υποδηλώνει ότι μπορούν να επιτευχθούν ακόμη μεγαλύτεροι στόχοι επαναχρησιμοποίησης, δεδομένου ότι ανακτώνται μεγάλες ποσότητες γκρίζου νερού.

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού είναι γενικά ένα νέο πεδίο. Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού ήταν δυνατή μόνο μετά την επιτυχή λειτουργία συστημάτων διαχωρισμού στην πηγή. Τέτοια συστήματα διαχωρισμένα στην πηγή δεν είναι συνηθισμένα, επειδή απαιτούν μεγαλύτερο χώρο και ως εκ τούτου αυτή η πρακτική είναι κυρίως κοινή ως αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας για μικρά νοικοκυριά (Günther, 2000). Επί του παρόντος, ορισμένες από τις εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού περιλαμβάνουν το ξέπλυμα της τουαλέτας (Nolde et al., 2016; Friedler et al., 2005), τη γεωργία, π.χ. άρδευση κήπων και υποστήριξη της υδρόβιας και φυτικής ζωής. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί το Roof Water Farm στο Βερολίνο (Nolde et al., 2016). Άλλες πιθανές και γενικά αποδεκτές εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού περιλαμβάνουν: εμπλουτισμό υπόγειων υδάτων (Jenssen, 2005), συστήματα ψύξης και καταστολής πυρκαγιάς (Nnaji et al., 2013). Μια άλλη εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης

του γκρίζου νερού θα ήταν η αξιοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων ως πηγή πόσιμου νερού. Ωστόσο, ανεπτυγμένες χώρες όπως η Σουηδία έχουν αυστηρούς κανονισμούς για το πόσιμο νερό (Livsmedelsverket, 2001), γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή του. Εκτός εάν η ποιότητα των λυμάτων είναι αρκετά καλή για να πείσει τους νομοθέτες και το ευρύ κοινό, η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού δεν θα μπορούσε ποτέ να γίνει αποδεκτή ως πηγή πόσιμου νερού. Το κόστος του πόσιμου νερού σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία είναι προσιτό, γεγονός που καθιστά ακόμη πιο δύσκολο να πειστούν οι πληθυσμοί να επιλέξουν επεξεργασμένο γκρίζο νερό (Nolde & Arginaitwe, 2018).

1.1 Σύντομη περιγραφή του αντικειμένου

Το γκρίζο νερό θεωρείται σχετικά καθαρό σε σύγκριση με το μαύρο νερό και ως εκ τούτου πολλοί επιστήμονες έχουν προτείνει ότι εάν υποβληθεί σε επαρκή επεξεργασία, το γκρίζο νερό θα μπορούσε να συμπληρώσει την παροχή γλυκού νερού (Günther, 2000; Gross et al., 2015). Μόλις υποβληθεί σε επεξεργασία, το γκρίζο νερό μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως άρδευση, συστήματα ψύξης, συστήματα πυρόσβεσης μεταξύ άλλων (Gross et al., 2015).

Μια μεγάλη ανησυχία που προκύπτει με την απόρριψη επεξεργασμένου γκρίζου νερού σε μια αστική περιοχή ή οποιοδήποτε υδάτινο αποδέκτη είναι η πιθανότητα ρύπανσης από παθογόνα. Η μικροβιακή ρύπανση εγκυμονεί κινδύνους όπως ασθένειες για τον άνθρωπο από την έκθεση σε μολυσμένο νερό (Benami et. al, 2016; Etchepare & van der Hoek, 2015). Άλλες ανησυχίες περιλαμβάνουν τη διασφάλιση ότι η απόρριψη αζώτου (N), φωσφόρου (P) και οργανικής ύλης σε υδάτινους αποδέκτες δεν οδηγεί σε ευτροφισμό και αναερόβιες συνθήκες (προκαλεί οσμή) στα ύδατα υποδοχής (SEPA, 2000). Προκειμένου να επιτραπεί η ασφαλής απόρριψη επεξεργασμένου γκρίζου νερού σε ένα αστικό περιβάλλον, το γκρίζο νερό πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία για την απομάκρυνση ρύπων (π.χ. οργανικές ενώσεις, θρεπτικά συστατικά, παθογόνα).

Οι τεχνολογίες επεξεργασίας του γκρίζου νερού συνήθως περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές ή βιολογικές διεργασίες (Li et al., 2009). Οι φυσικές διεργασίες περιλαμβάνουν κυρίως διήθηση μέσω διαφορετικών υλικών φίλτρου, όπως άμμος, χαλίκια, κοκκώδης ενεργός άνθρακας (granular activated carbon - GAC) ή άλλα χονδροειδή και λεπτά αδρανή, συμπεριλαμβανομένων των πορωδών υλικών (Dalahmeh et al., 2012). Οι χημικές διεργασίες περιλαμβάνουν την πήξη (Noutsopoulos et al., 2018) ή φωτο-καταλυτική

οξειδωση (Sanchez et al., 2010; Tsoumachidou et al., 2017). Επιπλέον, οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (rotating biological contactors - RBC), οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (membrane bioreactors - MBR) και οι αντιδραστήρες διαλείποντος έργου (sequencing batch reactor - SBR) είναι κοινά συστήματα βιολογικής επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για επεξεργασία γκρίζου νερού (Eriksson et al., 2009; Wu, 2019; Tombola et al., 2019). Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες έχουν επικεντρωθεί περισσότερο σε λύσεις που βασίζονται στη φύση (nature-based solutions - NBS) όπως οι τεχνητοί υδροβιότοποι, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι (Boano et al., 2020). Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση γίνονται δημοφιλείς, ειδικά σε πράσινους τοίχους ή ζωντανούς τοίχους, για τον πολυλειτουργικό τους σκοπό, συμβάλλοντας στην αστική αισθητική, στη βελτίωση του μικροκλίματος και στην ενεργειακά αποδοτική επεξεργασία με μικρό αποτύπωμα άνθρακα (Ascione et al., 2020). Αν και αυτά τα συστήματα έχουν δείξει δυνατότητες αποτελεσματικής επεξεργασίας, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης και εφαρμογής σε σενάρια πραγματικής ζωής. Επιπλέον, δεν υπάρχουν τυποποιημένες τεχνολογίες που να παρέχουν λύσεις για την αποκεντρωμένη επεξεργασία γκρίζων υδάτων. Επομένως, η καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών επεξεργασίας, της επιλογής των υλικών φίλτρου και των διαφορετικών δυνατοτήτων απομάκρυνσης ρύπων θα μπορούσε να ωφελήσει τον σχεδιασμό μελλοντικών επιτόπιων συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού.

1.2 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η επισκόπηση της βιβλιογραφίας στον τομέα της επεξεργασίας γκρίζου νερού σε επίπεδο νοικοκυριών στις αναπτυσσόμενες χώρες. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η τρέχουσα κατάσταση της τεχνολογίας σχετικά με τη διαχείριση του γκρίζου νερού. Παρουσιάζονται τα τυπικά χαρακτηριστικά γκρίζου νερού, τα κύρια συστήματα επεξεργασίας που εφαρμόζονται σε όλο τον κόσμο και οι υφιστάμενοι κανονισμοί για την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Τέλος, παρουσιάζονται μελέτες περιπτώσεων όπου εφαρμόζονται με επιτυχία συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού.

1.3 Οργάνωση

Η παρούσα διατριβή αποτελείται από 6 κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο συνιστά το εισαγωγικό κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Περιλαμβάνει μια επισκόπηση του θέματος, τον σκοπό, καθώς και το περίγραμμα της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρέχει το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο λαμβάνει χώρα μια ευρεία βιβλιογραφική επισκόπηση. Περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι επεξεργασίας του γκρίζου νερού, καθώς και οι διαφορετικοί τύποι και η διαμόρφωση των συστημάτων γκρίζου νερού που χρησιμοποιούνται συνήθως στις ανεπτυγμένες χώρες. Καταλήγει στα οφέλη και τα εμπόδια που εντοπίζονται κατά την εφαρμογή γκρίζου νερού.

Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανακύκλωση του γκρίζου νερού, στο νομοθετικό πλαίσιο και τις απαιτήσεις επεξεργασίας του σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα οικιακά συστήματα επαναχρησιμοποίησης μη πόσιμου νερού.

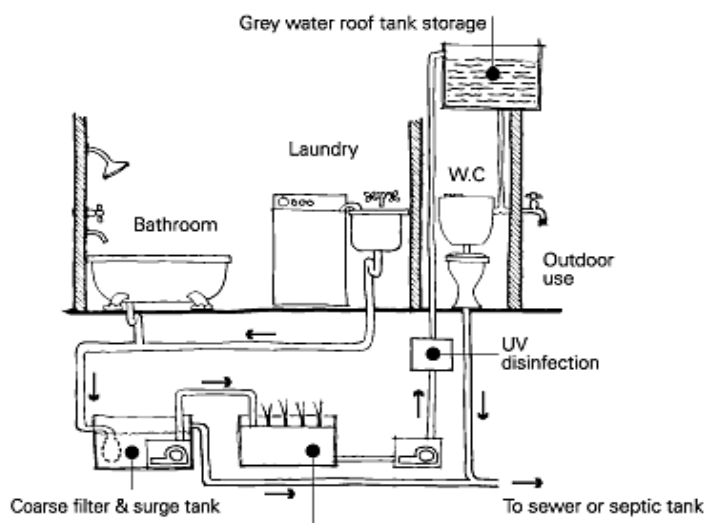
Το πέμπτο κεφάλαιο εστιάζει στις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα (περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη) που ανακύπτουν καθώς και οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν από την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε μελέτες περιπτώσεων όπου εφαρμόζονται με επιτυχία συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Γκρίζο νερό

Τα οικιακά λύματα μπορούν να διακριθούν σε δύο κλάσματα: μαύρο νερό και γκρίζο νερό. Τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τουαλέτες χαρακτηρίζονται ως μαύρο νερό (black water). Ως γκρίζο νερό (greywater) ορίζεται το νερό που προέρχεται από νεροχύτες, ντουζιέρες, πλυντήρια, μπανιέρες κ.λπ. και δεν περιλαμβάνει τα υγρά απόβλητα από τη χρήση τουαλέτας (καζανάκι) (Oteng-Peprah et al., 2018; Lombardo, 1982; World Health Organization, 2006; Erikson et al., 2002) (Εικόνα 2.1). Αυτές οι χρήσεις εκτιμάται ότι αποτελούν το 50-80% της συνολικής οικιακής κατανάλωσης γλυκού νερού (Eriksson et al., 2002; Novonty et al., 2010). Συγκριτικά με το μαύρο νερό, το γκρίζο νερό έχει γενικά λιγότερα παθογόνα, αποσυντίθεται πολύ ταχύτερα και περιέχει 90% λιγότερο άζωτο (Zhang et al., 2010).



Εικόνα 2.0.1 Διάγραμμα διαδρομής ροής που απεικονίζει τις θεμελιώδεις διαδικασίες ανακύκλωσης γκρίζου νερού.

Πηγή: Nolde, 1995

Το γκρίζο νερό μπορεί να διακριθεί περαιτέρω σε δύο ομάδες με βάση την πηγή παραγωγής και τη συγκέντρωση ρύπων. Οι εκροές από μπανιέρες, ντουζιέρες και πηγές πλυντηρίων ρούχων αναφέρονται ως γκρίζο νερό χαμηλού οργανικού φορτίου (light greywater – LGW) (Friedler & Hadari, 2006). Ενώ, το γκρίζο νερό που περιλαμβάνει περισσότερο μολυσμένα απόβλητα από εγκαταστάσεις πλυντηρίων ρούχων, πλυντήρια πιάτων και, σε ορισμένες περιπτώσεις, νεροχύτες κουζίνας, ονομάζεται γκρίζο νερό υψηλού οργανικού φορτίου (dark greywater – DGW) (Larsen et al., 2016; Birks & Hills, 2007).

Ωστόσο, η ποσότητα και η ποιότητα του γκρίζου νερού ποικίλλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας (π.χ. πρωί, απόγευμα, βράδυ) με βάση τον τρόπο ζωής των νοικοκυριών (π.χ. χρήση νερού, διατροφικές συνήθειες, προσωπική υγιεινή κ.λπ.), γεγονός που μπορεί να αποτελέσει πρόκληση για αποτελεσματική επεξεργασία (Eriksson et al., 2009). Όσον αφορά στην ποιότητα, το γκρίζο νερό αποτελεί μικρότερη συγκέντρωση οργανικής ύλης, θρεπτικών ουσιών και μικροοργανισμών από το μαύρο νερό, καθιστώντας το μια πιθανή πηγή νερού για επαναχρησιμοποίηση (Tsoumachidou et al., 2017). Επιπλέον, ο διαχωρισμός των πηγών γκρίζου και μαύρου νερού μπορεί να έχει θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και να επιτρέψει την ανάκτηση πόρων (Kjerstadius et al., 2016; McConville et al., 2017).

Η παραγωγή γκρίζου νερού είναι συγκεκριμένη για κάθε χώρα και ποικίλλει ανάλογα με την κοινωνικοοικονομική κατάσταση, τη διαθεσιμότητα νερού και την κατανάλωση (Li et al., 2009; Oteng-Pepurah et al., 2018). Με βάση το κατά κεφαλήν εισόδημα σε διάφορες χώρες, οι Shaikh & Ahammed (2020) ανέφεραν ότι η μέση κατανάλωση νερού σε χώρες όπως η Ινδία, η Ιορδανία, η Βραζιλία και η Μαλαισία ήταν 126 l/p/d, ενώ η Αυστραλία, η Ισπανία, το Ισραήλ και παρόμοιες χώρες αναφέρθηκε ότι χρησιμοποιούν 173 l/p/d. Ωστόσο, για χώρες όπως η Δανία, η Γερμανία, η Ολλανδία και η Ελλάδα, έχει αναφερθεί παραγωγή γκρίζου νερού μικρότερη από 100 l/p/d (Noutsopoulos et al., 2018; Mahmoudi et al., 2021). Συνήθως, το γκρίζο νερό αποτελείται από οργανική και ανόργανη ύλη, θρεπτικά συστατικά, μικροοργανισμούς, μέταλλα και επικίνδυνες ουσίες όπως μικρορυπαντές, συμπεριλαμβανομένων φαρμακευτικών προϊόντων (Palmquist & Hanæus, 2005; Noutsopoulos et al., 2018).

Η ποιότητα του γκρίζου νερού επηρεάζεται από τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σε προϊόντα οικιακού καθαρισμού (π.χ. απορρυπαντικά). Επομένως, η ποιότητα ποικίλλει ανάλογα με την πηγή παραγωγής, όπως η κουζίνα, το ντους ή/και το πλυντήριο. Οι συγκεντρώσεις οργανικής ύλης (Βιολογική Απαιτήση Οξυγόνου (BOD) και Χημική

Απαίτηση Οξυγόνου (COD)) στο γκρίζο νερό από κουζίνες και πλυντήρια αναφέρθηκε ότι ήταν υψηλότερες από ό,τι σε άλλες πηγές όπως ντους ή νιπτήρες (Li et al., 2009; Noutsopoulos et al., 2018; Shaikh & Ahammed, 2020). Επιπλέον, τα προϊόντα οικιακού καθαρισμού περιέχουν μικρορύπους που συμβάλλουν σε υψηλές συγκεντρώσεις COD στο γκρίζο νερό (Eriksson et al., 2002). Μερικοί από τους επικίνδυνους μικρορύπους στο γκρίζο νερό περιλαμβάνουν επιφανειοδραστικές ουσίες, αλκυλοφαινόλες, τρικλοζάνη, φθαλικές ενώσεις και φαρμακευτικές ουσίες (π.χ. δικλοφενάκη, ιβουπροφαίνη) (Palmquist & Hanæus, 2005; Ravichandran et al., 2021).

Το άζωτο και ο φώσφορος στο γκρίζο νερό προέρχονται από προϊόντα καθαρισμού οικιακής χρήσης, όπως απορρυπαντικά, αλλά οι συγκεντρώσεις τους είναι γενικά χαμηλές σε σύγκριση με τα μικτά λύματα. Η συγκέντρωση του φωσφόρου στο γκρίζο νερό έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης χρήσης απορρυπαντικών χωρίς φώσφορο (Mahmoudi et al., 2021). Επιπροσθέτως, το γκρίζο νερό περιέχει μικροοργανισμούς όπως βακτήρια, πρωτόζωα και ιούς που προέρχονται από μόλυνση με περιττώματα κατά τη διάρκεια του ντους ή του πλυσίματος ρούχων (π.χ. πλύσιμο εσωρούχων και πάνες). Το πλύσιμο ωμών τροφίμων (π.χ. κρέας, λαχανικά και φρούτα) μπορεί επίσης να μολύνει το γκρίζο νερό από τις κουζίνες με μικροοργανισμούς (Oteng-Pergrah et al., 2018). Λόγω της απουσίας περιττωματικού φορτίου, το γκρίζο νερό έχει χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών και μικροοργανισμών. Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη κατάλληλων ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών επεξεργασίας και χαμηλής συντήρησης είναι απαραίτητη για την ασφαλή απόρριψη γκρίζου νερού στο περιβάλλον.

2.2 Χαρακτηριστικά και επεξεργασία γκρίζου νερού

Για την επιτυχή υιοθέτηση της επεξεργασίας γκρίζου νερού, απαιτείται η γνώση περισσότερων πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα του ακατέργαστου γκρίζου νερού και την αναμενόμενη (δηλαδή τη νομικά, οικονομικά και κοινωνικά αποδεκτή) ποιότητα του επεξεργασμένου γκρίζου νερού προκειμένου να σχεδιαστεί μια συνεπής, αποδεκτή και οικονομικά αποδοτική επεξεργασία του αστικού γκρίζου νερού (Friedler et al., 2005; Surrendran, 2001). Με άλλα λόγια, χαρακτηρίζοντας το επίπεδο μόλυνσης στο ακατέργαστο γκρίζο νερό, μπορεί να γίνει εκτίμηση των πιθανών κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον και να παρουσιαστούν προτάσεις για τη χρήση του για ανακύκλωση (π.χ.

χρήση σε καζανάκι ή κηπουρική), το είδος της απαραίτητης επεξεργασίας και τη σχετική οικονομική σκοπιμότητα (Birks & Hills, 2007).

2.3 Ποιότητα γκρίζου νερού

Το ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό περιέχει γενικά σημαντική μικροβιολογική μόλυνση, υψηλά επίπεδα βακτηρίων, μεγάλη μεταβλητότητα στην συγκέντρωση οργανικών ουσιών, είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και ζεστό, γεγονός που το καθιστά ιδανικό μέσο για βακτηριολογική ανάπτυξη και μικροβιακή δραστηριότητα (Rose et al., 1991; Surrendran & Wheatley, 1998; Leggett, 2001; Lazarova et al., 2003; Birks et al., 2004).

Πίνακας 2.0.1 Χαρακτηριστικά μη επεξεργασμένου γκρίζου νερού

Με σχόλια [SV1]: πηγή

Αναφορά	Erikson et al., 2002	Friedler et al., 2005	Casanova et al., 2001	Nolde, 1999	Christova-Boal et al., 1996		Surrendran & Wheatley, 1998	Jamrah et al., 2008
Πηγή	Σύνθετη (composite, range)	Σύνθετη (composite, mean)	Σύνθετη (composite, mean)	Μπάνιο/ ντους	Μπάνιο	Πλυντήριο	Προσωπικό πλύσιμο	Ντους
P, total				0.2-0.6			1.64	-
pH	7.6-8.6	7	7.47	7	6.4-8.1	9.3-10	7.9	7.3
BOD ₅ (mg/l)	26-130	237	64.85	228	76-200	48-290	68	380
TSS (mg/l)	4-207	303	35.09	134				242
Θολερότητα (turbidity) (NTU)	0.28-0.779	-		207	60-240	50-120	105	346
Θευικά (mg/l)	-	-	59.59		-	-		-
Χλωρίδιο (mg/l)	-	-	20.54		9.0-18	9.0-88		-
Ολικά Κολοβακτηρι οειδή (Total coliform) (CFU/100ml)	6.0E3-3.2E5	2.8E7	8.03E7	10E2-10E3	MPN 500-2.4E7	MPN 2.23E3-3.3E5	4E6	-
Κολοβακτηρι οειδή Κοπράνων (Faecal coliforms) (CFU/100ml)	-	1.82E4-7.94E6	5.63E5	10E-1-10E1	MPN 170-3.3E3	MPN 110-1.09E3	266	-
COD (mg/l)	-	319	-	100-200	-	-	-	375

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται διάφορες μελέτες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του ακατέργαστου γκρίζου νερού. Καταδεικνύεται ότι η συγκέντρωση οργανικών στο γκρίζο νερό είναι παρόμοια με αυτή στα οικιακά λύματα με καθίζηση (settled domestic wastewater), αλλά η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών είναι πολύ χαμηλότερη καθώς το νερό τουαλέτας δεν περιλαμβάνεται (Jefferson et al., 2004). Η ποσότητα και η ποιότητα του γκρίζου νερού επηρεάζεται κυρίως από τη συμπεριφορά του χρήστη, τα καταναλωτικά πρότυπα και τις τοπικές συνθήκες (Nolde, 1999), καθώς και από τις πηγές γκρίζου νερού που έχουν χρησιμοποιηθεί (Dixon, 1999). Για παράδειγμα, εάν περιλαμβάνει ή όχι τα υγρά απόβλητα από την κουζίνα, το πλυντήριο πιάτων ή το πλυντήριο ρούχων.

Θεωρητικά, το γκρίζο νερό όπως κάθε άλλη πηγή νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιονδήποτε σκοπό, υπό την προϋπόθεση ότι έχει υποστεί επεξεργασία ώστε να ανταποκρίνεται στα απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας (Liu et al., 2010). Ωστόσο, η έλλειψη κατάλληλων προτύπων ή κατευθυντήριων γραμμών για την ποιότητα του νερού έχει περιορίσει την κατάλληλη επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού (Lazarova et al., 2003). Το πιθανό επίπεδο ανθρώπινης επαφής με το νερό κατά την τελική χρήση του θα επαληθεύσει το επίπεδο της απαιτούμενης επεξεργασίας (CIWEM, 2006). Η έκθεση που σχετίζεται με την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού μπορεί να γίνει μέσω δύο οδών: φυσική επαφή με γκρίζο νερό και κατανάλωση φρούτων ή λαχανικών που έχουν αρδευτεί με γκρίζο νερό (CSBE, 2003). Η χρήση γκρίζου νερού στο καζανάκι της τουαλέτας ενέχει κάποιο κίνδυνο για την υγεία που σχετίζεται με το πιτσιλισμα, δηλαδή όταν ξεπλένεται η τουαλέτα (Christova-Boal et al., 1996).

Προς το παρόν, δεν υπάρχουν διεθνείς οδηγίες που να προσδιορίζουν την ποιότητα του επεξεργασμένου γκρίζου νερού για επαναχρησιμοποίηση. Λόγω του πιθανού κινδύνου για την ανθρώπινη υγεία, πολλές χώρες έχουν τους δικούς τους κανονισμούς που βασίζονται στο μικροβιακό περιεχόμενο. Για παράδειγμα, η Γερμανία έχει υιοθετήσει το πρότυπο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα νερά κολύμβησης για το ξέπλυμα (καζανάκι) της τουαλέτας και ο ΠΟΥ (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας) έχει συστήσει υψηλότερο μικροβιακό πρότυπο για την απεριόριστη χρήση του ανακτημένου νερού για άρδευση. Στο Ηνωμένο Βασίλειο δεν υπάρχουν ειδικοί κανονισμοί σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση.

Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι κατευθυντήριες γραμμές για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων σε διάφορες χώρες. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πρότυπα σε παγκόσμιο επίπεδο, οι Pidou et al. (2007) συνιστούν ότι οι καθορισμένοι στόχοι BOD < 10

mg/l, θολερότητα <2 NTU και μη ανιχνεύσιμο επίπεδο κολοβακτηριδίων κοπράνων ανά 100 ml παρέχουν ένα λογικό επίπεδο διατήρησης.

Πίνακας 2.0.2 Πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων σε διάφορες χώρες

Χώρα	Εφαρμογή	BOD ₅ (mg/l)	TSS ¹ (mg/l)	Θολερότητα (NTU ²)	Κολοβακτηριοειδή Κοπράνων (Faecal coliforms) (CFU/100ml)	ΟλικάΚολοβακτηριοειδή (Total coliforms) (CFU/100ml)	pH
Ιαπωνία	Καζανάκι τουαλέτας	10	-	5	<10	< 10	6-9
Γερμανία	Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων	20	-	1-2	500	100	6-9
Ισραήλ	Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων	10	10	-	<1	-	
Ισπανία	Επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων	10	3	2	-	2.2	
ΗΠΑ, Καλιφόρνια	Απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση νερού	10	-	2	-	Μη ανιχνεύσιμο	6-9
ΗΠΑ, Φλόριντα	Απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση νερού	20	5	-	< 240	-	
Αυστραλία, Queensland	Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού για κηπουρική	20	30	2	< 4	100	
Καναδάς, Βρετανική Κολομβία	Απεριόριστη αστική επαναχρησιμοποίηση	10	5	2	2.2	-	

1: Total Suspended Solids, Ολικά Αιωρούμενα Στερεά

2: Nephelometric Turbidity Unit, Νεφελομετρική Μονάδα Θολότητας NTU

Πηγή: Al-Jayyousei, 2003; Pidou et al., 2007.

2.4 Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού

Ανάλογα με τον τύπο των επιτόπιων συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού, η πλήρης απομάκρυνση της οργανικής ύλης, των θρεπτικών ουσιών, των μικροοργανισμών και των μικρορύπων αποτελεί πρόκληση (Zraunig et al., 2019). Επιπλέον, το γκρίζο νερό μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στις ιδιότητες του εδάφους και στην ανάπτυξη των φυτών εάν απορριφθεί χωρίς επεξεργασία, λόγω των υψηλών επιπέδων χημικών ρύπων, συμπεριλαμβανομένου του νατρίου, του χλωρίου και των επιφανειοδραστικών ουσιών (Al-Hamaideh & Bino, 2010; Travis et al., 2010). Οι μικροοργανισμοί στο επεξεργασμένο γκρίζο νερό είναι σημαντικόι όταν πρόκειται για μη πόσιμη επαναχρησιμοποίηση, όπως η άρδευση αστικού τοπίου ή το ξέπλυμα της τουαλέτας (Li et al., 2009; Zhu et al., 2018).

Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα σχετικά με τις τεχνικές άρδευσης και το είδος της καλλιέργειας, π.χ. υπόγεια άρδευση για λαχανικά που μπορεί να έρθουν σε επαφή με τους καταναλωτές και άρδευση στην επιφάνεια ή στάγδην άρδευση για μη εδώδιμες καλλιέργειες (π.χ. βαμβάκι) ή καλλιέργειες που απαιτούν μαγείρεμα (π.χ. πατάτες) (WHO, 2006; European Commission, 2020).

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι περισσότερο από το 70% των οικιακών λυμάτων είναι γκρίζο νερό, το επεξεργασμένο γκρίζο νερό έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει περιβαλλοντικά βιώσιμη πηγή νερού για διαφορετικές μη πόσιμες χρήσεις, όπως η άρδευση (Shaikh & Ahammed, 2020). Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί ο κίνδυνος μόλυνσης από παθογόνα και η ασφάλεια των χρηστών. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) παρέχει μια κατευθυντήρια γραμμή για το *Escherichia coli* (*E. coli*) να είναι $<10^3$ cfu/100 ml για την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού στη γεωργική άρδευση, λαμβάνοντας υπόψη το δυναμικό αναγέννησης του *E. coli* (WHO, 2006).

Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θέσπισε ειδικούς κανονισμούς για την επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού για γεωργικούς σκοπούς (European Commission, 2020). Ο σχετικός κανονισμός ορίζει ότι η ποιότητα του ανακτημένου νερού πρέπει να είναι ≤ 10 cfu/100 ml για το *E. coli*, ≤ 10 mg/l για το BOD και τα ολικά αιωρούμενα στερεά (Total Suspended Solids - TSS) και η θολότητα ≤ 5 NTU (νεφελομετρική μονάδα θολότητας) μετά από ένα στάδιο απολύμανσης (European Commission, 2020). Παρόμοια ποιότητα απαιτείται από την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US Environmental Protection Agency) για αστική επαναχρησιμοποίηση (USEPA, 2012), και στην Κίνα για το ξέπλυμα της τουαλέτας (Zhu et al., 2018). Ωστόσο, οι απαιτήσεις ποιότητας για το ξέπλυμα της τουαλέτας στον Καναδά είναι ≤ 20 mg/l για BOD και TSS, ≤ 5 NTU για θολότητα και ≤ 200 cfu/100 ml για *E. coli* (Health Canada, 2010). Ως εκ τούτου, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την επεξεργασία του γκρίζου νερού λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα ανάκτησης μεγάλων όγκων μη πόσιμου νερού και επαναχρησιμοποίησης σε δημόσιους χώρους όπως τουαλέτες, αστικά τοπία και κήπους και για γεωργικούς σκοπούς.

2.5 Συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνολογίες επεξεργασίας γκρίζου νερού, από απλές έως προηγμένες, ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα των λυμάτων. Οι προηγμένες

τεχνολογίες επεξεργασίας περιλαμβάνουν μηχανικά συστήματα που απαιτούν ενέργεια όπως οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (RBC) (Eriksson et al., 2009; Abdelkader, 2021), οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR) (Huelgas & Funamizu, 2010; Atanasova et al., 2017), οι μονάδες βιοαντιδραστήρα κινούμενης κλίνης (Moving Bed Biofilm Reactor – MBBRs) (Chrispim & Nolasco, 2017), οι αντιδραστήρες διαλείποντος έργου (SBR) και αντιδραστήρες ανοδικής ροής (up-flow anaerobic sludge blankets - UASB) (Elmitwalli & Otterpohl, 2007; Tombola et al., 2019).

Οι φυσικοχημικές διεργασίες επεξεργασίας του γκρίζου νερού περιλαμβάνουν πήξη με χρήση πηκτικών (π.χ. $Al_2(SO_4)_3 \times 14H_2O$) (Noutsopoulos et al., 2018) και φωτο-καταλυτική οξείδωση με χρήση TiO_2 και υπεριώδους ακτινοβολίας (Sanchez et al., 2010; Tsoumachidou et al., 2017). Ωστόσο, έχουν επίσης διερευνηθεί απλούστερες μέθοδοι επεξεργασίας, για παράδειγμα, διήθηση με χρήση αδρανών διαφορετικού μεγέθους, όπως άμμος, χαλίκια, κοκκώδης ενεργός άνθρακας (GAC) και διογκωμένη άργιλος, μεταξύ άλλων (Pradhan et al., 2020; Boano et al., 2021). Οι μηχανισμοί επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται από αυτούς τους τύπους αδρανών ή υλικών φίλτρων είναι κυρίως η φυσική διήθηση και η προσρόφηση στην πορώδη επιφάνειά τους. Επιπλέον, με την πάροδο του χρόνου, λαμβάνει χώρα ανάπτυξη βιοφίλμ στην επιφάνεια αυτών των υλικών φίλτρου, η οποία είναι σημαντική για τη βιολογική επεξεργασία. Επιπλέον, τα συστήματα που βασίζονται στη φύση (nature-based systems) έχουν προωθηθεί για την εξεύρεση φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων για σοβαρές παγκόσμιες κοινωνικές προκλήσεις, όπως η κλιματική αλλαγή, η επισιτιστική ασφάλεια και οι φυσικές καταστροφές (Walters et al., 2016).

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης (International Union for Conservation of Nature - IUCN), οι λύσεις με βάση τη φύση (NBS) ορίζονται ως «*δράσεις για την προστασία, τη βιώσιμη διαχείριση και την αποκατάσταση φυσικών ή τροποποιημένων οικοσυστημάτων, που αντιμετωπίζουν τις κοινωνικές προκλήσεις αποτελεσματικά και προσαρμοστικά, παρέχοντας ταυτόχρονα οφέλη για την ανθρώπινη ευημερία και τη βιοποικιλότητα*» (Walters et al., 2016). Ως εκ τούτου, η επεξεργασία του γκρίζου νερού με χρήση NBS, όπως οι τεχνητοί υδροβιότοποι, οι πράσινες στέγες και οι πράσινοι τοίχοι, έχουν βρεθεί πρόσφατα στο επίκεντρο, ειδικά σε αγροτικές και περιαστικές περιοχές (Boano et al., 2020). Οι πράσινοι τοίχοι μπορούν επίσης να ονομαστούν κατακόρυφα κατασκευασμένοι υδροβιότοποι ή ζωντανοί τοίχοι. Σε σύγκριση με τους τεχνητούς

υγροβιότοπους, οι μελέτες των συστημάτων πράσινων τοίχων για την επεξεργασία γκρίζου νερού είναι σπάνιες αλλά αυξανόμενες τα τελευταία χρόνια (Boano et al., 2020). Υπάρχουν αρκετοί σημαντικοί παράγοντες κατά το σχεδιασμό ενός πράσινου τοίχου, π.χ. χαρακτηριστικά των υλικών φίλτρου, το μέγεθος των συστημάτων, ο υδραυλικός ρυθμός φόρτισης (Hydraulic Loading Rate – HLR) και η επιλογή φυτικών ειδών (Ascione et al., 2020; Addo-Bankas et al., 2021) που δεν έχουν ακόμη μελετηθεί διεξοδικά.

Πρόσφατα, εγκαταστάθηκαν εμπορικά διαθέσιμα επιτόπια συστήματα, όπως φυτά συσκευασίας (package-plants), για την επεξεργασία γκρίζου νερού σε μονοκατοικίες στη Σουηδία, αλλά η αποτελεσματικότητά τους δεν έχει αξιολογηθεί. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση της αποτελεσματικότητας αυτών των φυτών συσκευασίας και των συστημάτων πράσινων τοίχων, συμπεριλαμβανομένων των παραγόντων σχεδιασμού τους που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας. Επιπλέον, σε πολλές προηγούμενες ερευνητικές μελέτες για την επεξεργασία γκρίζου νερού, χρησιμοποιήθηκε συνθετικό γκρίζο νερό. Αν και αυτό μπορεί να έχει νόημα από την άποψη μιας σταθερής ποσότητας και ποιότητας, τα αποτελέσματα που λαμβάνονται με συνθετικό γκρίζο νερό μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από εκείνα που λαμβάνονται με πραγματικό γκρίζο νερό, το οποίο μπορεί να παρέχει πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα της διερευνώμενης αποτελεσματικότητας επεξεργασίας.

2.6 Υλικά φίλτρων

Τα υλικά φίλτρων είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος επεξεργασίας. Όπως προαναφέρθηκε, τα αδρανή υλικά, όπως η άμμος και το χαλίκι, είναι μερικά από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά φίλτρου σε συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού. Τα χαρακτηριστικά των υλικών φίλτρου περιλαμβάνουν την πυκνότητα, το πορώδες, τη χημική σύνθεση (ανόργανη ή οργανική) και την ικανότητα διήθησης. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητά τους στην επεξεργασία συνδέεται με φυσικοχημικές διεργασίες, όπως η προσρόφηση ή η στράγγιση, και με βιολογικές δραστηριότητες, όπως τα μικρόβια και τα βιοφίλμ. Άλλα ζητήματα για τα υλικά φίλτρου είναι η πηγή (προέλευση) και οι μέθοδοι παραγωγής, έτσι ώστε τα υλικά να είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Επιπλέον, για συστήματα όπως οι πράσινοι τοίχοι, προτιμώνται ελαφριά υλικά για κατασκευαστικούς λόγους.

Μερικά από τα κοινά ανόργανα υλικά φίλτρων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία γκριζου νερού, σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες, περιλαμβάνουν άμμο, περλίτη, ελαφριά διογκωμένη άργιλο (light weight expanded clay - LECA) και ζεόλιθο (Bahrami et al., 2020; Pradhan et al., 2020; Pucher et al., 2022). Όσον αφορά στα οργανικά υλικά φίλτρου, ο κοκοφοίνικας, η τύρφη, ο φλοιός και το κόμποστ (compost) χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα επεξεργασίας γκριζου νερού (Avery et al., 2007; Dalahmeh et al., 2011; Pradhan et al., 2020; Boano et al., 2021). Επιπλέον, ο κοκκώδης ενεργός άνθρακας (GAC) και το βιοξανθράκωμα (biochar) διαπιστώθηκε ότι είναι κατάλληλα υλικά φίλτρου που παρέχουν αποτελεσματική επεξεργασία (Dalahmeh et al., 2016; Noutsopoulos et al., 2018; Boano et al., 2021; Lakho et al., 2021). Μερικά μοναδικά ανακυκλωμένα υλικά φίλτρων που διερευνήθηκαν για επεξεργασία γκριζου νερού ήταν οι πεταμένοι κόκκοι καφέ (spent coffee grounds – SCG) και οι σπόροι χουρμά (Pradhan et al., 2020), τα θρυμματισμένα κεραμίδια και οι υφαντικές ίνες (Galvão et al., 2022).

Η ανάμειξη διαφορετικών υλικών με διαφορετικά μεγέθη και ιδιότητες είναι σημαντική για την παροχή αποτελεσματικής υδραυλικής συγκράτησης και επεξεργασίας. Η χρήση μόνο κοκκωδών αδρανών (χαλίκι, περλίτης ή LECA) παρέχει γρήγορη διήθηση αλλά με μειωμένο αποτέλεσμα επεξεργασίας (Masi et al., 2016; Pradhan et al., 2020; Prodanovic et al., 2017). Επομένως, η ανάμειξη τέτοιων αδρανών με κοκοφοίνικα, SCG ή άμμο έχει μειώσει τον ρυθμό διήθησης και έχει αυξήσει την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας (Masi et al., 2016; Pradhan et al., 2020). Οι Prodanovic et al. (2018) πρότειναν ότι ένα μείγμα περλίτη και κοκκοφοίνικα 1:2 παρείχε καλή διήθηση και επεξεργασία, χωρίς τον κίνδυνο απόφραξης του συστήματος.

Η προτίμηση για χρήση περλίτη ή LECA ως υλικό φίλτρου για την επεξεργασία γκριζου νερού πηγάζει από τη χαμηλή πυκνότητα και το υψηλό πορώδες του, το οποίο παρέχει φυσικοχημική επεξεργασία (Masi et al., 2016; Prodanovic et al., 2017; Reka et al., 2019). Προηγούμενη έρευνα για την επεξεργασία γκριζου νερού με χρήση περλίτη και LECA έχει δείξει ότι η αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας δεν είναι σημαντική όταν χρησιμοποιείται ως μοναδικό υλικό φίλτρου. Ο χαμηλός χρόνος κατακράτησης δεν επέτρεψε τη βιολογική επεξεργασία, αλλά μόνο τη φυσικοχημική επεξεργασία (Masi et al., 2016; Prodanovic et al., 2017).

Ωστόσο, οι Gattringer et al. (2016) στη μελέτη τους με το σύστημα πράσινου τοίχου VertECO χρησιμοποίησαν LECA και διαπίστωσαν καλή αποτελεσματικότητα

επεξεργασίας. Η ελαφρόπετρα ως υλικό φίλτρου έχει παρόμοιες ιδιότητες με τον περλίτη (Alraddadi & Assaedi, 2020) και χρησιμοποιείται συνήθως στην κατασκευαστική βιομηχανία, καθώς και στην επεξεργασία νερού και υγρών αποβλήτων (Karimaian et al., 2013; Eksi et al., 2020). Η ελαφρόπετρα έχει επίσης θετική επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητάς της σε σύγκριση με τον περλίτη (Eksi et al., 2020; Karagüzel, 2020). Η ελαφρόπετρα, η οποία εμφανίζεται στη φύση, στη συνέχεια θρυμματίζεται σε μικρότερα αδρανή, ενώ ο περλίτης απαιτεί θερμική διαστολή υπό υψηλή θερμότητα. Επομένως, η ελαφρόπετρα έχει μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τον περλίτη. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταφορά από την πηγή στο σημείο χρήσης, η ελαφρόπετρα μπορεί επίσης να έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Öhm Sagrelius et al., 2022). Ωστόσο, δεν έχει υπάρξει σημαντική έρευνα σχετικά με την απόδοση της ελαφρόπετρας στην επεξεργασία γκρίζου νερού εκτός από την μελέτη των Bahrami et al. (2020). Η ελαφρόπετρα παρουσίασε υψηλότερη επεξεργασία θολότητας σε σύγκριση με τον GAC, το οποίο είχε υψηλότερη απόδοση επεξεργασίας BOD και COD όταν επεξεργάστηκαν πραγματικό γκρίζο νερό που παράγεται από φοιτητική εστία (Bahrami et al., 2020).

Όπως ο GAC, ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται πρόσφατα ευρέως είναι το βιοεξανθράκωμα (biochar), το οποίο παράγεται μέσω πυρόλυσης ξύλου, γεωργικών ή άλλων οργανικών υπολειμμάτων βιομάζας υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών, που κυμαίνονται από 300–700°C. Θεωρείται αποτελεσματική μέθοδος δέσμευσης άνθρακα, που έχει θετικό αντίκτυπο στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (Woolf et al., 2010; Trazzi et al., 2016). Οι δύο κύριοι παράγοντες που σχετίζονται με την παραγωγή βιοεξανθράκωματος είναι η θερμοκρασία και ο χρόνος παραμονής της πυρόλυσης. Έχει διαπιστωθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας (500–700°C) αυξάνει την ικανότητα προσρόφησης του βιοεξανθράκωματος (Trazzi et al., 2016) και την απομάκρυνση των ρύπων από τα υγρά απόβλητα (Nguyen et al., 2021). Αναφέρθηκε, επίσης, ότι το βιοεξανθράκωμα συνέβαλε σε χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τον ενεργό άνθρακα σε σκόνη (Thompson et al., 2016).

Προηγούμενες ερευνητικές μελέτες έχουν δείξει ότι το βιοεξανθράκωμα ως υλικό φίλτρου έχει απομακρύνει αποτελεσματικά μέταλλα, οργανικές ενώσεις, θρεπτικά συστατικά και παθογόνα, εκτός από την ενίσχυση των υδραυλικών ιδιοτήτων της δομής του εδάφους (Dalahmeh et al., 2016; Boano et al., 2021; Prabha et al., 2021; Lakho et al., 2021). Ωστόσο,

ορισμένες μελέτες διαπίστωσαν ότι η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης του *E. coli* και των εντερόκοκκων από το γκρίζο νερό ήταν χαμηλή από τα φίλτρα βιοεξανθρακώματος (Moges et al., 2015; Dalahmeh et al., 2016). Ωστόσο, το βιοεξανθράκωμα θα μπορούσε να είναι αποτελεσματικό στην απομάκρυνση των συνολικών συγκεντρώσεων των βακτηρίων-δεικτών μετά την επεξεργασία (Moges et al., 2015).

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αρκετές μελέτες έχουν ήδη διερευνήσει την κοκκοκοφοίνικα ως υλικό φίλτρου για την επεξεργασία του γκρίζου νερού και έχουν διαπιστώσει βελτιωμένη απόδοση. Ωστόσο, άλλα οργανικά ινώδη υλικά, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν εναλλακτικές λύσεις για τον κοκκοκοφοίνικα, δεν έχουν διερευνηθεί εκτενώς. Οι Galvão et al. (2022) εξέτασαν υφαντικές ίνες και τις συνέκριναν με θρυμματισμένα κεραμίδια αναμεμιγμένα με κοκκοφοίνικα και κατέληξαν σε παρόμοια απόδοση επεξεργασίας. Ωστόσο, ένα κοινό πρόβλημα με τα ινώδη υλικά είναι η απόφραξη του φίλτρου, που επηρεάζει τη διήθηση και την επεξεργασία (Prodanovic et al., 2018; Galvão et al., 2022). Μια εναλλακτική λύση για το κοκκοφοίνικα θα μπορούσε να είναι οι ίνες κάνναβης. Οι ίνες κάνναβης είναι φυτικές ίνες χαμηλού κόστους με καλή μηχανική αντοχή, υψηλό πορώδες, απορροφητικότητα και ιδιότητες ρόφησης (Sadmanesh & Chen, 2019; Cini & Lichtfouse, 2020). Επιπλέον, η επεξεργασία του γκρίζου νερού με χρήση υλικού από ίνες κάνναβης δεν έχει ακόμη μελετηθεί, επομένως είναι απαραίτητη η διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της επεξεργασίας του.

Μεταξύ άλλων οργανικών υλικών φίλτρων, κομποστοποιημένα υλικά (που προέρχονται από οργανικά υποπροϊόντα όπως πριονίδι και κλαδέματα) έχουν χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές NBS για την επεξεργασία γκρίζου νερού. Κομποστοποιημένο υλικό έχει χρησιμοποιηθεί σε έναν τεχνητό υδροβιότοπο (Avery et al., 2007), σε πράσινες στέγες (Eksi et al., 2020) και σε πράσινους τοίχους (Boano et al., 2021) και όλα ανέφεραν καλή απόδοση απομάκρυνσης BOD και αζώτου όταν αναμιγνύονται με άλλα ανόργανα υλικά φίλτρων. Ωστόσο, οι Dalahmeh et al. (2011) έδειξαν ότι το κομποστοποιημένο υλικό έχει χαμηλή ικανότητα απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών, BOD και COD, σε σύγκριση με άλλα υλικά, π.χ. τύρφη, φλοιό ή ροκανίδια. Επιπλέον, η απόφραξη έχει επίσης αναφερθεί ως πρόβλημα με το κομποστοποιημένο υλικό.

Παρόμοια με τα κομποστοποιημένα υλικά, το SCG είναι ένα προϊόν που προέρχεται από απόβλητα από την παρασκευή αλεσμένων κόκκων καφέ. Η χρήση και η αποτελεσματικότητα του SCG για την επεξεργασία γκρίζου νερού δεν έχει διερευνηθεί

ευρέως, αλλά υπάρχουν μερικές μελέτες. Η ικανότητα προσρόφησης του SCG είναι αποτελεσματική για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων, ενώ η συγκέντρωση της καφεΐνης και της γλυκόζης ενίσχυσαν την δραστηριότητα των αερόβιων μικροοργανισμών (Futalan et al., 2019; Vitézová et al., 2019). Επιπλέον, οι Pradhan et al. (2020) ανέφεραν ότι οι φυσικές ιδιότητες του SCG ήταν παρόμοιες με αυτές του κοκκοφοίνικα ή της άμμου, και ως εκ τούτου προσφέρουν μια καλή εναλλακτική για χρήση σε πράσινους τοίχους. Η συνολική αποτελεσματικότητα επεξεργασίας του SCG βρέθηκε να είναι σημαντικά καλύτερη σε σύγκριση με άλλα υλικά όπως περλίτης, LECA, κοκκοφοίνικας και άμμος. Το SCG είχε επίσης τον υψηλότερο ρυθμό απομάκρυνσης αζώτου (Pradhan et al., 2020).

2.7 Υδραυλικοί ρυθμοί φόρτισης

Έχει αναφερθεί σε αρκετές προηγούμενες μελέτες ότι οι υδραυλικοί ρυθμοί φόρτισης (HLR) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των επιτόπιων συστημάτων επεξεργασίας οικιακών λυμάτων. Διαφορετικοί HLR έχουν διερευνηθεί για επεξεργασία σε φίλτρα άμμου (Dalahmeh et al., 2014; Karlsson et al., 2015; Shaikh & Ahammed, 2021), φίλτρα πιλοτικής κλίμακας με διαφορετικά υλικά φίλτρων (Karabelnik et al., 2012; Pradhan et al., 2020), και σε τεχνητούς οριζόντιους και κάθετους υγροβιότοπους (Jenssen et al., 2005; Fowdar et al., 2017; Zraunig et al., 2019). Μελέτες με διαφορετικούς HLR για επεξεργασία γκρίζου νερού παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3.

Γενικά, τα συστήματα επεξεργασίας αποδίδουν πιο αποτελεσματικά σε χαμηλούς HLR. Ωστόσο, η επίδραση διαφορετικών HLR στην απόδοση επεξεργασίας των πράσινων τοίχων είναι περιορισμένη. Ως εκ τούτου, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση, ειδικά με υψηλούς ρυθμούς φόρτισης, ώστε να αυξηθεί ο όγκος γκρίζου νερού που μπορεί να επεξεργαστεί. Η υδραυλική φόρτιση μπορεί να παρουσιαστεί ως l/d ή $l/m^2/d$, όπου l είναι ο όγκος σε λίτρα, m^2 είναι η επιφάνεια του φίλτρου και d είναι η ημέρα. Ο HLR επηρεάζει τον ρυθμό διήθησης και τον χρόνο κατακράτησης στα φίλτρα, γεγονός που επηρεάζει την επεξεργασία αυξάνοντας ή μειώνοντας τον χρόνο επαφής με το υλικό του φίλτρου και το βιοφίλμ (Boano et al., 2020). Επιπλέον, ένας υψηλός HLR μπορεί μερικές φορές να οδηγήσει στην έκπλυση ρύπων από το υλικό του φίλτρου (Dalahmeh et al., 2014; Shaikh & Ahammed, 2021).

Πίνακας 2.0.3 HLR που χρησιμοποιούνται για διαφορετικά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού με φίλτρα (l:όγκος σε λίτρα, m²: επιφάνεια του φίλτρου, d:ημέρα)

Ρυθμός ροής (l/d)	Ρυθμός υδραυλικής φόρτισης (l/m ² /d)	Αναφορά
32	100	Karabelnik et al., 2012
80	250	Karabelnik et al., 2012
1.0	32	Dalahmeh et al., 2014
1.0	32	Karlsson et al., 2015
2.5	55	Fowdar et al., 2017
5.0	110	Fowdar et al., 2017
750	100	Zraunig et al., 2019
1400	190	Zraunig et al., 2019
3.0	382	Prodanovic et al., 2018
0.5	78.6	Pradhan et al., 2020
1.5	236	Pradhan et al., 2020
4.0	100	Prodanovic et al., 2020
98	36.2	Dal Ferro et al., 2021
10	320	Shaikh & Ahammed, 2021
20	640	Shaikh & Ahammed, 2021

3. Βιβλιογραφική επισκόπηση

3.1 Συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού

Τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ως προς την πολυπλοκότητα και το μέγεθός τους. Κυμαίνονται από μικρά συστήματα με πολύ απλές διεργασίες επεξεργασίας (π.χ. διήθηση με άμμο) έως μεγάλα συστήματα με πολύπλοκες διεργασίες επεξεργασίας.

Για πολλές δεκαετίες, απλά σχεδιασμένα συστήματα χαμηλού κόστους χρησιμοποιούνταν για την άρδευση αγροτικών περιοχών, όπου δεν υπήρχαν κεντρικά συστήματα αποχέτευσης (Jeppesen, 1996). Πιο προηγμένα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού, τα οποία έχουν αρκετά υψηλό κόστος κεφαλαίου και σημαντικές απαιτήσεις εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, είναι πιο ευνοϊκά οικονομικά σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις όπου απαιτούνται μεγάλοι όγκοι νερού επεξεργασίας (BSRIA, 1997).

Τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού αποτελούνται συνήθως από τα ακόλουθα μέρη:

1. **Πηγή γκρίζου νερού** (δηλαδή μπάνιο και πλυντήριο). Η επιλογή της πηγής έχει σημαντική επίδραση στην ποιότητα του γκρίζου νερού. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το γκρίζο νερό κατηγοριοποιείται ως: ελαφρύ ή βαρύ (Ramon et al., 2004). Ωστόσο, σύμφωνα με τις οδηγίες του Ηνωμένου Βασιλείου, η χρήση νερού από ορισμένες από αυτές τις πηγές θα πρέπει να περιορίζεται στην ανακύκλωση, ιδίως στα σπίτια (WRAS, 1999). Η πλειονότητα της βιβλιογραφίας για την ανακύκλωση γκρίζου νερού προτιμά να αποκλείει το νερό από νεροχύτες, κουζίνας και πλυντήρια πιάτων, καθώς η συμπερίληψη τέτοιων υγρών αποβλήτων έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του γκρίζου νερού.
2. **Σύστημα μεταφοράς**. Για τη συλλογή γκρίζου νερού από τις πηγές του και τη διανομή του στους τελικούς χρήστες.
3. **Δεξαμενή προεπεξεργασίας** (π.χ. χοντρό φίλτρο (coarse filter) και δεξαμενή αερισμού (surge tank), όπου αποθηκεύεται το γκρίζο νερό πριν και μετά την επεξεργασία.
4. **Βαλβίδα εκτροπής** (diverted valve). Η πλεονάζουσα παραγωγή γκρίζου νερού να πηγαίνει στους υπονόμους λυμάτων.

5. **Βαλβίδα πλωτήρα** (float valve). Για την εφεδρεία νερού δικτύου σε περίπτωση έλλειψης παροχής.
6. **Διαδικασία επεξεργασίας**. Μπορεί να ποικίλλει από απλά συστήματα έως εξαιρετικά πολύπλοκα και δαπανηρά συστήματα.
7. **Διαδικασία άντλησης**. Για την εξαγωγή του νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης και την αποστολή του στους τελικούς χρήστες.
8. **Μη πόσιμη τελική χρήση** (π.χ. WC). Παραδείγματα μη πόσιμων τελικών χρήσεων γκρίζου νερού περιλαμβάνουν: χρήση σε καζανάκια (Karpiscak et al., 1990; Cooper, 2001; Environment Agency, 2005), καθαρισμός ρούχων (πλυντήρια) (Ratcliffe, 2002), άρδευση κήπων/τοπίων (Criswell et al., 2005), πλύσιμο αυτοκινήτων (Leggett et al., 2001a) και πυρόσβεση (Gould & Nissen-Peterson, 1999).

3.2 Ανακύκλωση γκρίζου νερού σε ένα σύγχρονο πλαίσιο

Η ανακύκλωση γκρίζου νερού αποτελεί μια αυξανόμενη πρακτική κατά την τελευταία δεκαετία και έχει διερευνηθεί εντατικά, ιδίως σε χώρες όπου οι κανονισμοί ενθαρρύνουν αυτήν την πρακτική, όπως η Αυστραλία, η Ευρωπαϊκή Ένωση, το Ισραήλ, η Ιαπωνία, η Ιορδανία και οι ΗΠΑ (Sayers, 2000; Ogoshi et al., 2001; Friedler et al., 2006; Prathapar et al., 2005; Gross et al., 2008; Tjandraatmadja et al., 2013). Σύμφωνα με τους Jeppesen & Solley (1994), οι δυτικές πολιτείες των ΗΠΑ και η Ιαπωνία ήταν οι παγκόσμιοι ηγέτες στην επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού. Ωστόσο, πιο πρόσφατα, η Αυστραλία φαίνεται να βρίσκεται στην πρώτη γραμμή της εφαρμογής των επιλογών επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού ως μία από τις βασικές μεθόδους εξοικονόμησης νερού σε οικίες (CRD, 2004). Αυτό δεν αποτελεί έκπληξη δεδομένου των περιορισμένων διαθέσιμων υδάτινων πόρων για εθνική παροχή.

Προηγούμενες διεθνείς μελέτες σχετικά με την ανακύκλωση γκρίζου νερού επικεντρώνονται κυρίως σε αστικές περιοχές (Nolde, 1999; Friedler & Hadari 2006; Al-jayyousi 2003; Dixon, 1999; Diaper et al., 2001; Memon et al., 2005; Zhang et al., 2009; Mandal et al., 2011; Shanableh et al., 2012).

Τα συστήματα γκρίζου νερού έχουν εγκατασταθεί σε ένα ευρύ φάσμα τύπων κτιρίων, συμπεριλαμβανομένων κατοικιών (Leggett et al, 2001; Day, 2002), πολυώροφων κτιρίων (Santala et al., 1998), σχολείων (Paul & Bray, 2004), γραφείων (Brewer et al., 2000),

αθλητικών σταδίων (Lodge et al., 2004), φοιτητικών καταλυμάτων (εστιών) (Brewer et al., 2000; Surrendran & Wheatley, 1998) και εκθεσιακών κέντρων όπως το Millennium Dome στο Λονδίνο (Lodge, 2000; Hills et al., 2002) και το Eden Project στην Κορνουάλη (CIWEM, 2007).

3.3 Κοινές κινητήριες δυνάμεις για τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού στον ανεπτυγμένο κόσμο

Μέχρι τη δεκαετία του 1990, το νερό θεωρούνταν προϊόν μιας χρήσης και όχι επαναχρησιμοποιήσιμο ή ανακυκλώσιμο προϊόν (Dillon, 2002). Η έναρξη της κλιματικής αλλαγής, η αύξηση των τιμών του νερού, η αύξηση του πληθυσμού, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και η εξοικονόμηση ενέργειας αναγνωρίζονται πλέον ως βασικές κινητήριες δυνάμεις για την εφαρμογή βιώσιμων εναλλακτικών πηγών νερού. Καθώς οι πιέσεις στα αποθέματα πόσιμου νερού αυξάνονται παγκοσμίως, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον από τους παρόχους/χρήστες νερού για τη χρήση εναλλακτικών πηγών νερού όπως η επαναχρησιμοποίηση/ανακύκλωση γκρίζου νερού (OECD, 2009). Στη βιβλιογραφία εντοπίστηκαν πέντε κινητήριες δυνάμεις για την επαναχρησιμοποίηση του νερού, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω:

- **Αύξηση της ζήτησης για γλυκό νερό.** Αυτή είναι η πιο κοινή κινητήρια δύναμη στις αναπτυσσόμενες χώρες και πρέπει να αντιμετωπιστεί προκειμένου να διατηρηθεί η πληθυσμιακή και βιομηχανική ανάπτυξη.
- **Μειωμένη διαθεσιμότητα παροχής νερού,** ιδίως σε άγονες και ημι-άνυδρες περιοχές. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι ζωτικής σημασίας σε αυτές τις περιοχές για τη συνέχιση των γεωργικών και οικονομικών δραστηριοτήτων.
- **Προστασία του περιβάλλοντος,** ιδίως σε χώρες με πιο αυστηρά πρότυπα απόρριψης υγρών αποβλήτων (π.χ. Αυστραλία και Ευρώπη).
- **Ανησυχίες για τη δημόσια υγεία και τις πολιτικές** γίνονται ολοένα και πιο σημαντικές για την υλοποίηση έργων επαναχρησιμοποίησης νερού.
- **Προσιτότητα και πρακτικότητα** της επαναχρησιμοποίησης νερού ως τοπική λύση.

Ειδικότερα, η ανακύκλωση γκρίζου νερού στον οικιακό τομέα λαμβάνει ολοένα και μεγαλύτερο ενδιαφέρον (π.χ. Maimon et al., 2010; Liu et al., 2010). Αυτό οφείλεται στα προφανή οφέλη όσον αφορά στην εξοικονόμηση γλυκού νερού καθώς και στη χαμηλότερη

περιεκτικότητα σε οργανικούς ρύπους και παθογόνους μικροοργανισμούς στο γκρίζο νερό σε σχέση με τα συνδυασμένα αστικά λύματα που περιέχουν απόβλητα τουαλέτας (Erikson et al., 2002). Κατά συνέπεια, το οικιακό γκρίζο νερό θεωρείται ως επί το πλείστον κατάλληλο για επιτόπια (δηλαδή αποκεντρωμένη) επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση. Τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού έχουν ήδη εφαρμοστεί πιλοτικά σε πολλές χώρες παγκοσμίως και αποτελούν ολοένα και πιο ευνοϊκή στρατηγική. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι προτάσεις για την υιοθέτηση συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού δεν εστιάζουν πάντα άμεσα στην επίτευξη ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος, αλλά αποτελούν βραχυπρόθεσμες αντιδράσεις στη λειψυδρία. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι δύο έννοιες δεν είναι άρρηκτα συνδεδεμένες.

3.4 Τεχνολογίες επεξεργασίας γκρίζου νερού

Ο σχεδιασμός του συστήματος επεξεργασίας γκρίζου νερού ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες της περιοχής και τα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού. Οι τεχνολογίες επεξεργασίας γκρίζου νερού πρέπει να είναι ανθεκτικές ώστε να αντιμετωπίζουν τις διακυμάνσεις στη συγκέντρωση οργανικών και παθογόνων ουσιών στην εισροή γκρίζου νερού και να παράγουν σταθερά εκροή κατάλληλης και ασφαλούς ποιότητας ώστε να πληρούν τα απαιτούμενα πρότυπα για επαναχρησιμοποίηση (Winward et al., 2008). Θεωρητικά, το γκρίζο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιονδήποτε σκοπό, υπό την προϋπόθεση ότι έχει υποστεί επεξεργασία ώστε να ανταποκρίνεται στα απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας (Liu et al., 2010). Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης που απαιτούν ένα εύρος προτύπων ποιότητας νερού και συνεπώς απαιτήσεις ζήτησης. Όπως προαναφέρθηκε, η έλλειψη προτύπων ανακύκλωσης νερού έχει συνδράμει στην πρόταση και ανάπτυξη μιας πληθώρας τεχνολογιών που διαφέρουν σημαντικά τόσο σε πολυπλοκότητα όσο και σε απόδοση. Μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών έχει χρησιμοποιηθεί ή αναπτύσσεται για την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού (Pidou et al., 2007). Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των τεχνικών επεξεργασίας γκρίζου νερού.

3.4.1 Απλή επεξεργασία

Οι τεχνολογίες απλής επεξεργασίας είναι συνήθως συστήματα δύο σταδίων. Το πρώτο στάδιο είναι η απομάκρυνση μεγάλων στερεών είτε με χονδροειδή διήθηση είτε με καθίζηση, ακολουθούμενη από απολύμανση ως δεύτερο στάδιο (Jefferson et al., 2001). Τα απλά συστήματα αποτελούν την πιο συνηθισμένη τεχνολογία επεξεργασίας για οικιακή επαναχρησιμοποίηση, επειδή είναι σχετικά φθηνή στην εγκατάσταση και τη λειτουργία και εύκολη στη χρήση.

3.4.2 Χημική επεξεργασία

Για τη χημική επεξεργασία υπάρχουν λιγότερες πληροφορίες στη βιβλιογραφία. Οι περισσότερες από τις χημικές επεξεργασίες για το γκρίζο νερό περιλαμβάνουν φωτοκαταλυτική επεξεργασία, πήξη και ανταλλαγή ιόντων (ιοντοανταλλαγή) που ακολουθούνται από διήθηση και/ή απολύμανση (Pidou et al., 2007).

3.4.3 Φυσική επεξεργασία

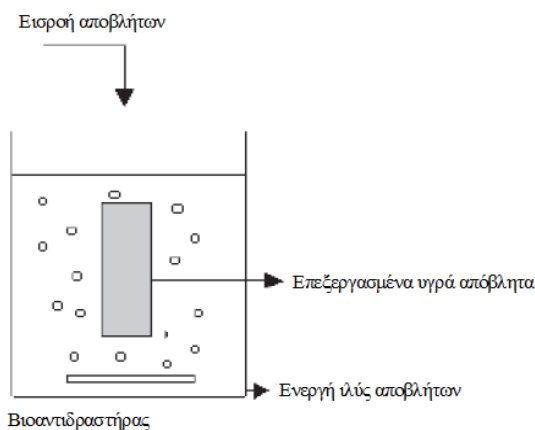
Οι επιλογές φυσικής επεξεργασίας για το γκρίζο νερό είναι φίλτρα άμμου ή μεμβράνες με/χωρίς απολύμανση. Τα φίλτρα άμμου μοιάζουν πολύ με τις απλές τεχνολογίες και παρέχουν μια περιορισμένη επιλογή επεξεργασίας για το γκρίζο νερό (δηλαδή δεν υπάρχουν πλήρη εμποδία για τα αιωρούμενα υλικά), αν και ακολουθούνται από απολύμανση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, αυτές οι επιλογές επεξεργασίας δεν επαρκούν για την ικανοποιητική μείωση των οργανικών, των θρεπτικών και των επιφανειοδραστικών ουσιών στο γκρίζο νερό. Επομένως, δεν συνιστώνται για την ανακύκλωση γκρίζου νερού (Liu et al., 2010). Ιδιαίτερα όταν απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι αποθήκευσης (Winward et al., 2008; Ghunmi et al., 2008).

3.4.4 Βιολογική επεξεργασία

Οι βιολογικές διεργασίες είναι οι καταλληλότερες διεργασίες μονάδας για την επεξεργασία γκρίζου νερού με βάση τα χαρακτηριστικά του νερού (Jefferson et al., 2001; Pidou et al., 2007). Ωστόσο, έχουν υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις και προβλήματα ρύπανσης που αυξάνουν το κόστος λειτουργίας. Όλες οι μέθοδοι με βιολογικό στάδιο μπορούν να

επιτύχουν εξαιρετική απομάκρυνση οργανικών και στερεών, αλλά χαμηλή απομάκρυνση οργανισμών (Pidou et al., 2007). Στις περισσότερες περιπτώσεις, όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία, οι βιολογικές επεξεργασίες αξιολογήθηκαν ως οι καλύτερες και ακολούθησαν η φυσική προεπεξεργασία και/ή απολύμανση. Η πιο συνηθισμένη διαμόρφωση είναι οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (membrane bioreactors - MBR), τα βιολογικά αεριζόμενα φίλτρα (biologically aerated filters - BAF), ο περιστρεφόμενος βιολογικός δίσκος (rotating biological contractor - RBC) και οι αντιδραστήρες διαλείποντος έργου (sequence batch reactors - SBR) (Mendoza-Espinosa & Stephenson, 1999; Abdel-Kader, 2012; Lamine et al., 2007).

Οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (MBR) συνδυάζουν έναν αντιδραστήρα ενεργού ιλύος με μια μεμβράνη μικροδιήθησης και έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην Ιαπωνία για την ανακύκλωση γκρίζου νερού σε συγκροτήματα γραφείων και κατοικίες (Kishino et al., 1996). Λόγω της εξαιρετικής και σταθερής ποιότητας της εκροής, του υψηλού ποσοστού οργανικής φόρτωσης, της συμπαγούς δομής καθώς και της χαμηλής παραγωγής περίσσεια ιλύος (low excess sludge production), οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών φαίνεται να συνιστούν μια ελκυστική τεχνική λύση για την ανακύκλωση γκρίζου νερού, ιδιαίτερα σε συλλογικά αστικά κτίρια κατοικιών (Lazarova et al., 2003; Friedler & Hadari, 2006; Fane & Fance, 2005).



Εικόνα 3.1 Εγκατάσταση MBR με βυθιζόμενη διαμόρφωση.

Πηγή: Melin et al., 2006

Ο βιοαντιδραστήρας μεμβρανών έχει δύο κύριες διαμορφώσεις που περιλαμβάνουν είτε εμβαπτισμένες μεμβράνες (διαμόρφωση με βύθιση) είτε διαμόρφωση πλευρικής ροής. Οι διαμορφώσεις βυθισμένων MBR εφαρμόζονται συχνότερα στην επεξεργασία αστικών λυμάτων (Εικόνα 3.1).

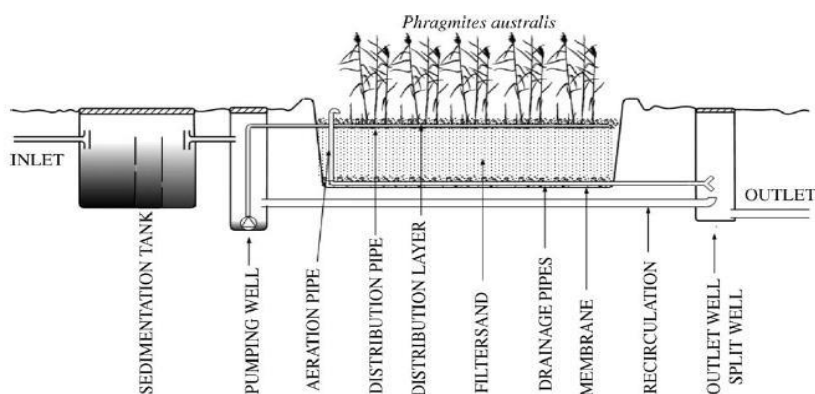
Στα περισσότερα σημεία εφαρμογής ήταν δύσκολο να δικαιολογηθεί η χρήση μιας τέτοιας διαδικασίας λόγω του υψηλού κόστους των μεμβρανών, της χαμηλής οικονομικής αξίας του προϊόντος (τριτογενές απόβλητο) και της πιθανής ταχείας απώλειας απόδοσης λόγω έμφραξης των μεμβρανών (Jefferson et al., 1999). Η έμφραξη μεμβρανών μπορεί να αντιμετωπιστεί με την τεχνική αφαίρεσης χημικών ουσιών στη δεξαμενή, αλλά απαιτεί επαγγελματική συντήρηση σε τακτά χρονικά διαστήματα. Οι μονάδες επεξεργασίας με βάση MBR έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι συμπαγείς. Επομένως, απαιτούν μόνο μικρή έκταση γης και μπορούν να τοποθετηθούν μέσα σε ένα κτίριο (Ottoson & Stenstrom, 2003). Αυτό αποτελεί σαφές πλεονέκτημα στις αστικές περιοχές.

3.4.5 Εκτεταμένες τεχνολογίες

Οι εκτεταμένες τεχνολογίες για την επεξεργασία γκρίζου νερού περιλαμβάνουν συνήθως τεχνητούς υγροβιότοπους (constructed wetlands) που επιτυγχάνουν επεξεργασία μέσω φυσικής καθίζησης για την απομάκρυνση μεγάλων σωματιδίων, ακολουθούμενη από διήθηση μέσω άμμου (sand filtering) για την απομάκρυνση τυχόν σωματιδίων στο νερό και στη συνέχεια βακτηριακό μεταβολισμό. Οι τεχνητοί υγροβιότοποι αντιγράφουν φυσικούς υγροτόπους με την έννοια ότι τα υγρά απόβλητα διέρχονται από ρηχά υποστρώματα (shallow substrates) (κάθετα ή οριζόντια) και φιλτράρονται μέσω υδρόβιων φυτών (καλαμώνες) που έχουν εγκατασταθεί τεχνητά (Wood & Dixon, 2001). Τα υποστρώματα στα οποία εγκαθίστανται τα καλάμια παρέχουν ένα στερεό υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών, σταθερή επιφάνεια για μικροβιακή προσκόλληση και λειτουργούν άμεσα στον καθαρισμό των υγρών αποβλήτων μέσω φυσικών και χημικών διεργασιών (Cooper et al., 1996).

Τα παραδείγματα εφαρμογής τεχνητών υγροβιότοπων στη βιβλιογραφία καταδεικνύουν μια εξαιρετική ικανότητα αυτής της τεχνολογίας να επεξεργάζεται γκρίζο νερό και να απομακρύνει βιολογικές οργανικές ουσίες. Συνολικά, όλες οι διαμορφώσεις υγροβιότοπων ήταν ικανές να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά γκρίζο νερό χαμηλής αντοχής (low strength GW), αλλά μόνο το σύστημα κάθετης ροής (Εικόνα 3.2) διατήρησε την ευρωστία

(ανθεκτικότητα, robustness) του όταν υποβλήθηκε σε επεξεργασία γκρίζο νερό υψηλής αντοχής (high strength GW). Η ανάλυση των συστημάτων αποκαλύπτει ότι αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι ο αερόβιος μεταβολισμός είναι μια πιο κατάλληλη οδός επεξεργασίας για το γκρίζο νερό.



Εικόνα 3.2 Διάταξη συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου κατακόρυφης ροής για ένα νοικοκυριό.

Πηγή: Arias & Brix, 2005

Η διαμόρφωση του συστήματος τεχνητού υγροβιότοπου (οριζόντια ή κατακόρυφη) εξαρτάται από τον στόχο της επεξεργασίας και τις συνθήκες τοποθεσίας (π.χ. μέγεθος πληθυσμού, κλίμα, κόστος της γης, διαθεσιμότητα κεφαλαίων κ.λπ.). Θεωρούνται ως οι πιο φιλικές προς το περιβάλλον και φθηνές τεχνολογίες για την επεξεργασία γκρίζου νερού (Shrestha et al., 2001; Friedler & Hadari, 2006; Dallas et al., 2004). Ωστόσο, απαιτεί μεγάλο χώρο και μόνο για αυτόν τον λόγο οι άνθρωποι πιστεύουν ότι δεν είναι κατάλληλες για αστικές περιοχές (Liu et al., 2010), αν και αυτό απαιτεί εύστοχα επιχειρήματα ως προς το πού πρέπει να διατεθούν οι χώροι γης για τέτοιους σκοπούς.

3.5 Σύνοψη της τεχνολογίας επεξεργασίας ανακύκλωσης γκρίζου νερού

Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας επεξεργασίας, όπως: ο τύπος του τελικού χρήστη, χαρακτηρισμός τοποθεσίας, κλίμακα ανάπτυξης, κόστος νερού, κανονιστικές απαιτήσεις και συμπεριφορά των χρηστών (Landcom, 2006; Jefferson et al., 2004). Η μέθοδος και η πολυπλοκότητα της επεξεργασίας σε συστήματα γκρίζου νερού συνήθως διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος της εφαρμογής. Για

μονοκατοικίες, τα συστήματα γκρίζου νερού συνήθως περιορίζονται σε χονδροειδή διήθηση (coarse filtration) και απολύμανση λόγω των ζητημάτων κόστους. Παραδείγματα για μεγαλύτερες κλίμακες όπως σε κολέγια (π.χ. Loughborough) και μικρά γραφεία έχουν επικεντρωθεί σε φυσικά (ή απλά βιολογικά) συστήματα (Surrendran, 2001). Συστήματα μεγαλύτερης κλίμακας, όπως το Millennium Dome, λειτουργούν σε αρκετά διαφορετικά στάδια επεξεργασίας και χρησιμοποιούν τόσο βιολογικές τεχνολογίες όσο και τεχνολογίες μεμβρανών.

Πίνακας 3.0.1 Σύνοψη πέντε διαφορετικών τύπων τεχνικών επεξεργασίας γκρίζου νερού.

Επεξεργασία	Απλή	Χημική	Φυσική		Βιολογική	Εκτεταμένη
Παράδειγμα	Χονδροειδής διήθηση ή καθίζηση	Φωτοκατάλυση, ηλεκτροκροκίδωση και κροκίδωση	Φίλτρο άμμου, προσρόφηση	Μεμβράνη	Βιολογικό αεριζόμενο φίλτρο, βιοαντιδραστήρας μεμβρανών	Τεχνητοί υδροβιότοποι, λίμνες, κλίνες καλαμιών (reed beds)
Κλίμακα	Κατά προτίμηση μικρής κλίμακας (μεμονωμένα νοικοκυριά)	Ειδικά για μονοκατοικίες	Κοινή σε μικρές κλίμακα	Κοινή σε μικρή κλίμακα	Χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγαλύτερα κτίρια	Κατάλληλη για μεγάλες κλίμακες
Απόδοση	Απομακρύνει τα μεγάλα στερεά. Ελάχιστη ή μηδενική αφαίρεση της χημικής και βιολογικής ρύπανσης	Δυνατότητα μείωσης των αιωρούμενων στερεών, των οργανικών ουσιών και τα επιφανειοδραστικών	Περιορισμένη επεξεργασία, μικρή απομάκρυνση στερεών	Περιορισμένη αφαίρεση οργανισμών, εξαιρετική απομάκρυνση διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών	Εξαιρετική απομάκρυνση οργανικών και στερεών	Ικανοποιητική απομάκρυνση των βιολογικών οργανικών ουσιών
Κατάλληλη για	Χαμηλής αντοχής γκρίζο νερό (low-strength GW)	Χαμηλής αντοχής γκρίζο νερό (low-strength GW)	Χαμηλής αντοχής γκρίζο νερό (low-strength GW)	Χαμηλής αντοχής γκρίζο νερό (low-strength GW)	Μεσαίας έως υψηλής αντοχής γκρίζο νερό (medium to high strength GW)	Μεσαίας έως υψηλής αντοχής γκρίζο νερό (medium to high strength GW)
Απολύμανση	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι
Σκοπός χρήσης	Υπόγεια άρδευση, χρησιμοποίηση σε καζανάκια και κηπουρική	Χρησιμοποίηση σε καζανάκια και κηπουρική	Δεν συνιστάται για ανακύκλωση γκρίζου νερού.		Χρησιμοποίηση σε καζανάκια και κηπουρική	Χρησιμοποίηση σε καζανάκια και κηπουρική
Πλεονέκτημα	Απλή στη χρήση, όχι δαπανηρή	-	Αποτελεσματική στη μείωση του οργανικού ρύπου, όχι δαπανηρή	Χαμηλή θολερότητα νερού	Δεν απαιτείται απολύμανση. Διεργασίες μικρού αποτυπώματος και παραγωγή υψηλής ποιότητας λυμάτων, συμπαγής	Η πιο φιλική προς το περιβάλλον και οικονομικά αποδοτική τεχνολογία για την επεξεργασία γκρίζου νερού
Μειονέκτημα	Περιορισμένη απομάκρυνση της ρύπανσης	Αποτυχημένη τήρηση τιμών θολερότητας μικρότερον από 2 NTU	Ανεπαρκής μείωση των οργανικών, θρεπτικών και επιφανειοδραστικών ουσιών	Σχηματισμός επικαθίσεων (fouling), υψηλή ενεργειακή ζήτηση	Θα πρέπει να ακολουθεί φυσική προεπεξεργασία, υψηλή ενεργειακή ζήτηση	Απαιτεί μεγάλο χώρο, δεν ευνοείται σε αστική περιοχή

Πηγή: Surrendran & Wheatley, 1998; Jefferson et al., 1999; Nolde et al., 1999; Brewer et al., 2000; Hills et al., 2001; Lazarova et al., 2003; Jefferson et al., 2004; Friedler et al., 2006; Pidou et al., 2007; Liu et al., 2010.

Σε κάθε περίπτωση, η επιτυχής εφαρμογή της επιλεγμένης τεχνολογίας εξαρτάται από πολλούς τοπικούς παράγοντες, προτεραιότητες και συνθήκες όπως η πολιτική, η διαθεσιμότητα γης, η κατανόηση της κοινότητας, το κόστος τεχνολογίας και οι οικονομικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί (ΕΚΤΝ, 2008; Wilderer, 2004). Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι επιδόσεις 5 κατηγοριών τεχνολογιών επεξεργασίας γκρίζου νερού.

Τα κοινά συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού είναι βιολογικά συστήματα με βασικό σύστημα δύο σταδίων με χονδροειδή διήθηση και απολύμανση (βιοαντιδραστήρες μεμβράνης (MBR), βιολογικά αεριζόμενα φίλτρα (BAF) και περιστρεφόμενος βιολογικός επαφέας (RBC) και κατασκευασμένοι υγρότοποι (Al-Jayyousi 2003; Madungwe & Sakuringwa, 2007). Η ποιότητα των λυμάτων από αυτές τις τεχνολογίες επεξεργασίας δείχνει ότι είναι ικανές να επιτύχουν τους περισσότερους κανονισμούς για τα πρότυπα οικιακής ανακύκλωσης νερού (Nolde, 1999; Al-Jayyousi, 2003; Winward et al., 2008; Zhang et al., 2009) (Πίνακας 3.1).

3.6 Τύποι και διαμόρφωση συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού

Τα συστήματα γκρίζου νερού διακρίνονται σε συστήματα εκτροπής ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού και σε συστήματα επεξεργασίας. Οι περισσότερες χρήσεις γκρίζου νερού απαιτούν κάποια μορφή επεξεργασίας, αν και το μη επεξεργασμένο γκρίζο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου υπάρχει πολύ χαμηλός κίνδυνος ανθρώπινης επαφής και μικρή απαίτηση αποθήκευσης. Η υπόγεια άρδευση είναι ένα παράδειγμα χρήσης μη επεξεργασμένου γκρίζου νερού. Αυτή η άμεση εφαρμογή του γκρίζου νερού απαιτεί μόνο απλή αποθήκευση, με ένα χοντρό φίλτρο για την αφαίρεση τυχόν μεγάλων υπολειμμάτων, τριγών και άλλων σωματιδίων. Τα περισσότερα συστήματα είναι σχετικά απλά, ενσωματώνοντας σωλήνες αποθήκευσης (storage hoses) και άντλησης (pumped hoses) (ή βαρύτητας – gravity fed hoses) ή τροφοδοσίες εμβάπτισης (dip feeds) για συστήματα άρδευσης. Η άρδευση με χρήση γκρίζου νερού είναι πολύ δημοφιλής στις ΗΠΑ, όπου ένα μεγάλο ποσοστό (7-13%) νερού χρησιμοποιείται για άρδευση και άλλους εξωτερικούς σκοπούς (BSRIA, 1997; Roesner et al., 2006).

Μια άλλη πολύ απλή ιδέα για την άμεση χρήση του γκρίζου νερού μέσα σε ένα κτίριο είναι ένας νιπτήρας που προσαρμόζεται απευθείας πάνω από ένα καζανάκι χαμηλής στάθμης (Εικόνα 3.3). Όταν χρησιμοποιείται νερό στον νιπτήρα για το πλύσιμο των χεριών,

αποστραγγίζεται απευθείας στο καζανάκι και στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το ξέπλυμα της τουαλέτας. Συνεπώς, δεν υπάρχει ανάγκη για περίπλοκα δίκτυα σωληνώσεων ή πρόσθετη αποθήκευση. Θεωρείται ότι η επεξεργασία του νερού δεν είναι απαραίτητη, καθώς το γκρίζο νερό χρησιμοποιείται γενικά πολύ γρήγορα και προέρχεται μόνο από το πλύσιμο των χεριών.



Εικόνα 3.3 Άμεση χρήση γκρίζου νερού από τον νιπτήρα στο καζανάκι.

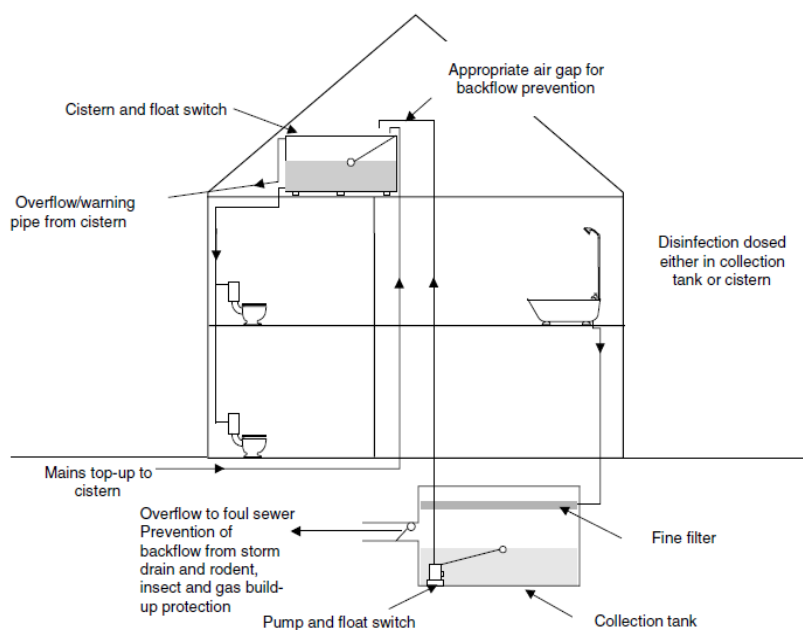
Πηγή: DigsDigs, 2012

Υπάρχουν πολλά συστήματα στην αγορά παγκοσμίως, τα οποία επαναχρησιμοποιούν το γκρίζο νερό και το ανακυκλώνουν για καζανάκια και εξωτερικές χρήσεις σε τρεις διαφορετικές κλίμακες:

(α) Συστήματα μεμονωμένης κλίμακας ή συστήματα “package”

Το μεμονωμένο οικιακό σύστημα ανακύκλωσης γκρίζου νερού ήταν ένα ελκυστικό σχέδιο για την εγκατάσταση γκρίζου νερού και υπάρχουν ήδη πολλές τοποθεσίες σε όλο παγκόσμιο επίπεδο, όπου λειτουργούν αυτά τα συστήματα. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από πολύ βασικό εξοπλισμό, που περιλαμβάνει τη συλλογή γκρίζου νερού από λουτρά, ντους και νιπτήρες, ακολουθούμενη από απλή διήθηση και απολύμανση (Εικόνα 3.4). Τα περισσότερα από τα μεμονωμένα οικιακά συστήματα γκρίζου νερού στην αγορά διευκρινίζουν ότι το επεξεργασμένο γκρίζο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κηπουρική και για χρήση σε καζανάκια, γεγονός που οδηγεί σε μείωση της κατανάλωσης νερού κατά 30-50% και μείωση των λογαριασμών νερού. Γενικά είναι λιγότερο κατάλληλα για χρήση σε κτίρια γραφείων και εμπορικών χώρων λόγω της χαμηλής παραγωγής γκρίζου νερού και της υψηλής χρήσης WC (με υψηλή ζήτηση νερού) σε αυτού του τύπου κτίρια.

Η προτίμηση στα οικιακά ακίνητα είναι ότι το σύστημα είναι πολύ χαμηλής συντήρησης. Ωστόσο, ένα μειονέκτημα είναι ότι όλοι οι κίνδυνοι και οι απαιτήσεις συντήρησης βαρύνουν τον ιδιοκτήτη, εκτός εάν έχει συνάψει συμφωνία συντήρησης. Υπάρχει, επίσης, κίνδυνος όταν οι ιδιοκτήτες επιχειρήσουν τροποποιήσεις στο σύστημα χωρίς τις επαρκείς δεξιότητες και τότε υπάρχει πιθανότητα διασταυρούμενης σύνδεσης (Legget, 2001). Εάν μια εταιρεία ύδρευσης επιλέξει να προσφέρει την υπηρεσία συντήρησης, θα έχει τη νομική ευθύνη να αναφέρει κάθε διασταυρούμενη σύνδεση (cross-connection). Παρόλο που αυτό θα επιβάρυνε την ευθύνη της εταιρείας ύδρευσης, θα παρείχε επίσης μεγαλύτερη άνεση στους πελάτες των υπόλοιπων εταιρειών ύδρευσης. Οι περισσότερες από τις προηγούμενες έρευνες για τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού έχουν επικεντρωθεί στην κλίμακα μεμονωμένων κατοικιών, ενώ οι κλίμακες πολλαπλών κατοικιών ή κοινοτήτων είναι λιγότερο εμφανείς στη βιβλιογραφία.



Εικόνα 3.4 Ένα απλό σύστημα ανακύκλωσης γκρίζου νερού για μεμονωμένα νοικοκυριά.

Πηγή: Leggett & Shaffer, 2002

(β) Σύστημα πολλαπλών κατοικιών

Τα κτίρια πολλαπλών κατοικιών είναι εκείνα με ένα μείγμα αυτόνομων κατοικιών ή δωματίων για οικιστικούς σκοπούς ή με κοινόχρηστες εγκαταστάσεις. Οι φοιτητικές εστίες, τα καταλύματα εργαζομένων, οι κατοικίες υποβοηθούμενης διαβίωσης (sheltered housing) και άλλα κτίρια πολλαπλών κατοικιών που περιέχουν ένα μείγμα κατοικιών συνιστούν έγκυρα παραδείγματα κτιρίων πολλαπλών κατοικιών. Αυτός ο τύπος κτιρίων βρίσκεται συνήθως σε αστικές περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις πληθυσμού. Η έρευνα για την ανακύκλωση γκρίζου νερού σε κτίρια πολλαπλών κατοικιών παρουσιάζει υψηλότερα οφέλη όσον αφορά στην εξοικονόμηση περισσότερου νερού με μειωμένο κόστος (Friedler & Hadari, 2006; Ghisi & Ferreira, 2007).

(γ) Κοινοτικά σχήματα

Υπάρχουν πολύ λίγα παραδείγματα συστημάτων επαναχρησιμοποίησης σε κλίμακα κοινότητας παγκοσμίως. Ένα παράδειγμα είναι το Inkerman D'Lux στην Αυστραλία (Goddard, 2006). Τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης κοινοτικής κλίμακας απαιτούν λιγότερες υποδομές από τα κεντρικά συστήματα και έχουν αυξημένα οφέλη μέσω μεγαλύτερης εξοικονόμησης νερού συγκριτικά με τα μεμονωμένα συστήματα, επομένως έχουν τη δυνατότητα να είναι πιο οικονομικά βιώσιμα.

Σύμφωνα με τους Harnett et al. (2009), τα μεμονωμένα οικιακά συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού δεν αποτελούν τον πιο βιώσιμο τρόπο εφαρμογής της επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού. Προτείνουν ότι τα συστήματα οικιακής επαναχρησιμοποίησης σε κλίμακα συμπλέγματος (cluster scale) παρέχουν μια σημαντικά πιο βιώσιμη λύση από τα μεμονωμένα συστήματα που βασίζονται σε κριτήρια εκτίμησης κόστους και ενέργειας. Το γκρίζο νερό διαμοιράζεται σε πολλά σπίτια και μπορεί στη συνέχεια να εξοικονομηθεί περισσότερο νερό μέσω αυτού του συστήματος. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνικές αστοχίες των κοινόχρηστων συστημάτων έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο καθώς θα επηρεαστούν περισσότεροι άνθρωποι, ωστόσο είναι μικρότερης συχνότητας.

3.7 Στοιχεία του συστήματος ανακύκλωσης γκρίζου νερού

Γενικά, τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού μπορούν να αποτελούνται από διάφορα στοιχεία, ορισμένα ειδικά για την ανακύκλωση γκρίζου νερού και άλλα που σχετίζονται με

τα κτίρια στα οποία λειτουργούν. Γενικά τα συστήματα γκρίζου νερού μπορεί να περιέχουν τα ακόλουθα στοιχεία (CIRIA, 2001):

- Σωληνώσεις συλλογής και διανομής
- Δεξαμενή συλλογής
- Φίλτρα
- Μονάδα επεξεργασίας
- Μονάδες απολύμανσης
- Αντλία και συναφή εξαρτήματα
- Δεξαμενή αποθήκευσης
- Εφεδρική παροχή νερού
- Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου/διαχείρισης.

3.7.1 Σωληνώσεις συλλογής και διανομής

Οι σωληνώσεις συλλογής είναι το δίκτυο σωληνώσεων που χρησιμοποιείται για την παροχή γκρίζου νερού από τις πηγές στις δεξαμενές συλλογής ή, σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, απευθείας στον τελικό χρήστη. Οι σωληνώσεις διανομής απαιτούνται για τη μεταφορά νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης στο σημείο χρήσης. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαθέσιμων σωλήνων που είναι κατάλληλοι για αυτό το σκοπό. Καθώς το γκρίζο νερό περιέχει υψηλά επίπεδα αλάτων (π.χ. θειικά και χλωριούχα άλατα) που μπορεί να αποδειχθούν διαβρωτικά, δεν συνιστώνται σωλήνες χαλκού και γαλβανισμένου χάλυβα. Γενικά οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται είναι PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο) χαμηλής πίεσης (για σωληνώσεις συλλογής), PVC υψηλής πίεσης (για σωληνώσεις διανομής) ή πλαστικοί σωλήνες αποβλήτων ABS (ακρυλονιτρίλιο, βουταδιένιο, στυρόλιο) (CIRIA, 2001). Αυτοί οι σωλήνες είναι μακράς διάρκειας και συνήθως έχουν περίπου 20 χρόνια ζωής εάν εγκατασταθούν σωστά (Leggett et al., 2001a; Roebuck, 2007). Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή διασταυρούμενων συνδέσεων ανακυκλωμένου νερού και των κεντρικών σωληνώσεων νερού κατά την εγκατάσταση ή μεταγενέστερες εργασίες σε ακίνητα (όπως συνέβη στο Άμστερνταμ όπου μολύνθηκαν πολλοί άνθρωποι και στη συνέχεια η χρήση του ανακυκλωμένου νερού ήταν περιορισμένη).

3.7.2 Δεξαμενή συλλογής

Καθώς η παραγωγή και η ζήτηση γκρίζου νερού ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας, η ύπαρξη δεξαμενής αποθήκευσης είναι απαραίτητη για τη λειτουργία αυτού του συστήματος. Ένα από τα ζητήματα που μπορεί να ευνοούν τα συστήματα γκρίζου νερού για κατοικίες είναι ότι η δεξαμενή συλλογής είναι σχετικά μικρή (με βάση τις ημερήσιες απαιτήσεις παροχής), καθώς η παροχή δεν εξαρτάται από τις εποχικές διακυμάνσεις ή τα φυσικά φαινόμενα όπως οι δεξαμενές αποθήκευσης βρόχινου νερού και επιτυγχάνει βελτιωμένο συγχρονισμό προσφοράς και ζήτησης.

Η χωρητικότητα της δεξαμενής γκρίζου νερού μπορεί να εκτιμηθεί συγκρίνοντας την προσφορά και τη ζήτηση γκρίζου νερού κατά την τελική χρήση (Ghisi & Ferreira, 2007). Η δεξαμενή πρέπει να έχει διαστάσεις ώστε να αποθηκεύει τον ελάχιστο όγκο μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης γκρίζου νερού. Η δεξαμενή δεν χρειάζεται να αποθηκεύει περισσότερο γκρίζο νερό από την ποσότητα της ημερήσιας ζήτησης και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το γκρίζο νερό δεν πρέπει να αποθηκεύεται περισσότερο από 48 ώρες και κατά προτίμηση 24 ώρες (Dixon, 1999). Το κόστος εγκατάστασης και αγοράς της δεξαμενής σχετίζεται με τη χωρητικότητά της (Fewkes, 1999) και γι' αυτό είναι σημαντικό να επιλέγεται μια δεξαμενή με τον κατάλληλο όγκο.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης διατίθενται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη και μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορα υλικά (π.χ. πλαστικό ενισχυμένο με γυαλί (glass-reinforced plastic-GRP), πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο, σκυρόδεμα, σιδηροτσιμέντο (ferrocement), τούβλα και χάλυβας) (Leggett et al., 2001b; BSI, 2010). Γενικά, τα υλικά κατασκευής των δεξαμενών θα πρέπει να προέρχονται από υδατοστεγείς κατασκευές χωρίς να ευνοούν την ανάπτυξη μικροβίων (BSI, 2010). Στον ανεπτυγμένο κόσμο η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη συσκευή αποθήκευσης είναι η υπόγεια δεξαμενή (Hassell, 2005). Αν και οι υπέργειες δεξαμενές είναι ιδιαίτερα οικονομικά αποδοτικές για περιπτώσεις ανακατασκευής (retrofit cases) και χρησιμοποιούνται ευρέως σε χώρες όπως η Αυστραλία. Η υπόγεια εγκατάσταση δεξαμενών παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων όπως η αποτροπή της ανάπτυξης φυκών προστατεύοντας τη δεξαμενή από το φως της ημέρας (Konig, 2001), προστασία της δεξαμενής από ακραίες καιρικές συνθήκες στην επιφάνεια (π.χ. παγετός) (Leggett et al., 2001b) και βοηθά στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού στη δεξαμενή, διατηρώντας το δροσερό και περιορίζοντας την ανάπτυξη βακτηρίων (Fewkes & Tarran, 1992). Ωστόσο, θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη ο κίνδυνος

μόλυνσης των υπόγειων υδάτων από αστοχία της δεξαμενής γκρίζου νερού (διαρροή), ιδίως όταν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι υψηλός (CIRIA, 2001). Η χρήση συσκευών αποθήκευσης εκτός των υπόγειων δεξαμενών φαίνεται να είναι περιορισμένη (Roebuck, 2007).

3.7.3 Φίλτρα

Το γκρίζο νερό απαιτεί ισχυρή διήθηση λόγω της παρουσίας σαπουνιών, λίπους, τριχών και σωματιδίων σε αυτόν τον τύπο υγρών αποβλήτων. Η διήθηση συνδράμει στη μείωση της συσσώρευσης ύλους στη δεξαμενή συλλογής μειώνοντας το φορτίο των αιωρούμενων σωματιδίων, μειώνει τα ρυπαντικά φορτία και βελτιώνει την καθαρότητά του και μειώνει τις πιθανότητες απόφραξης των σωληνώσεων και έμφραξης (fouling) των μεμβρανών. Υπάρχουν δύο τύποι φίλτρων στην αγορά: φίλτρο απορρόφησης λεπτών σωματιδίων (fine filtration) και χονδροειδή φίλτρα (coarse filtration). Η χονδροειδής διήθηση εφαρμόζεται συνήθως πριν (ή μέσα) στις δεξαμενές συλλογής και υπάρχουν δύο τύποι φίλτρων: αυτά που καθαρίζονται χειροκίνητα και τα αυτοκαθαριζόμενα φίλτρα. Το γκρίζο νερό που εξέρχεται από αυτό το φίλτρο είναι θολό (Butler & Memon, 2006). Εάν το φίλτρο είναι πολύ χονδροειδές, μπορεί να περάσουν υπολείμματα μέσα από αυτό, με αποτέλεσμα η αντλία να εργάζεται πιο σκληρά μειώνοντας τη διάρκεια ζωής της και, πιθανώς, προκαλώντας την καύση της ή μπορεί να προκαλέσει βλάβη στις βαλβίδες κατάντη (downstream valves) και ενδεχομένως να θέσει σε κίνδυνο την τελική ποιότητα του νερού μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Γενικά τα φίλτρα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμα για την αντικατάσταση ή τον καθαρισμό του στοιχείου ή του μέσου (Thomas & Martinson, 2007).

3.7.4 Μονάδες απολύμανσης

Το τελικό στάδιο της επεξεργασίας συνίσταται συχνά στην απολύμανση. Δεδομένου ότι τα βακτήρια μπορούν να πολλαπλασιαστούν γρήγορα σε επικίνδυνα επίπεδα εάν δεν ελεγχθούν, συνίσταται απολύμανση για τα συστήματα γκρίζου νερού (Winward et al. 2008). Η απολύμανση εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση τυχόν μικροβιακής μόλυνσης σε όλα τα συστήματα γκρίζου νερού εκτός από την υπόγεια άρδευση. Η μέθοδος απολύμανσης εξαρτάται από την τελική χρήση του νερού. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τρεις τύποι μεθόδων απολύμανσης που προτείνονται από τη Building Services Research and

Information Association (BSRIA) με τα σχετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Εάν το γκρίζο νερό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε καζανάκι, πρέπει να απολυμανθεί με κάποιο τρόπο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ασθένειες που μεταφέρονται από μη επεξεργασμένο γκρίζο νερό μπορούν να μεταδοθούν μέσω πιτσιλίσματος, άλλης επαφής με τον άνθρωπο και διασταυρούμενης μόλυνσης με την κύρια παροχή πόσιμου νερού.

Πίνακας 3.2 Διαφορετικοί τύποι μεθόδων απολύμανσης.

Μέθοδος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Χλωρίωση	Πολύ ισχυρή και ταχεία δράση. Κατάλληλη για επεξεργασία στο σημείο εισόδου.	Μπορεί να αντιδράσει με κάποιο οργανικό υλικό στο νερό από οξέα που μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση των μεταλλικών εξαρτημάτων. Επομένως, δεν είναι κατάλληλο για οικιακή κλίμακα. Υπάρχει σύνδεση μεταξύ του ρυθμού δοσολογίας και του όγκου του νερού. Μικρότερο κόστος από άλλες μεθόδους.
Υπεριώδη ακτινοβολία	Επιτυγχάνει πολύ υψηλό ποσοστό θανάτωσης υδατογενών βακτηρίων και ιών, ευκολία στη χρήση, καμία χημική απαίτηση, καμία επίδραση στα χημικά χαρακτηριστικά, κανένας κίνδυνος από υπερβολική χρήση	Χωρίς υπολειμματικό αποτέλεσμα (No residual effect). Το νερό πρέπει να έχει πολύ χαμηλό BOD και θολότητα, απαιτώντας τη χρήση λεπτών φίλτρων, κατανάλωση ενέργειας, Αυξάνει το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας του συστήματος, απαιτεί αντικατάσταση κάθε έξι μήνες
Όζον	Επιτυγχάνει ταχεία θανάτωση. αποτελεσματικό έναντι πολλών μικροοργανισμών. Ανάγεται σε οξυγόνο. Μπορεί να παραχθεί in situ	Έλλειψη υπολειμμάτων, δεν είναι πολύ αποτελεσματικό σε ένα ανοιχτό σύστημα. Το θολό νερό μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα

Πηγή: McGhee, 1991; BSRIA, 1997; Leggett et al., 2001b; Shaffer et al., 2004; Butler & Memon, 2006; Parsons & Jefferson, 2006; Roebuck, 2007.

3.7.5 Αντλίες

Όταν το σύστημα δεν διανέμει το γκρίζο νερό με χρήση της βαρύτητας, πρέπει να χρησιμοποιείται μια αντλία για να διασφαλίζεται η συνεχής διαθεσιμότητά του. Συνήθως, στα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού, οι αντλίες χρησιμοποιούνται είτε για την

άντληση επεξεργασμένου γκρίζου νερού στο σημείο χρήσης (άμεσα συστήματα) είτε σε δεξαμενή κεφαλής (header tank) που βρίσκεται τουλάχιστον 1 m πάνω από το σημείο χρήσης (έμμεσα συστήματα). Οι αντλίες πρέπει να διαστασιολογούνται κατάλληλα, ώστε κάθε αντλία να μπορεί να υπερνικήσει τη στατική ανύψωση καθώς και τις απώλειες τριβής στις σωληνώσεις και τις βαλβίδες. Για την επιλογή της κατάλληλης αντλίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής: χρήση ενέργειας και θόρυβος, αποφυγή αέρα (και σπηλαίωσης) στο σύστημα (BSI, 2010).

3.7.6 Δεξαμενή αποθήκευσης

Απαιτείται δεξαμενή αποθήκευσης για τη συλλογή γκρίζου νερού μετά την επεξεργασία. Ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης είναι συνήθως μικρότερος από τη δεξαμενή συλλογής. Θα πρέπει να τοποθετείται σε πατάρι και μακριά από πηγές θερμότητας. Το νερό στη δεξαμενή δεν πρέπει να αποθηκεύεται για περισσότερο από 24 ώρες, καθώς η συγκέντρωση του υπολειμματικού απολυμαντικού μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Η δεξαμενή θα διαθέτει έναν διακόπτη υψηλής στάθμης ή άλλο μέσο για τη διακοπή της αντλίας της δεξαμενής συλλογής όταν είναι γεμάτη και έναν διακόπτη χαμηλής στάθμης (ή βαλβίδα πλωτήρα) για την παροχή νερού από το δίκτυο όταν η δεξαμενή συλλογής είναι άδεια.

3.7.7 Εφεδρική παροχή νερού

Πρέπει να παρέχεται μια γραμμική συμπληρωματικής παροχής από το δίκτυο για την εξυπηρέτηση της δεξαμενής σε περίπτωση αντιμετωπιζόμενης έλλειψης επεξεργασμένου γκρίζου νερού. Το γκρίζο νερό δεν εξαρτάται από εποχές ή συναφή γεγονότα, αλλά μερικές φορές η παροχή γκρίζου νερού δεν επαρκεί για να καλύψει τη ζήτηση (συνήθως σε γραφεία και εμπορικά κτίρια). Επομένως είναι σκόπιμο να υπάρχει μια διάταξη συμπλήρωσης που να μπορεί να παρέχει αρκετό νερό από το δίκτυο για να το καλύψει (Woods-Ballard, 2007). Εάν η δεξαμενή αποθήκευσης πρόκειται να εφοδιαστεί με παροχή νερού από το δίκτυο, πρέπει να είναι εφοδιασμένη με κατάλληλη διάταξη κενού αέρα μεταξύ της στάθμης υπερχειλίσης και της κύριας εισόδου νερού και μια απεριόριστη υπερχειλίση για να αποτρέψει τη στάθμη του νερού στη δεξαμενή να φτάσει στην είσοδο του δικτύου υπό συνθήκες βλάβης, αν και υπάρχει αναρρόφηση από το δίκτυο (απαίτηση των κανονισμών για τα εξαρτήματα νερού -WRAS, 1999).

3.7.8 Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου/διαχείρισης

Πολλά υφιστάμενα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού διαθέτουν ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου και διαχείρισης. Οι ηλεκτρονικοί έλεγχοι θα προσθέσουν κόστος και επιπλέον κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα, αλλά είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται για να υπάρχει οπτικός έλεγχος του συστήματος (π.χ. αναφορά αποτυχίας απολύμανσης, απόφραξη φίλτρου, βλάβη αντλίας, στάθμη νερού στη δεξαμενή) (Konig, 2001). Έχουν πεπερασμένη διάρκεια ζωής και πιθανότατα θα χρειαστούν αντικατάσταση μετά από 15-20 χρόνια (Roebuck, 2007).

3.8 Εμπόδια στην υιοθέτηση συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού

Στη βιβλιογραφία επισημάνθηκαν αρκετά εμπόδια για την υιοθέτηση των συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού, τα οποία αναφέρονται ως εξής:

- Κόστος συστήματος: Το κύριο εμπόδιο στην ευρεία χρήση αυτών των συστημάτων είναι η οικονομική σκοπιμότητα (Jeppesen, 1996; BSRIA, 1997; Leggett & Shaffer, 2002; Memon et al., 2005; Zhang et al., 2009). Η σχέση κόστους/οφέλους της χρήσης γκρίζου νερού είναι σε μεγάλο βαθμό αναπόδεικτη και οι άνθρωποι δεν είναι πεπεισμένοι ότι θα πάρουν πίσω τις δαπάνες τους μέσω των μειωμένων λογαριασμών νερού (Leggett, 2001).
- Πρότυπα ποιότητας νερού και ανησυχίες για την υγεία: Πιθανώς η κύρια ανησυχία με τέτοια συστήματα είναι αποτέλεσμα των πιθανών επιπτώσεων στην υγεία από τη χρήση γκρίζου νερού. Υπάρχει μια μεγάλη πρόκληση για την εμπιστοσύνη της κοινότητας στην αξιοπιστία του συστήματος ανακύκλωσης γκρίζου νερού. Η έλλειψη κατάλληλων προτύπων βάσει των οποίων μπορούν να αξιολογηθούν τα συστήματα αφήνει αβεβαιότητα σχετικά με τους κινδύνους για την υγεία που μπορεί να ενέχουν. Το πραγματικό ερώτημα είναι "Πόσο η χρήση του συστήματος γκρίζου νερού αυξάνει τον κίνδυνο (ασθένεια) σε σύγκριση με έναν κανονικό τρόπο ζωής με νερό του δικτύου;"
- Δημόσια αντίληψη: Η ζήτηση για αυτό το νερό εξαρτάται από την αποδοχή του γκρίζου νερού (Asano & Mills, 1990). Η απόφαση για ευρύτερη υιοθέτηση του συστήματος γκρίζου νερού έχει να κάνει περισσότερο με την αντίληψη παρά με τον κίνδυνο που σχετίζεται με την υγεία. Η πιθανότητα μόλυνσης είναι σχετικά χαμηλή, η πιθανότητα θανάτου εξαιτίας αυτής της μόλυνσης είναι μικρότερη και σημαντικά μικρότερη από τον θάνατο ενός ατόμου που οδηγεί αυτοκίνητο.

- Περιεχόμενο γκρίζου νερού: Το γεγονός ότι πρέπει να ληφθεί μέριμνα σχετικά με το τι εισέρχεται στο γκρίζο νερό στην πηγή μπορεί να αποτελέσει άλλο ένα εμπόδιο για την εφαρμογή. Καθώς αυτό εξαρτάται από τη συμπεριφορά των χρηστών, η οποία τελικά είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί νομοθετικά.
- Απαιτήσεις επεξεργασίας: Ανάλογα με την τελική χρήση του ανακυκλωμένου γκρίζου νερού, ενδέχεται να απαιτείται σχετικά υψηλό επίπεδο επεξεργασίας και έτσι τόσο το κόστος που προκύπτει όσο και οι υψηλές απαιτήσεις συντήρησης θα μπορούσαν να περιορίσουν τη χρήση των συστημάτων.
- Απόκριση των εταιρειών ύδρευσης: Ένα πιθανό εμπόδιο στη χρήση του συστήματος γκρίζου νερού μπορεί να είναι οι επακόλουθες αλλαγές στον όγκο και τη συγκέντρωση των εκροών λυμάτων στην αποχέτευση (Bertrand, 2008). Ως εκ τούτου, ενδέχεται να υπάρξουν ανάλογα με τις συγκεκριμένες τοπικές συνθήκες, θετικές ή αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας (BSRIA, 1997).
- Έλλειψη καθοδήγησης για το σύστημα: Η χαμηλή πρόσληψη γκρίζου νερού στο πρόσφατο παρελθόν, αποδόθηκε εν μέρει σε έλλειψη καθοδήγησης για τους ειδικούς και τους σχεδιαστές. Καμία καθοδήγηση δεν εξετάζει τα στοιχεία του συστήματος και δεν βοηθά στον λεπτομερή σχεδιασμό. Επί του παρόντος, όπου δεν υπάρχει επίσημη ρύθμιση για τη συντήρηση, είναι συχνά ευθύνη του ιδιοκτήτη ή του ενοίκου του κτιρίου να αναλάβει τη συντήρηση. Καθώς η πλειονότητα των συστημάτων απαιτεί συνεχή συντήρηση, μια παράλειψη σε αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα με την ποιότητα του νερού ή/και την παροχή νερού από το σύστημα και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος (Leggett & Shaffer, 2002).

3.9 Σύστημα ανακύκλωσης γκρίζου νερού και αξιολόγηση βιωσιμότητας

Στην έκθεση των επιτροπών Brundtland, η βιωσιμότητα ορίζεται ως «η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες» (WCED, 1987). Σύμφωνα με τους Ujang & Henze (2006) το βιώσιμο σύστημα υγιεινής ορίζεται ως «ένα σύστημα υγιεινής, το οποίο είναι τεχνικά διαχειρίσιμο, κοινωνικοπολιτικά κατάλληλο, συστηματικά αξιόπιστο, οικονομικά προσιτό που χρησιμοποιεί ελάχιστες ποσότητες ενέργειας και πόρων με τις ελάχιστες αρνητικές επιπτώσεις και ανάκτηση χρήσιμων ουσιών».

Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αποκαλύπτει ότι οι δείκτες για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των συστημάτων υγιεινής μπορούν γενικά να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες: οικονομική σκοπιμότητα, δημόσια υγεία, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κοινωνικο-πολιτισμικές και τεχνικές επιδόσεις (Balkema et al., 2002; Lundin & Morrison, 2002).

Η ανακύκλωση γκρίζου νερού ως σύστημα υγιεινής μπορεί να συμβάλει στους πόρους βιωσιμότητας μειώνοντας τη ζήτηση νερού μέσω της χρήσης νερού περισσότερες από μία φορές. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα απαιτούν υλικά για την κατασκευή (π.χ. δεξαμενές, σωληνώσεις, κ.λπ.) και τη λειτουργία (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια για την άντληση, χημικά, κ.λπ.), τα οποία περιέχουν ενσωματωμένη ενέργεια και χρησιμοποιούν άμεσα πόρους. Το οικονομικό θεωρείται ως ένα άλλο σημαντικό ζήτημα βιωσιμότητας για αυτό το σύστημα. Τα οικονομικά των συστημάτων γκρίζου νερού αναγνωρίστηκαν ως ένα από τα κύρια ζητήματα στην ευρεία υιοθέτηση αυτού του συστήματος. Εάν το κόστος κατασκευής και λειτουργίας των συστημάτων γκρίζου νερού είναι μεγαλύτερο από το κόστος του δικτύου ύδρευσης, τότε δεν αποτελούν οικονομικά βιώσιμη λύση για την προσφορά και τη ζήτηση νερού (Leggett & Shaffer, 2002).

Υπάρχουν λίγα παραδείγματα στη βιβλιογραφία που αξιολογούν τη βιωσιμότητα των συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού. Για αυτή την ανάλυση χρησιμοποιούνται συχνά μεμονωμένοι ή πολλαπλοί δείκτες. Ωστόσο, οι αξιολογήσεις του κόστους λειτουργίας και συντήρησης δεν έχουν ληφθεί δεόντως υπόψη.

Οι περισσότερες από τις αξιολογήσεις βιωσιμότητας για το σύστημα γκρίζου νερού στη βιβλιογραφία επικεντρώνονται στην ποιότητα του νερού, τη δυνατότητα εξοικονόμησης νερού και/ή το κόστος του συστήματος χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η λειτουργία και η συντήρηση, η ενσωματωμένη ενέργεια, ο αντίκτυπος της συμπεριφοράς των χρηστών, η αλλαγή τεχνολογίας και τα ποσοστά πληρότητας.

3.10 Βιβλιογραφικά κενά που καλύπτει η παρούσα έρευνα

Για τον έλεγχο της χρήσης του νερού και τη βελτίωση της διατήρησης των υδάτινων πόρων έχουν αναπτυχθεί, δοκιμαστεί και εφαρμοστεί πολλές τεχνικές και τεχνολογίες. Αυτές πρέπει να εφαρμοστούν ως πρωταρχικό βήμα προς την αειφόρο χρήση του νερού.

Τα έργα ανακύκλωσης γκρίζου νερού έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τη ζήτηση σε ευαίσθητα υδάτινα συστήματα υποκαθιστώντας γκρίζο νερό για μη πόσιμους σκοπούς (Dimitradis, 2005). Επιπλέον, μειώνουν το κόστος ανάπτυξης νέων αποθεμάτων νερού, μειώνουν τον όγκο των υγρών αποβλήτων και μειώνουν τον κίνδυνο πλημμύρας των υπονόμων, κατά τη διάρκεια καταιγίδων (Bertrand, 2008; Penn et al., 2013), μειώνουν την απόρριψη ρύπων στο περιβάλλον, παρέχουν νερό για την εξυπηρέτηση ποικίλων ωφέλιμων χρήσεων (Atwater, 1998) και παρέχουν τακτικές προμήθειες χωρίς να εξαρτώνται από εξωτερικά φαινόμενα και εποχιακές διακυμάνσεις στον όγκο του νερού (Zhang et al., 2010). Ωστόσο, τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού έχουν επί του παρόντος χαμηλότερο επίπεδο αποδοχής από τα συστήματα βρόχινου νερού, λόγω κακής αισθητικής ποιότητας νερού (θολότητα), κόστους (υψηλή περίοδος απόσβεσης), έλλειψης επιλογής συστημάτων, ζητημάτων συντήρησης, ασαφών δυνατοτήτων εξοικονόμησης νερού και ανησυχίας για τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις.

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας καταδεικνύει ότι οι περισσότερες από τις μελέτες για τα συστήματα ανακύκλωσης γκρίζου νερού επικεντρώνονται στην απόδοση των υφιστάμενων συστημάτων σε μεμονωμένες κλίμακες. Πολύ λίγες μελέτες αφορούσαν την τεχνική απόδοση των συστημάτων γκρίζου νερού (π.χ. ικανοποίηση των απαιτήσεων χωρητικότητας, ευκολία λειτουργίας και συντήρησης), γεγονός που φαίνεται να αποτελεί ένα από τα εμπόδια για την ευρεία υιοθέτηση αυτού του συστήματος. Επιπλέον, υπάρχει έλλειψη βιβλιογραφίας σχετικά με τη βελτίωση της βιωσιμότητας των συστημάτων ανακύκλωσης γκρίζου νερού μέσω της βελτίωσης της τεχνικής απόδοσης.

Η παρούσα εργασία θα αποτελέσει έναν χρήσιμο οδηγό για τους υπεύθυνους φορείς ή άλλους οργανισμούς που ενδιαφέρονται να εφαρμόσουν το σύστημα ανακύκλωσης γκρίζου νερού ως μέρος της βιώσιμης διαχείρισης των αστικών υδάτων.

4. Ανακύκλωση γκρίζου νερού

4.1 Σημασία και αντίκτυπος

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού σε μεγάλη κλίμακα είναι μια αρκετά νέα ιδέα. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι σε μικρότερη κλίμακα, οι αρχαίοι Ρωμαίοι έκαναν περιθώρια στην υποδομή ύδρευσης για την επαναχρησιμοποίηση οικιακών λυμάτων για μη πόσιμη χρήση (Monteleone et al., 2007). Ενώ η σημασία του πόσιμου νερού καλής ποιότητας έχει αναγνωριστεί από την αρχαιότητα, η σημασία της σωστής απολύμανσης για την προστασία της δημόσιας υγείας δεν ήταν πλήρως κατανοητή από τον αστικό πληθυσμό μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα (Vuorinen et al., 2007).

Για αιώνες, τα οικιακά λύματα στα περισσότερα μέρη του κόσμου απορρίπτονταν στους δρόμους και γύρω από κατοικημένες περιοχές χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδρασή τους (Lofrano & Brown, 2010). Ως αποτέλεσμα, υπήρξαν σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία και στο περιβάλλον, κάτι που είναι εμφανές από τις πολυάριθμες επιδημίες που εμφανίστηκαν παγκοσμίως. Τέτοιες επιδημίες εξακολουθούν να επικρατούν σε ορισμένα μέρη του κόσμου όπως η Αϊτή, η Νότια Ασία και ορισμένες περιοχές της Αφρικής (Wickstead, 2011). Είναι προφανές ότι η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού από τον 20ο αιώνα είναι απλώς μια εκ νέου ανακάλυψη αρχαίων αστικών πρακτικών, που επικαιροποιήθηκαν από την πρόοδο στις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες επεξεργασίας.

Η όλη ιδέα πίσω από την ανακύκλωση του γκρίζου νερού είναι ότι το νερό που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί μία φορά για μια οικιακή δραστηριότητα, αντί να επιστρέφεται στην αποχέτευση, επαναχρησιμοποιείται για άλλη οικιακή δραστηριότητα. ή γεωργική εφαρμογή που δεν απαιτεί τη χρήση πόσιμου νερού (Jamrah et al., 2006; Al-Jayyousi, 2003; Eriksson et al., 2002; Nolde, 2000). Ως εκ τούτου, η ανακύκλωση του γκρίζου νερού έχει τη δυνατότητα να επεκτείνει την υπάρχουσα παροχή νερού μειώνοντας τη ζήτηση για πόσιμο νερό, μειώνοντας την ανάγκη για νέες υποδομές παροχής νερού (Atwater, 1998).

Η πηγή του γκρίζου νερού και το επίπεδο επεξεργασίας καθορίζουν τους περιορισμούς επαναχρησιμοποίησης. Για παράδειγμα, το γκρίζο νερό από τα μπάνια είναι λιγότερο μολυσμένο από το γκρίζο νερό των ρούχων. Το γκρίζο νερό από ένα επαγγελματικό μπάνιο μπορεί να είναι λιγότερο μολυσμένο από αυτό από ένα μπάνιο κατοικιών. Ως εκ τούτου, για παρόμοιο σκοπό επαναχρησιμοποίησης, το γκρίζο νερό που προέρχεται από ένα μπάνιο

κατοικιών θα απαιτούσε πιο εντατική επεξεργασία από το γκρίζο νερό που προέρχεται από ένα επαγγελματικό μπάνιο.

Σε ορισμένα αγροτικά μέρη του κόσμου, είναι κοινή πρακτική η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού που αντλείται από το μπάνιο και το πλύσιμο χωρίς καμία επεξεργασία. Ωστόσο, η επεξεργασία είναι απαραίτητη στις περισσότερες περιπτώσεις για την πρόληψη κινδύνων για την υγεία και περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Diaper et al., 2001).

Η άρδευση είναι η πιο κοινή εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης ανακυκλωμένου γκρίζου νερού. Το μη επεξεργασμένο γκρίζο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για υποεπιφανειακή άρδευση ή να εφαρμοστεί απευθείας στο έδαφος και όχι μέσω ψεκαστήρα. Αυτό γίνεται για να μειωθεί η πιθανότητα μη επεξεργασμένης απορροής γκρίζου νερού στα ποτάμια καθώς και η άμεση επαφή με το κοινό. Το γκρίζο νερό που περιέχει χλωρίνη και αυτά που προέρχονται από την κουζίνα, το πλυντήριο πιάτων και το πλυντήριο ρούχων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πότισμα λόγω της παρουσίας ουσιών (όπως λίπη, λάδι και μαλακτικό υφασμάτων) που μπορεί να έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία των φυτών. Το γκρίζο νερό που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία και/ή απολύμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το ξέπλυμα της τουαλέτας και μπορεί επίσης να επαναχρησιμοποιηθεί για ορισμένες εφαρμογές που περιλαμβάνουν ανθρώπινη επαφή, όπως οικιακό καθάρισμα, πλύσιμο αυτοκινήτων και πλύσιμο ρούχων. Ωστόσο, το ανακυκλωμένο γκρίζο νερό που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν ανθρώπινη επαφή πρέπει να αντιμετωπίζεται με υψηλότερα πρότυπα προκειμένου να ικανοποιούνται οι κυβερνητικές νομοθεσίες.

Αν και η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού προσφέρει πιθανές λύσεις για την έλλειψη νερού τώρα και στο μέλλον, παρουσιάζει επίσης πολλές ανησυχίες για την υγεία και το περιβάλλον. Οι κύριοι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία που συνδέονται με την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού είναι η εισπνοή αερολυμάτων από μη επεξεργασμένο γκρίζο νερό, η άμεση φυσική επαφή με το γκρίζο νερό καθώς και η κατάποση τροφής που έχει έρθει σε επαφή με το γκρίζο νερό, ειδικά κατά την άρδευση. Το επίπεδο των κινδύνων μπορεί να ελεγχθεί με την επεξεργασία του γκρίζου νερού για τη μείωση της ποσότητας του μικροοργανισμού που προκαλεί ασθένειες σε ασφαλές επίπεδο, ακολουθούμενη από απολύμανση καθώς και με τη διαχείριση των μεθόδων εφαρμογής επαναχρησιμοποίησης και προσβασιμότητας του κοινού. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με

την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού έχουν αναγνωριστεί εδώ και καιρό και έχουν ληφθεί μέτρα από ρυθμιστικούς φορείς για την πρόληψη αυτών των κινδύνων.

Την τελευταία δεκαετία έχει διεξαχθεί έρευνα για την αξιολόγηση της πιθανής εξοικονόμησης νερού από την ανακύκλωση του γκρίζου νερού. Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Ghisi & Ferreira (2007) για τη σύγκριση του οικονομικού οφέλους ενός συστήματος ανακύκλωσης γκρίζου νερού και βρόχινου νερού έδειξε ότι το σύστημα ανακύκλωσης γκρίζου νερού είναι πιο αποδοτικό με περίοδο απόσβεσης μικρότερη από 5 χρόνια και συνολική εξοικονόμηση πόσιμου νερού που κυμαίνεται από 28,7% έως 34,8%.

Διαπιστώθηκε ότι η εξοικονόμηση που δημιουργείται από τη χρήση ενός συστήματος ανακύκλωσης γκρίζου νερού υπερτερεί του κόστους που προκύπτει (Mandal et al., 2011; Mourad et al., 2011; Godfrey et al., 2009). Ένα άλλο ενδιαφέρον εύρημα είναι ότι το οικονομικό όφελος ενός συστήματος ανακύκλωσης γκρίζου νερού αυξάνεται με τον αριθμό των χρηστών (Mourad et al., 2011; Friedler & Hadari, 2006). Για παράδειγμα, οι Friedler & Hadari (2006) ανέφεραν ότι η τεχνολογία επεξεργασίας τους έγινε πιο οικονομικά εφικτή όταν το μέγεθος του κτιρίου του δείγματος αυξήθηκε.

4.2 Νομοθεσία για το γκρίζο νερό και απαιτήσεις επεξεργασίας

Το ζήτημα με την επεξεργασία του γκρίζου νερού είναι εάν η ποιότητα του νερού μετά την επεξεργασία είναι κατάλληλη για συγκεκριμένο σκοπό επαναχρησιμοποίησης. Μέχρι πρόσφατα, οι εφαρμογές επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού δεν έλαβαν ιδιαίτερη προσοχή από την κυβέρνηση και τους ρυθμιστικούς φορείς παγκοσμίως. Ως αποτέλεσμα, η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού πραγματοποιείται συχνά χωρίς τις απαιτήσεις ενός ρυθμιστικού πλαισίου. Το διεθνές ενδιαφέρον για τη διατήρηση του νερού και τις εκτεταμένες εφαρμογές του επαναχρησιμοποιούμενου γκρίζου νερού έχει οδηγήσει σε πρόσφατες εκρήξεις στην ανάπτυξη προτύπων και κανονιστικών κωδίκων πρακτικής ειδικά για εφαρμογές επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού. Ωστόσο, οι ρυθμιστικοί φορείς σε ορισμένα μέρη του κόσμου είτε βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης προτύπων επαναχρησιμοποίησης είτε δεν έχουν ακόμη θεσπίσει. Αυτή η ενότητα εξετάζει τους κώδικες πρακτικής επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού σε διάφορα μέρη του κόσμου, τονίζοντας τις απαιτήσεις ποιότητας του επεξεργασμένου γκρίζου νερού.

4.2.1 Αυστραλία

Η επταετής ξηρασία στην Αυστραλία στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και η πρόσφατη έλλειψη νερού σε πολλά μέρη της Αυστραλίας έχει χρησιμεύσει στο να επικεντρωθεί η προσοχή του κοινού στην ανάγκη για μια πιο βιώσιμη χρήση του νερού (Australian Government Department of the Environment, 2010). Αυτός μπορεί να είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους η Αυστραλία, σε σύγκριση με ορισμένα μέρη του κόσμου, φαίνεται να προηγείται στην εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού ως μία από τις βασικές μεθόδους διατήρησης του νερού.

Τον Ιούνιο του 2004, η κυβέρνηση ACT (Australia Capital Territory) κυκλοφόρησε τη στρατηγική «Σκέψου το νερό, πιάξε νερό» με στόχο την αντιμετώπιση της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Αυτή η στρατηγική στοχεύει να επιτύχει 25% μείωση της χρήσης νερού από το δίκτυο μέχρι το 2023. Επιπλέον, η κυβέρνηση ACT στοχεύει επίσης να αυξήσει τη χρήση του ανακτημένου νερού στο 30% έως το 2015 στην Αυστραλία (Act Government Australia, 2008; Geary et al., 2005). Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού υποστηρίζεται ως ένας τρόπος συμβολής στην επίτευξη αυτού του στόχου επαναχρησιμοποίησης.

Η Αυστραλία δεν έχει εθνικό κώδικα πρακτικής που να ρυθμίζει τις πρακτικές επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού, οι Πολιτείες και τα εδάφη έχουν την ευθύνη για τη ρύθμιση τέτοιων πρακτικών. Για παράδειγμα, οι κάτοικοι στη Νέα Νότια Ουαλία που ενδιαφέρονται να εγκαταστήσουν συστήματα γκρίζου νερού χρειάζονται έγκριση από τις τοπικές κυβερνητικές αρχές. Αυτό είναι αρκετά παρόμοιο στη Βικτώρια, όπου οι κάτοικοι πρέπει να επικοινωνήσουν με τις τοπικές αρχές και να υποβάλουν αίτηση. Αποτελεί παράβαση για τους κατοίκους της Δυτικής Αυστραλίας να ξεκινούν την εγκατάσταση μιας συσκευής γκρίζου νερού χωρίς την έγκριση της κυβέρνησης, ενώ στην πρωτεύουσα της Καμπέρα, οι κάτοικοι δεν απαιτούν άδεια του δήμου, αλλά απαιτείται να επιθεωρήσουν τα υδραυλικά μετά την εγκατάσταση.

Η νομοθεσία που καλύπτει την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού καλύπτεται στο Queensland από τον νόμο περί υδραυλικών εγκαταστάσεων (Office of the Queensland Parliamentary Counsel, 2011), στη Βικτώρια από τον νόμο περί προστασίας του περιβάλλοντος και στη Νέα Νότια Ουαλία από τον νόμο για την τοπική αυτοδιοίκηση (Tufvesson, 2009). Άλλα έγγραφα που ορίζουν ελάχιστες απαιτήσεις για την

επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού σε αστικές και αγροτικές πόλεις της Αυστραλίας είναι διαθέσιμα για ακίνητα στην Καμπέρα και τη Δυτική Αυστραλία.

Ο κώδικας πρακτικής της Δυτικής Αυστραλίας προτείνει τρεις μεθόδους επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού: κάδος, συσκευή εκτροπής γκρίζου νερού και συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού. Κάθε μέθοδος επαναχρησιμοποίησης έχει διαφορετική επιτρεπόμενη τελική χρήση και απαίτηση έγκρισης (Government of Western Australia, 2010).

Η απαίτηση ποιότητας επεξεργασμένου νερού στη Δυτική Αυστραλία είναι μικρότερη από 20 mg/l BOD και μικρότερη από 30 mg/l αιωρούμενα στερεά. Εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης όπως το ξέπλυμα της τουαλέτας, το πότισμα και το πλύσιμο ρούχων που είναι πιθανό να οδηγήσουν σε ψεκάσμο απαιτούν πιο εντατική επεξεργασία. Η απαίτηση ποιότητας επεξεργασμένου νερού για αυτόν τον σκοπό επαναχρησιμοποίησης είναι μικρότερη από 10 mg/l BOD, μικρότερη από 10 mg/l αιωρούμενα στερεά και λιγότερο από 1 cfu/100 ml ολικό κολοβακτηρίδιο.

Η απαίτηση ποιότητας επεξεργασμένου γκρίζου νερού που ορίζεται στις οδηγίες επαναχρησιμοποίησης για τις ιδιότητες στην Καμπέρα είναι 20 mg/l BOD και 30 mg/l αιωρούμενα στερεά για περιορισμένες εφαρμογές, όπως η άρδευση υπόγειας επιφάνειας, 20 mg/l BOD, 30 mg/l αιωρούμενα στερεά και 10 cfu θερμοανεκτικά κολοβακτηρίδια/100 ml για απεριόριστες εφαρμογές (Australian Capital Territory, 2007).

4.2.2 ΗΠΑ

Οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής είναι άλλος ένας ηγέτης στις εφαρμογές και τις τεχνολογίες επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού. Ένας από τους λόγους για αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι περίπου το 60% των σπιτιών στις ΗΠΑ δεν είναι συνδεδεμένα με αποχετευτικό σύστημα (Jeppesen, 1994). Ένας άλλος λόγος μπορεί να είναι επειδή ορισμένες περιοχές όπως το Τέξας, η Φλόριντα, η Νότια Καλιφόρνια και η Αριζόνα είναι εξαιρετικά ξηρές και παρουσιάζουν ταχεία αύξηση του πληθυσμού. Αυτές οι περιοχές έχουν διερευνήσει ιδιαίτερα εναλλακτικές και βιώσιμες πηγές νερού.

Τον Αύγουστο του 1989, η Σάντα Μπάρμπαρα της Καλιφόρνια ήταν από τις πρώτες που νομιμοποίησαν την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Η πόλη της Σάντα Μπάρμπαρα δημοσίευσε τις πρώτες κατευθυντήριες γραμμές επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού στις ΗΠΑ τον Μάιο του 1990, οι οποίες περιορίζονται στη χρήση κατοικίας

για μια οικογένεια (Oasis design, 2009). Το έγγραφο αναθεωρήθηκε αργότερα το 1997 για να επιτρέψει τη χρήση για πολλές οικογένειες.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980, η Φλόριντα νομιμοποίησε επίσης την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Η συνολική ικανότητα επαναχρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας οικιακών λυμάτων της Φλόριντα αυξήθηκε κατά 281 τοις εκατό από το 1986 έως το 2001 (Canada Mortgage & Housing Corporation, 2002).

Τον Ιανουάριο του 2001 η Αριζόνα εξέδωσε μια ενιαία άδεια για κάθε σύστημα γκρίζου νερού στην πολιτεία. Αυτή η προσέγγιση υιοθετήθηκε επίσης, από το Νέο Μεξικό τον Μάρτιο του 2003 (Oasis design, 2009). Σύμφωνα με τους κανονισμούς της Αριζόνα, τα συστήματα που παράγουν λιγότερο από 1.515 λίτρα την ημέρα πρέπει να πληρούν μια λίστα βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης και να καλύπτονται από τη γενική άδεια.

Ρυθμιστικοί κώδικες πρακτικής ή οδηγίες έχουν αναπτυχθεί στη Νεβάδα, Νιου Τζέρσεϋ, Νέο Μεξικό, Αριζόνα, Καλιφόρνια, Φλόριντα, Τζόρτζια, Κολοράντο, Μασαχουσέτη, Χαβάη, Γιούτα, Τέξας, Οχάιο, Ουαϊόμινγκ, Βόρεια Καρολίνα, Ουάσιγκτον και Όρεγκον, και συνιστούν την επαναχρησιμοποίηση του νερού ως μέθοδο εξοικονόμησης νερού. Εκτός από το Νέο Μεξικό, τη Γεωργία, το Οχάιο και το Ουαϊόμινγκ, όλες οι άλλες πολιτείες καθορίζουν κατευθυντήριες γραμμές και κανονισμούς για σκοπούς επαναχρησιμοποίησης εκτός από την άρδευση (Environmental Protection Agency, 2004).

4.2.3 Ευρώπη

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), επίσης δεν υπάρχουν πρότυπα που να αφορούν ειδικά την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Ωστόσο, η Οδηγία για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων ρυθμίζει την επεξεργασία των αστικών λυμάτων στην ΕΕ. Το έγγραφο καθορίζει τις υποχρεώσεις επεξεργασίας και καθορίζει την ποιότητα των λυμάτων που απελευθερώνονται στο περιβάλλον (European Commission, 2011).

Στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν θεσπιστεί κώδικες πρακτικής για την επεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Το BS8524-2010 δημοσιεύτηκε από το Βρετανικό Ίδρυμα Προτύπων (British Standards Institution - BSI) τον Ιούνιο του 2010 και παρέχει καθοδήγηση και συστάσεις για το σχεδιασμό, την εγκατάσταση, τη δοκιμή, την τροποποίηση και τη συντήρηση της επαναχρησιμοποίησης του γκρίζου νερού (British Standards Institution, 2010). Το έγγραφο καλύπτει μόνο συστήματα γκρίζου νερού που χρησιμοποιούν νερό που προέρχεται από το μπάνιο για την παροχή μη πόσιμου νερού

επαναχρησιμοποίησης στο Ηνωμένο Βασίλειο. Δεν καταδικάζει απαραίτητα τη χρήση γκρίζου νερού από άλλες οικιακές πηγές. Η καθορισμένη απαίτηση ποιότητας επεξεργασμένου νερού είναι 10 ολικά κολοβακτηρίδια/100 ml και λιγότερο από 10 συγκεντρώσεις θολότητας NTU για απεριόριστες εφαρμογές, ενώ για περιορισμένη εφαρμογή η απαίτηση ποιότητας είναι 1000 ολικά κολοβακτηρίδια/100 ml και θολότητα μικρότερη από 10 NTU. Ωστόσο, η κατευθυντήρια γραμμή δεν προσδιορίζει απαιτήσεις επεξεργασίας για οργανικές ουσίες ή ζήτηση οξυγόνου στο επεξεργασμένο γκρίζο νερό.

Στην Ευρώπη, η Γερμανία βρίσκεται στην πρώτη γραμμή στην ενθάρρυνση της ευρείας επαναχρησιμοποίησης του ανακτημένου νερού. Το 1995 το Γραφείο Κατασκευών και Στέγασης της Γερμανικής Γερουσίας του Βερολίνου (German Berliner Senate Office for Construction and Housing) δημοσίευσε τις πρώτες κατευθυντήριες γραμμές για την επαναχρησιμοποίηση του νερού. Ορίστηκαν παράμετροι για ολικά κολοβακτηρίδια μικρότερα από 100 m/l, κολοβακτηρίδια κοπράνων μικρότερα από 10 m/l και BOD μικρότερο από 5 mg/l (Nolde, 2000). Για άλλες ευρωπαϊκές χώρες, οι κατευθυντήριες γραμμές για την επαναχρησιμοποίηση του νερού είτε δεν υπάρχουν είτε βρίσκονται στο στάδιο της θέσπισης. Ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες που ενδιαφέρονται για την επαναχρησιμοποίηση του νερού συχνά στοχεύουν στην ποιότητα του επεξεργασμένου νερού που περιγράφεται στις Κατευθυντήριες γραμμές της ΕΕ για τα ύδατα κολύμβησης. Για παράδειγμα, η ποιότητα του επεξεργασμένου νερού για το πρώτο επίσημο έργο επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού που ξεκίνησε στο Βερολίνο της Γερμανίας το 1989 ήταν σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές της ΕΕ για τα ύδατα κολύμβησης (Nolde, 2005).

4.2.4 Υπόλοιπες χώρες

Η νομοθεσία για την ανακύκλωση του γκρίζου νερού στην Ασία καλύπτεται από έγγραφα που παρέχονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ). Από τη Συνάντηση των Εμπειρογνομόνων το 1971, ο ΠΟΥ συνειδητοποίησε ότι τα λύματα που θεωρούνταν απαράδεκτα για τη δημόσια υγεία, χρησιμοποιούνται για άρδευση σε πολλές περιοχές χωρίς έγκυρες συστάσεις ή καθοδήγηση. Στη συνέχεια, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) δημοσίευσε τις πρώτες του Οδηγίες επαναχρησιμοποίησης λυμάτων χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς τις κατευθυντήριες γραμμές που ορίστηκαν στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ (World Health Organisation, 1973). Το έγγραφο αποσκοπεί στη διευκόλυνση της

ορθολογικής χρήσης των λυμάτων για γεωργικούς σκοπούς. Παρείχε επίσης, καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο διασφάλισης της προστασίας της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Μια ενδεδειγμένη ανασκόπηση νέων ερευνών και πληροφοριών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα πρότυπα που υιοθετήθηκαν στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ ήταν αδικαιολόγητα περιοριστικά. Ως αποτέλεσμα, το έγγραφο αναθεωρήθηκε και μια δεύτερη έκδοση δημοσιεύτηκε το 1989 (World Health Organisation, 1989). Στο αναθεωρημένο έγγραφο, δόθηκε μεγάλη σημασία στον ποιοτικό έλεγχο των λυμάτων και προτάθηκαν δοκιμές για: κύστεις πρωτόζωων και αυγά ελμινθικών παρασίτων, κολοβακτηρίδια κοπράνων, ιούς, είδη *Clostridium*, χημικές ουσίες και ίχνη οργανικών.

Η τρίτη έκδοση του εγγράφου δημοσιεύθηκε το 2006. Βασίζεται σε νέα στοιχεία για την υγεία που επεκτάθηκαν για να λάβουν υπόψη τη σύγχρονη σκέψη για τη διαχείριση κινδύνου (World Health Organisation, 2006). Η τρίτη έκδοση υπογραμμίζει μόνο τις μικροβιολογικές απαιτήσεις και τις μέγιστες ανεκτές συγκεντρώσεις στο έδαφος διαφόρων τοξικών χημικών ουσιών (με βάση την προστασία της ανθρώπινης υγείας). Δεν γίνεται αναφορά στις φυσικές και οργανικές απαιτήσεις για το επίπεδο ποιότητας. Σύμφωνα με το έγγραφο, η ποσότητα των αυγών *E.coli* και *Helminth* στο επεξεργασμένο γκρίζο νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι μικρότερη από $10^3/100$ ml και 1/1 l αντίστοιχα για απεριόριστη άρδευση και $10^5/100$ ml και 1/1 l αντίστοιχα για περιοριστική άρδευση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι κατευθυντήριες γραμμές που παρέχονται στα έγγραφα περιορίζονται στην επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων μόνο για γεωργικούς και υδατοκαλλιεργητικούς σκοπούς.

4.3 Οικιακά συστήματα επαναχρησιμοποίησης μη πόσιμου νερού παγκοσμίως

Τα προγράμματα οικιακής επαναχρησιμοποίησης για μη πόσιμο περιβάλλον αποτελούνται από τοπικά συστήματα και συστήματα διπλής δικτύωσης. Τοπικά συστήματα είναι εκείνα που λειτουργούν σε μια ενιαία κατοικία ή κτιριακό συγκρότημα. Τα συστήματα διπλού δικτύου είναι εκείνα στα οποία τα λύματα επεξεργάζονται κεντρικά και διανέμονται ως ανακτημένο νερό για χρήσεις χωρίς επαφή, όπως το ξέπλυμα της τουαλέτας και το πότισμα.

Μη πόσιμη επαναχρησιμοποίηση είναι η επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για χρήσεις άλλες από την ανθρώπινη κατανάλωση, όπως άρδευση, έκπλυση τουαλέτας και υδάτινα στοιχεία. Οι ακόλουθες ενότητες περιγράφουν ορισμένα παραδείγματα επαναχρησιμοποίησης μη πόσιμου, οικιακού γκρίζου νερού και υγρών αποβλήτων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο.

4.4 Τοπικά συστήματα

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και η Ιαπωνία αποτελούν τα πιο προβεβλημένα παραδείγματα επαναχρησιμοποίησης νερού μέσω τοπικών συστημάτων.

4.4.1 ΗΠΑ

Η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού στις Ηνωμένες Πολιτείες έχει σχετικά μακρά ιστορία. Το 1977, μια έρευνα των Υγειονομικών Υπαλλήλων της Κομητείας της Καλιφόρνια (Californian County Health Officials) επιβεβαίωσε ότι μεγάλος αριθμός μη εγκεκριμένων συστημάτων λειτουργούσαν ήδη στην πολιτεία, ενώ οι εκτιμήσεις ανέρχονται σε δεκάδες χιλιάδες για ολόκληρη τη χώρα (Milne, 1979). Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού δεν περιλαμβανόταν στους κανονισμούς, και ως εκ τούτου ήταν παράνομη, μέχρι το 1989 (Jeppesen & Solley, 1994).

Μετά από σοβαρές ελλείψεις νερού σε πολιτείες όπως η Καλιφόρνια, η Νότια Αριζόνα και η Φλόριντα, οι αρχές ύδρευσης σε όλη τη χώρα άρχισαν να αναζητούν μεθόδους για την εξοικονόμηση της χρήσης του νερού και την εφαρμογή εναλλακτικών πηγών. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των δυτικών πολιτειών υιοθέτησαν τοπική επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού ως μια τέτοια μέθοδο, και η κομητεία της Σάντα Μπάρμπαρα ήταν η πρώτη που εισήγαγε κανονισμούς για το γκρίζο νερό το 1989 (Jeppesen & Solley, 1994). Δέκα άλλες κομητείες και πόλεις ακολούθησαν αμέσως μετά, μεταξύ 1989 και 1992. Από το 1998, είκοσι δύο από τις δυτικές πολιτείες της Αμερικής επέτρεψαν την άμεση επαναχρησιμοποίηση μη επεξεργασμένου οικιακού γκρίζου νερού για υποεπιφανειακό πότισμα (Emmerson, 1998).

Μια μεγάλη ποικιλία τοπικών συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού λειτουργεί επί του παρόντος σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες. Παραδείγματα περιλαμβάνουν παρτέρια εσωτερικών χώρων (indoor planter beds), λαχανόκηπους, χαρακτηριστικά τοπίου και θερμοκήπια (Lindstrom, 2000).

4.4.2 Ιαπωνία

Η έλλειψη πόσιμου νερού στην Ιαπωνία είχε ως αποτέλεσμα την επαναχρησιμοποίηση του νερού (επεξεργασμένα λύματα) για το ξέπλυμα τουαλέτας, διακοσμητικές λίμνες και σιντριβάνια και πότισμα τοπίου. Αυτό το νερό γενικά προέρχεται από επιτόπιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και, λόγω του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας, περιορίζεται κυρίως σε κτίρια γραφείων και πολυκατοικίες (Thomas et al., 1997; Jeppesen & Solley, 1994; Emmerson, 1998). Η Ιαπωνική κυβέρνηση θέτει μόνο κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα των υγρών αποβλήτων για την επαναχρησιμοποίηση του νερού και η ευθύνη της διαχείρισης για την επαναχρησιμοποίηση στο χώρο του κτιρίου επαφίεται στον ιδιοκτήτη του κτιρίου.

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού σε μονοκατοικίες έχει γενικά τη μορφή τουαλέτας με νιπτήρα ή επαναχρησιμοποίηση του νερού του μπάνιου για το πλύσιμο των ρούχων. Το πιο συνηθισμένο σύστημα επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού είναι μια τουαλέτα με λεκάνη χειρών τοποθετημένη στο πάνω μέρος του καζανιού (η τουαλέτα λεκάνης χειρός), η οποία επιτρέπει στο νερό από το πλύσιμο των χειρών να αποτελεί μέρος του όγκου αναπλήρωσης. Οι τουαλέτες με λεκάνη χειρών φέρονται να είναι εγκατεστημένες στα περισσότερα νέα σπίτια στην Ιαπωνία (Thomas et al., 1997).

4.4.3 Νέα Ζηλανδία

Η τάση στις νέες οικιστικές αναπτύξεις σε περιοχές χωρίς αποχέτευση της Νέας Ζηλανδίας είναι προς την επαναχρησιμοποίηση οικιακών λυμάτων για άρδευση κήπων μετά από επιτόπια επεξεργασία από μονάδα βιολογικού καθαρισμού. Πολλά από τα τοπικά συμβούλια ενθαρρύνουν τώρα τα νοικοκυριά να εγκαταστήσουν ένα Αεριζόμενο Σύστημα Επεξεργασίας Λυμάτων (Aerated Wastewater Treatment System) αντί για μια παραδοσιακή σηπτική δεξαμενή, έτσι ώστε τα λύματα να μπορούν να επεξεργάζονται σε αρκετά υψηλή ποιότητα και να αρδεύονται σε όλο τον κήπο. Οι κανονισμοί απαιτούν αυτά τα συστήματα να συντηρούνται τουλάχιστον μία φορά κάθε τρία χρόνια (Far North District Council, 2004).

4.4.4 Αυστραλία

Η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι μια σχετικά νέα ιδέα στην Αυστραλία. Οι κανονισμοί για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων αναπτύχθηκαν πρόσφατα σε ορισμένες πολιτείες και σε άλλες βρίσκονται επί του παρόντος υπό ανάπτυξη ή εξακολουθούν να είναι ανύπαρκτες. Ως εκ τούτου, η επαναχρησιμοποίηση εξακολουθεί να είναι παράνομη σε πολλά μέρη της χώρας και τα τοπικά συστήματα επαναχρησιμοποίησης δεν είναι σύνηθες φαινόμενο. Ωστόσο, οι αρχές έχουν διαπιστώσει ότι το 20% των νοικοκυριών του Περθ συμμετέχουν σε κάποια μορφή επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού (Anda et al., 1996).

Μικρής κλίμακας, απλές οικιακές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι κοινές σε μη αποχετευόμενες περιοχές της Αυστραλίας και, παρόλο που έχουν σχεδιαστεί και χρησιμοποιούνται για την απόρριψη λυμάτων, το προϊόν αυτών των εγκαταστάσεων είναι γενικά κατάλληλο για υπόγεια άρδευση (Thomas et al., 1997). Ωστόσο, είναι σημαντικό τα συστήματα να συντηρούνται εάν πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί το νερό, διότι η απόρριψη κακής ποιότητας νερού στο περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

4.5 Συστήματα διπλής δικτύωσης

4.5.1 ΗΠΑ

Η Καλιφόρνια και η Φλόριντα είναι δύο από τις πρωτοπόρες πολιτείες ανακύκλωσης νερού στις ΗΠΑ, με περισσότερα από 230 έργα επαναχρησιμοποίησης που λειτουργούν μόνο στην Καλιφόρνια το 2003 (Po et al., 2003). Δύο παραδείγματα έργων επαναχρησιμοποίησης είναι το Πρόγραμμα Ανακύκλωσης Νερού Irvine Ranch (Καλιφόρνια) και το «Project Apricot» στο Altamonte Springs (Φλόριντα).

Το Πρόγραμμα Ανακύκλωσης Νερού του Irvine Ranch είναι ένα έργο ανακύκλωσης πολλαπλών χρήσεων που ξεκίνησε το 1967 με την εισαγωγή ανακυκλωμένου νερού στον τοπικό αγροτικό τομέα για τη μείωση της εξάρτησης της Περιφέρειας από το εισαγόμενο νερό (D'Angelo, 1998). Έκτοτε, το ανακυκλωμένο νερό έχει χρησιμοποιηθεί για σκοπούς όπως η άρδευση καλλιεργειών, γηπέδων γκολφ, πάρκων, σχολικών χώρων, ζωνών πρασίνου, εξωραϊσμό αυτοκινητοδρόμων, άλλες βιομηχανικές χρήσεις και έκπλυση τουαλέτας (Po et al., 2003). Οι ιδιοκτήτες κατοικιών προμηθεύονται επίσης ανακυκλωμένο

νερό για μη πόσιμη χρήση μέσω ενός συστήματος διπλού συστήματος δικτύωσης (Holliman, 1998). Από το 1998, το ανακυκλωμένο νερό αντιπροσώπευε περίπου το 15% των ετήσιων αναγκών της Περιφέρειας σε νερό (Young et al., 1998).

Το «Project Apricot» υποκινήθηκε από την ανάγκη προστασίας των αποθεμάτων πόσιμου νερού του Altamonte Springs. Το έργο παρέχει υψηλής ποιότητας επεξεργασμένα λύματα για όλες τις μη πόσιμες χρήσεις σε κάθε ανεπτυγμένο ακίνητο στην περιοχή εξυπηρέτησης Altamonte Springs έναντι του 40% της τιμής του πόσιμου νερού. Η αναβάθμιση των απαιτούμενων υδραυλικών εγκαταστάσεων σε καθιερωμένες γειτονιές της περιοχής συμπεριλήφθηκε στο έργο και δεν χρεώνονται τέλη σύνδεσης σε οποιαδήποτε δομή που επιθυμεί να συνδεθεί με το σύστημα (Newnham, 1993).

4.5.2 Ιαπωνία

Τα συστήματα διπλής δικτύωσης που διοχετεύουν επεξεργασμένο νερό από κοντινές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων είναι μια εναλλακτική πηγή ανακυκλωμένου νερού για τα τοπικά συστήματα ανακύκλωσης λυμάτων στην Ιαπωνία. Παρόμοια με την τοπική επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού, το νερό που λαμβάνεται από τα συστήματα διπλής δικτύωσης χρησιμοποιείται για έκπλυση τουαλέτας, διακοσμητικές λίμνες, σιντριβάνια και πότισμα (Jeppesen&Solley, 1994).

4.5.3 Σιγκαπούρη

Η Σιγκαπούρη είναι ένα μικρό νησιωτικό κράτος που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γειτονική Μαλαισία για περίπου το 40% της παροχής νερού της για περισσότερα από 40 χρόνια (Onn, 2003). Αυτή η εξάρτηση ήταν πάντα ένα εξαιρετικά ευαίσθητο θέμα και οι πρόσφατες διαφωνίες μεταξύ των δύο χωρών για την τιμή του νερού οδήγησαν τη Σιγκαπούρη να αναζητήσει μια εναλλακτική πηγή για να διασφαλίσει τον μελλοντικό εφοδιασμό της με νερό. Το έργο ανακυκλωμένου νερού NEWater τέθηκε σε λειτουργία το 2002 ως φθηνότερη εναλλακτική λύση σε σχέση με επιλογές όπως η αφαλάτωση (Public Utilities Board, 2004).

Το έργο ξεκίνησε ως ένα έργο έμμεσης επαναχρησιμοποίησης νερού με το ανακυκλωμένο νερό να αναμιγνύεται με το νερό του ταμιευτήρα προτού διοχετευθεί σε βρύσες κατοικιών και γραφείων. Το 2003, το 1% των επεξεργασμένων λυμάτων της χώρας διοχετεύθηκε σε

ταμειυτήρες και η κυβέρνηση σκοπεύει να καλύψει το 2,5% των αναγκών της κομητείας με νερό από το πρόγραμμα NEWater μέχρι το έτος 2011 (Public Utilities Board, 2004).

4.5.4 Αυστραλία

Έργα οικιακής επαναχρησιμοποίησης μη πόσιμου μπορούν να βρεθούν σε κάθε πολιτεία της Αυστραλίας. Δύο παραδείγματα βρίσκονται στην περιοχή ανάπτυξης του Rouse Hill (Σίδνεϊ) και στην Παλμύρα (Περθ).

Το έργο Rouse Hill είναι το μεγαλύτερο οικιακό σύστημα επαναχρησιμοποίησης λυμάτων διπλής δικτύωσης στην Αυστραλία (Po et al., 2003) και ξεκίνησε για να μειώσει την διάθεση ιζημάτων και θρεπτικών ουσιών στο σύστημα ποταμών Hawkesbury/Nepean (Williams, 1997). Από το 2001, οι κάτοικοι της περιοχής τροφοδοτούνται με επεξεργασμένα λύματα για την έκπλυση τουαλέτας, την άρδευση κήπων και την πυρόσβεση (Sydney Water, 2001). Στην Παλμύρα, ένα τμήμα μονάδων ηλικιωμένων ατόμων (Homeswest) επιλέχθηκε για να δοκιμάσει ένα πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης νερού. Το γκρίζο νερό συλλέγεται από τις μονάδες και υφίσταται επεξεργασία από μονάδα βιολογικού καθαρισμού επί τόπου. Τα επεξεργασμένα λύματα χλωριώνονται και αποθηκεύονται σε δεξαμενές για χρήση σε καζανάκια τουαλέτας και στην άρδευση. Το μαύρο νερό συνεχίζει να απορρίπτεται στον κεντρικό αποχετευτικό αγωγό (Bingley, 1994).

4.6 Συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού για κηπουρική

Υπάρχουν επτά μάρκες συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού που είναι επί του παρόντος εγκεκριμένες για χρήση στη Δυτική Αυστραλία (Department of Health, 2004). Είναι επίσης δυνατό να ληφθεί έγκριση για ένα αυτοσχεδιασμένο σύστημα προσαρμοσμένο στις ανάγκες ενός νοικοκυριού. Ο κατάλογος των εγκεκριμένων συστημάτων περιέχει διαμορφώσεις που γενικά επικεντρώνονται στην υπόγεια απόρριψη γκρίζου νερού και αποτελούνται από μια απλή δεξαμενή αποθήκευσης συνδεδεμένη με σωληνώσεις με σχισμές ή τάφρους περίπου 30-40 cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτή η μέθοδος «επαναχρησιμοποίησης» του γκρίζου νερού είναι χρήσιμη μόνο σε μεγαλύτερα φυτά ή δέντρα που έχουν ρίζες αρκετά βαθιά ώστε να έχουν πρόσβαση στο νερό που προέρχεται από σωλήνες ή τάφρους και σε αμμώδη εδάφη το νερό μπορεί να αποστραγγίζεται πολύ γρήγορα για να προσφέρει οποιοδήποτε όφελος στη βλάστηση.

Η «επαναχρησιμοποίηση» γκρίζου νερού για σκοπούς διάθεσης, όπως περιγράφεται παραπάνω, διαφέρει από την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού για σκοπούς άρδευσης. Το γκρίζο νερό για άρδευση αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης και αφήνεται να τρέξει μέσα από υπόγειες γραμμές στάγδην άρδευσης που τοποθετούνται σε παρτέρια κήπου ή κάτω από χλοοτάπητες όταν τα φυτά χρειάζονται νερό. Σε περίπτωση που τα φυτά δεν χρειάζονται πότισμα, όπως μια περίοδο υψηλής βροχόπτωσης, το γκρίζο νερό απλώς υπερχειλίζει στον κεντρικό αγωγό αποχέτευσης (σε περιοχές με αποχέτευση). Αυτό είναι διαφορετικό από εκείνα τα συστήματα που περιγράφηκαν προηγουμένως, επειδή τα φυτά ποτίζονται μόνο όταν απαιτείται, αντί το νερό να τρέχει μέσα από τις τάφρους κάθε φορά που γεμίζει η δεξαμενή.

5. Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού

Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα παραδοσιακά καταναλωτικά πρότυπα εξακολουθούν να βασίζονται κυρίως στην έννοια «take-make-dispose», όπου δεν υπάρχει σχεδιασμός για επαναχρησιμοποίηση πόρων ή αναγέννηση των φυσικών συστημάτων (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Μια καλύτερη προσέγγιση, η οποία σιγά σιγά γίνεται πράξη, είναι η κυκλική οικονομία (Circular Economy - CE). Περιλαμβάνει ένα αναγεννητικό βιομηχανικό σύστημα όπου οι εισροές πόρων και τα απόβλητα, καθώς και κάθε είδους διαρροή, ελαχιστοποιούνται με την επιβράδυνση και το κλείσιμο των βρόχων υλικών και ενέργειας (Geissdoerfer et al., 2015; Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017). Οι Kirchherr et al. (2017) όρισαν την Κυκλική Οικονομία ως «ένα σύστημα που βασίζεται σε επιχειρηματικά μοντέλα που προωθούν τη μείωση, την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την ανάκτηση υλικών που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα, με στόχο την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης». Σε αυτό το κεφάλαιο θα συζητηθούν τα πλεονεκτήματα, οι κίνδυνοι και η νομοθεσία σύμφωνα με την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού, καθώς αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα κυκλικής οικονομίας.

5.1 Πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού

5.1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Ο διαχωρισμός των ρευμάτων οικιακών λυμάτων παρέχει πλεονεκτήματα για τη διαχείριση των λυμάτων επιτρέποντας την ανάκτηση πόρων και το κλείσιμο του βρόχου ανακύκλωσης των θρεπτικών συστατικών (Otterpohl, 2002). Ο διαχωρισμός του γκρίζου νερού από τα οικιακά λύματα παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Το γκρίζο νερό έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει λιγότερα οργανικά, θρεπτικά συστατικά και παθογόνα από τα αστικά λύματα και επομένως, θεωρείται ότι είναι ευκολότερο να υποστεί επεξεργασία για σκοπούς επαναχρησιμοποίησης (Abu Ghunmi et al., 2011; Eriksson et al., 2002; Ghaitidak & Yadav, 2013; Li et al., 2009; Mayer et al., 1999) σε εφαρμογές μη πόσιμου νερού (π.χ. δήθηση, άρδευση, χρήση σε καζανάκι τουαλέτας, νερό πλύσης κ.λπ.) (Hernández Leal et al., 2011). Η ανακύκλωση του γκρίζου νερού έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική στη μείωση της ζήτησης νερού και στη μείωση του συνολικού κόστους για τη διαχείριση των λυμάτων,

καθώς θα υπάρχει μειωμένο φορτίο νερού στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας (Eriksson et al., 2002).

Οι Friedler et al. (2005) κατέδειξαν ότι το έτος 2023 με μονάδες συστημάτων επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού εγκατεστημένες στο 20-30% όλων των κατοικιών, η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού στον αστικό τομέα στο Ισραήλ με προβλεπόμενο πληθυσμό 10 εκατομμυρίων ανθρώπων, θα μπορούσε να εξοικονομήσει έως και 45 εκατομμύρια m³/έτος από το καζανάκι τουαλέτας και έως 10 εκατομμύρια m³/έτος στην άρδευση κήπων. Αυτό ανέρχεται στο 5% περίπου της συνολικής μελλοντικής ζήτησης νερού για αστικές περιοχές στη χώρα και ισούται με τη δυναμικότητα μιας μεσαίου μεγέθους μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

Οι Griggs et al. (1998) προσδιόρισαν την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού για άρδευση, σε χρήση σε καζανάκι (ουρητήρια και τουαλέτα) ως σημαντικά μέτρα εξοικονόμησης νερού, δεδομένου ότι το νερό που χρησιμοποιείται για χρήση σε καζανάκι τουαλέτας σε πολλές χώρες σήμερα είναι ποιότητας πόσιμου νερού (Karpiscak et al., 1990). Η χρήση γκρίζου νερού σε καζανάκι τουαλέτας μπορεί να μειώσει την καθαρή κατανάλωση νερού εντός κατοικίας κατά 40–60 L/PE/d, δηλαδή το 30% της συνολικής κατανάλωσης νερού για τα νοικοκυριά, οδηγώντας σε μείωση της αστικής κατανάλωσης νερού κατά 10-20%, η οποία είναι σημαντική ειδικά σε συνθήκες λειψυδρίας (Bojzoo, 2013).

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού μπορεί να είναι πιο επωφελής σε αστικές περιοχές, όπου απαιτείται ολοκληρωμένη διαχείριση του νερού. Αυτό έχει εφαρμοστεί σε πολλές χώρες (π.χ. ΗΠΑ, Αυστραλία, Ιαπωνία, Σουηδία, Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο, Καναδάς) (Nolde, 1995; Waller et al., 1996; Mustow et al., 1997; Fittschen & Niemczynowics, 1997). Για παράδειγμα, στην Καλιφόρνια, οι Young & Holiman (1990) εντόπισαν 380 οικιστικά σχέδια που επαναχρησιμοποιούσαν απευθείας το γκρίζο νερό για μη πόσιμες χρήσεις. Ομοίως, υπάρχουν 840 μονάδες ανακύκλωσης σε κτίρια, 42 περιφερειακά συστήματα και 27 συστήματα που βασίζονται σε δήμους που παρέχουν ανακυκλωμένο νερό στην Ιαπωνία (Aya, 1994). Επιπλέον, πολλά κτίρια γραφείων, πολυκατοικίες και δημοτικά κτίρια ενσωματώνουν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων για χρήση σε καζανάκι τουαλέτας στην πόλη του Τόκιο (Asano et al., 1996). Στη Γερμανία, το γκρίζο νερό από τα μπάνια (bathrooms) έχει επαναχρησιμοποιηθεί με επιτυχία. Έχει αποδειχθεί ότι είναι τεχνικά εφικτό και μπορούν να τηρηθούν οι υγειονομικές

απαιτήσεις. Μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σημαντικοί όγκοι νερού 15–55 L/PE/d (Nolde, 1999).

Επιπροσθέτως, η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού σε εξωτερικούς (υπαίθριους) χώρους μπορεί να εφαρμοστεί για την άρδευση χλοοτάπητα σε αθλητικά γήπεδα, πανεπιστημιούπολεις, νεκροταφεία, πάρκα και γήπεδα γκολφ, γεωργικές περιοχές ή οικιακούς κήπους, οι οποίοι καταναλώνουν σημαντική ποσότητα νερού σε ορισμένες ημίξηρες περιοχές (π.χ. Αυστραλία, Καλιφόρνια, Ισραήλ κ.λπ.) και εποχιακά τουριστικά μέρη (Boydoo et al., 2013). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συντήρηση δρόμων, πεζοδρομίων και καθαριότητας ποδηλατοδρόμων (Okun, 1997). Το πλύσιμο παραθύρων και οχημάτων, το νερό τροφοδοσίας σε λέβητες, η παραγωγή σκυροδέματος και η πυροπροστασία αποτελούν παραδείγματα άλλων προτεινόμενων χρήσεων (Okun, 1997; Santala et al., 1998).

5.1.2 Οικονομικά οφέλη

Έχουν διεξαχθεί πολλές αναφορές σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού που οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση όσον αφορά στο κόστος του νερού και τη ζήτηση για γλυκό νερό. Για παράδειγμα, ο Sheikh (1993) ανέφερε ότι όταν τα λύματα γκρίζου νερού χρησιμοποιήθηκαν για νερό άρδευσης στην πόλη του Λος Άντζελες, παρατηρήθηκε εξοικονόμηση νερού κατά 12-65%. Ομοίως, ο Jeppesen (1996) ανέφερε ότι η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού για κηπουρική και σε καζανάκι τουαλέτας στην Αυστραλία θα μπορούσε να επιτύχει εξοικονόμηση νερού από 30 έως 50% της συνολικής χρήσης νερού από ένα νοικοκυριό.

Οι Edwards & Martin (1995) ανέφεραν ότι η ζήτηση για νερό για καζανάκι τουαλέτας μπορεί να ικανοποιηθεί με την επαναχρησιμοποίηση του νερού από τα ντους, τα λουτρά και τα πλυντήρια. Επιπλέον, το νερό που παρέχεται μόνο από τους νιπτήρες μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της ζήτησης νερού για το καζανάκι της τουαλέτας κατά 20 - 30% (Dixon et al., 1999). Δεδομένου ότι η δυνητική ζήτηση γκρίζου νερού στο αστικό περιβάλλον είναι σημαντικά χαμηλότερη από την παραγωγή του, είναι δυνατό να μην ανακυκλωθούν όλα τα ρεύματα γκρίζου νερού, αλλά να επαναχρησιμοποιηθούν τα λιγότερο μολυσμένα (Friedler, 2004). Το γκρίζο νερό χαμηλού οργανικού φορτίου (light greywater - LGW) (τα λύματα που απορρίπτονται από ντους, λουτρά και νιπτήρες) συνιστά μια ελκυστική εναλλακτική πηγή νερού για μη πόσιμη χρήση. Απαιτεί ελάχιστη επεξεργασία, γεγονός που αυξάνει την

καταλληλότητά του για επιτόπια επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση (Fowdar et al., 2017, Eriksson et al., 2002). Μια μείωση της εξοικονόμησης 9-46% του πόσιμου νερού, μπορεί να επιτευχθεί με την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού χαμηλού οργανικού φορτίου για άλλες δραστηριότητες που καταναλώνουν νερό (Boydoo et al., 2013).

5.2 Κίνδυνοι και νομοθεσία

5.2.1 Κίνδυνοι

Καθώς το μαύρο νερό θεωρείται ως η σημαντικότερη πηγή ανθρώπινων παθογόνων μικροοργανισμών, ο διαχωρισμός του γκρίζου νερού από το μαύρο νερό θα μειώσει τον κίνδυνο που ενέχουν αυτά τα παθογόνα, καθώς το γκρίζο νερό δεν περιέχει περιττώματα. Το οργανικό περιεχόμενο του γκρίζου νερού αποσυντίθεται πολύ πιο γρήγορα από το περιεχόμενο του μαύρου νερού, υποδεικνύοντας ότι η αποσυντιθέμενη ύλη στο μαύρο νερό θα συνεχίσει να καταναλώνει οξυγόνο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, πιο μακριά από το σημείο απόρριψης (NSW Health, 2000). Αυτό που καθιστά το γκρίζο νερό ιδανικό για επαναχρησιμοποίηση είναι η αξιοπιστία του: είναι σταθερή πηγή νερού, περιέχει θρεπτικά συστατικά και έχει χαμηλή συγκέντρωση παθογόνων σε σύγκριση με τα μικτά λύματα και το μαύρο νερό (Eriksson et al., 2002). Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών και τα οργανικά φορτία του γκρίζου νερού παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις, οι οποίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συμπεριφορά του κάθε χρήστη (Imhof & Mühlemann, 2005).

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το γκρίζο νερό δεν είναι πάντα απαλλαγμένο από παθογόνα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Υγείας της Δυτικής Αυστραλίας μπορεί να περιέχει υψηλά επίπεδα παθογόνων μικροοργανισμών (βακτήρια, ιούς, πρωτόζωα, έλμινθες), που συνήθως βρίσκονται σε μικτά λύματα (Department of Health Western Australia, 2010). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα σε νοσοκομεία και νοικοκυριά όπου ένας κάτοικος είναι άρρωστος ή με βρέφη όπου οι πάνες πλένονται τακτικά. Ως εκ τούτου, το γκρίζο νερό μπορεί να παρουσιάζει αρνητικές αισθητικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να εγκυμονεί κινδύνους για την υγεία, ειδικά σε θερμά κλίματα όπου οι υψηλότερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος αυξάνουν την αποδόμηση της οργανικής ύλης και ενισχύουν την αναγέννηση των παθογόνων (Eriksson et al., 2002). Επομένως, μπορεί να προκύψουν διάφορα προβλήματα που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση ανεπεξέργαστου γκρίζου νερού.

Επομένως, ο κίνδυνος εξάπλωσης ασθενειών, λόγω της έκθεσης σε μικροοργανισμούς στο νερό, θα είναι ένα κρίσιμο σημείο εάν το νερό πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί (π.χ. καζανάκι τουαλέτας, άρδευση), λόγω της εξάπλωσης των μικροοργανισμών που υπάρχουν στο νερό με τη μορφή αερολυμάτων που παράγονται καθώς ξεπλένονται οι τουαλέτες (Albrechtsen, 1998; Christova-Boal et al., 1996; Feachem, 1983). Το γκρίζο νερό μπορεί επίσης, να περιέχει υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης, αιωρούμενα στερεά, απολυμαντικά, σαμπουάν, απορρυπαντικά, λευκαντικά, χημικές ουσίες που προέρχονται από σαπούνια, βαφές, οδοντόκρεμες, στοματικά διαλύματα, καυστικές σκόνες πλυσίματος πιάτων και άλλα προϊόντα (UN Water, 2015).

Ο κίνδυνος ρύπανσης του εδάφους και των υδάτινων αποδεκτών είναι ένα άλλο ερώτημα που εγείρεται σχετικά με τη διήθηση και την άρδευση με γκρίζο νερό. Για παράδειγμα, η διήθηση και η άρδευση μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένες συγκεντρώσεις απορρυπαντικών στο έδαφος και ορισμένα φυτά μπορεί να υποφέρουν λόγω του αλκαλικού νερού (Christova-Boal et al., 1996). Αυτοί οι ρύποι, οι ξενοβιοτικές οργανικές ενώσεις (xenobiotic organic compounds - XOCs), προέρχονται από τα χημικά προϊόντα (σαπούνια, απορρυπαντικά κ.λπ.) που χρησιμοποιούνται στα νοικοκυριά, όπως για προϊόντα προσωπικής φροντίδας και απορρυπαντικά καθαρισμού. Πολλές από αυτές είναι συνθετικές και η επίδραση και η εξάπλωσή τους είναι μόνο εν μέρει γνωστή. Το ανεπεξέργαστο γκρίζο νερό έχει τη δυνατότητα συσσώρευσης αλατιού σε ορισμένα εδάφη. Τα σαπούνια είναι αλκαλικά άλατα λιπαρών οξέων μακράς αλυσίδας, ενώ τα απορρυπαντικά αποτελούνται από επιφανειοδραστικές ουσίες καθώς και αρκετές άλλες χημικές ουσίες για τη βελτίωση της λειτουργίας (π.χ. λευκαντικά, ένζυμα). Η αποθήκευση γκρίζου νερού ευνοεί την ταχεία αύξηση των μικροοργανισμών και η έλλειψη συντήρησης μπορεί να οδηγήσει σε ενοχλήσεις από κουνούπια (Noah, 2002; Arceivala & Asolekar, 2007).

Το γκρίζο νερό που πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί πρέπει επίσης να είναι ικανοποιητικής τεχνικής ποιότητας. Τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να προκαλέσουν απόφραξη του συστήματος διανομής. Αυτό συχνά απαιτεί προηγούμενη επεξεργασία για την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών και των οργανικών συστατικών (Nolde, 1999). Ένα άλλο συναφές πρόβλημα είναι ο κίνδυνος θειούχων αλάτων, τα οποία θα δώσουν δυσάρεστες οσμές και ως εκ τούτου θα προκαλέσουν δημόσια ενόχληση (Jeppesen, 1996). Ωστόσο, σύμφωνα με την περαιτέρω χρήση, το γκρίζο νερό θα πρέπει να σέβεται την υγιεινή ασφάλεια και την περιβαλλοντική ανοχή (Eriksson et al., 2002). Επομένως,

πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή με την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Συνολικά, είναι σημαντικό να χαρακτηριστεί η ποσότητα και τα χαρακτηριστικά του οικιακού γκρίζου νερού κατά την αξιολόγηση των δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για προεπεξεργασία (Friedler, 2004; Karpiscak et al., 1990).

5.2.2 Νομοθεσία

Η ανάγκη ελαχιστοποίησης των κινδύνων για την υγεία και το περιβάλλον από την επαναχρησιμοποίηση του νερού έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών και κανονισμών από ορισμένους διεθνείς και εθνικούς οργανισμούς για την ασφαλή χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων. Από την άποψη της επαναχρησιμοποίησης, το γκρίζο νερό θεωρείται ως απόβλητο, επομένως η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού πρέπει να συμμορφώνεται με τα πρότυπα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων της υφιστάμενης νομοθεσίας (Atanasova et al., 2017). Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα πρότυπα επαναχρησιμοποίησης νερού ποικίλλουν και διέπονται από την προβλεπόμενη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων. Γενικά, επιβάλλονται όρια σε συγκεκριμένες παραμέτρους για τη μείωση των ενοχλητικών οσμών και της ανάπτυξης φυκών καθώς και για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας (Li et al., 2009; Abu Ghunmi et al. 2011; Ghaitidak & Yadav, 2013).

Αυτή η καθοδήγηση παρέχεται με τη μορφή ενός πλαισίου διαχείρισης κινδύνου για την επωφελή και βιώσιμη διαχείριση των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης νερού. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την καθοδήγηση που παρέχεται από διεθνείς οργανισμούς όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) και εθνικοί οργανισμοί ομοσπονδιακών κυβερνήσεων όπως η Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US Environmental Protection Agency - USEPA) και, στην Αυστραλία, το Υπουργικό Συμβούλιο Διαχείρισης Φυσικών Πόρων (Natural Resource Management Ministerial Council), το Συμβούλιο Προστασίας Περιβάλλοντος και Πολιτιστικής Κληρονομιάς (Environmental Protection and Heritage Council) και η Διάσκεψη Υπουργών Υγείας της Αυστραλίας (Australian Health Ministers Conference). Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κράτη που έχουν περιορισμένους ή ανύπαρκτους κανονισμούς ή οδηγίες (Sanz et al., 2014). Σε παγκόσμιο επίπεδο, ένα βασικό σημείο αναφορά για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελούν οι κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ «Οδηγίες για την ασφαλή χρήση

των υγρών αποβλήτων, των εκκρίσεων και του γκρίζου νερού» (“Guidelines for the safe use of wastewaters, excreta and greywater”) με τελευταία έκδοση το 2006 (WHO, 2006). Ενώ οι κατευθυντήριες γραμμές παρέχουν ένα πλαίσιο για την ανθρώπινη ασφάλεια στις πρακτικές επαναχρησιμοποίησης του νερού, δεν καλύπτουν ρυθμιστικές πτυχές (Atanasova et al., 2017). Οι κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ αναφέρονται μόνο στην ασφαλή χρήση των υγρών αποβλήτων στη γεωργία και την υδατοκαλλιέργεια (WHO, 2006). Τα διεθνή πρότυπα ISO για την επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου νερού δημοσιεύθηκαν τα έτη 2017, 2018 και 2019:

- ISO 20760-1:2018, Επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστικές περιοχές — Οδηγίες για κεντρικό σύστημα επαναχρησιμοποίησης νερού — Μέρος 1: Αρχή σχεδιασμού ενός κεντρικού συστήματος επαναχρησιμοποίησης νερού.
- ISO 20760-2:2017, Επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστικές περιοχές — Οδηγίες για κεντρικό σύστημα επαναχρησιμοποίησης νερού — Μέρος 2: Διαχείριση ενός κεντρικού συστήματος επαναχρησιμοποίησης νερού.
- ISO 20761:2018, Επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστικές περιοχές — Οδηγίες για την αξιολόγηση ασφάλειας επαναχρησιμοποίησης νερού — Παράμετροι και μέθοδοι αξιολόγησης.
- ISO/DIS 23056:2019, Επαναχρησιμοποίηση νερού σε αστικές περιοχές — Οδηγίες για αποκεντρωμένο/επιτόπιο σύστημα επαναχρησιμοποίησης νερού — Αρχή σχεδιασμού αποκεντρωμένου/επιτόπιου συστήματος.

Στη συνέχεια, σε εθνικό επίπεδο η USEPA εξέδωσε συνιστώμενες κατευθυντήριες γραμμές «Οδηγίες για την Επαναχρησιμοποίηση Νερού» (“Guidelines for Water Reuse) με τελευταία επικαιροποίηση το 2012, αν και τα επίσημα πρότυπα δεν έχουν ακόμη υιοθετηθεί (USEPA, 2012). Οι κατευθυντήριες γραμμές καλύπτουν, μεταξύ άλλων, τις απαιτήσεις για επεξεργασμένα λύματα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για αστική επαναχρησιμοποίηση συμπεριλαμβανομένων των οριακών τιμών παραμέτρων όπως TSS, BOD, COD, Θολότητα, Βακτηριακοί δείκτες και Παθογόνα (USEPA, 2012). Η Καλιφόρνια, μια πολιτεία που αντιμετωπίζει χρόνιες κρίσεις στην παροχή νερού και επομένως έχει ισχυρό κίνητρο για επαναχρησιμοποίηση του νερού, συχνά αναγνωρίζεται ότι διαθέτει μερικά από τα πιο αυστηρά πρότυπα σε επίπεδο πολιτείας, κυρίως λόγω της απαίτησης για μείωση κατά 5 log του ιού της πολιομυελίτιδας ή παρόμοιου ιού (CDPH, 2010).

Εκτός των ΗΠΑ, οι εθνικές κατευθυντήριες γραμμές της Αυστραλίας για την επαναχρησιμοποίηση του νερού (NRMMC-EPHC-AHMC, 2006), υποστηρίζουν ένα πλαίσιο διαχείρισης κινδύνου που βασίζεται στις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ (WHO, 2006) και περιλαμβάνουν επίσης οριακές τιμές ρύπων (όπως στην USEPA, 2012) για διάφορες διεργασίες επεξεργασίας και επιτόπιους ελέγχους για καθορισμένες χρήσεις ανακυκλωμένου νερού. Σε αντίθεση με τον ΠΟΥ, η USEPA και οι κατευθυντήριες γραμμές της Αυστραλίας εξετάζουν επίσης αρκετές εφαρμογές επεξεργασμένων λυμάτων, όπως ο εμπλουτισμός υδροφόρων και η άρδευση γηπέδων γκολφ.

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, η επαναχρησιμοποίηση νερού ενθαρρύνεται από την Οδηγία για τα Αστικά Λύματα (91/271/EEC της 21ης Μαΐου 1991), όπου το επίπεδο επαναχρησιμοποίησης και η ανάπτυξη κατάλληλων προτύπων επαφίεται σε κάθε κράτος μέλος.

Πρόσφατα εκδόθηκε νέος κανονισμός για τις ελάχιστες απαιτήσεις για την επαναχρησιμοποίηση νερού 2018/0169 (COD). Ωστόσο, ισχύει μόνο για επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία.

Αρκετές χώρες και κράτη σε όλο τον κόσμο επεξεργάζονται τις τοπικές κατευθυντήριες γραμμές για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μη πόσιμη επαναχρησιμοποίηση. Τα τοπικά πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού στην Ευρώπη εφαρμόζονται κυρίως στην Κύπρο, τη Γαλλία, την Ιταλία, την Ελλάδα, την Πορτογαλία και την Ισπανία (Alcalde & Gawlik, 2014) (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1 Τα πιο αντιπροσωπευτικά πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού από τα κράτη μέλη της ΕΕ

Χώρα	Πρότυπα αναφοράς	Φορέας έκδοσης
Κύπρος	Νόμος 106 (ιβ) 2002 Έλεγχος ρύπανσης υδάτων και εδαφών και συναφείς ρυθμίσεις ΚΔΠ 772/2003, ΚΔΠ 269/2005	Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων (Τμήμα Λυμάτων και Επαναχρησιμοποίησης)
Γαλλία	JORF num.0153, 4 Ιουλίου 2014 Διάταγμα του 2014, σχετικά με τη χρήση νερού από επεξεργασμένα αστικά λύματα για άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου	Υπουργείο Δημόσιας Υγείας Υπουργείο Γεωργίας, Τροφίμων και Αλιείας Υπουργείο Οικολογίας, Ενέργειας και Αειφορίας
Ελλάδα	CMD No 145116	Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

	Μέτρα, όρια και διαδικασίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων	
Ιταλία	DM 185/2003 Τεχνικά μέτρα για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων	Υπουργείο Περιβάλλοντος Υπουργείο Γεωργίας Υπουργείο Δημόσιας Υγείας
Πορτογαλία	NP 4434 2005 Επαναχρησιμοποίηση του ανακτημένου αστικού νερού για άρδευση	Πορτογαλικό Ινστιτούτο Ποιότητας
Ισπανία	RD 1620/2007 Το νομικό πλαίσιο για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων	Υπουργείο Περιβάλλοντος Υπουργείο Γεωργίας, Τροφίμων και Αλιείας Υπουργείο Υγείας

Πηγή: Sanz et al., 2014

Τα πρότυπα της Κύπρου, της Γαλλίας, της Ελλάδας, της Ιταλίας και της Ισπανίας περιλαμβάνονται ως κανονισμοί στην εθνική νομοθεσία. Στην Πορτογαλία, τα πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελούν κατευθυντήριες γραμμές, αλλά λαμβάνονται υπόψη από την εθνική κυβέρνηση όταν εκδίδονται άδειες επαναχρησιμοποίησης νερού στη χώρα. Όλα τα πρότυπα που αξιολογήθηκαν αναφέρονται στην επαναχρησιμοποίηση αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, εκτός από τα πρότυπα της Κύπρου και της Πορτογαλίας που αναφέρονται μόνο στα αστικά λύματα. Τα περισσότερα από τα τοπικά πρότυπα για την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού προορίζονται όχι μόνο για γεωργικές, αλλά και για αστικές και βιομηχανικές εφαρμογές (Sanz et al., 2014). Τα πρότυπα ισχύουν για κάθε χρήση γκρίζου νερού όπως παρατίθενται και συνοψίζονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2 Προβλεπόμενες χρήσεις για επαναχρησιμοποίηση νερού που περιλαμβάνονται στα πρότυπα των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Προβλεπόμενη χρήση ανακυκλωμένου νερού	Κύπρος	Γαλλία	Ελλάδα	Ιταλία	Πορτογαλία	Ισπανία
Άρδευση ιδιωτικών κήπων						✓
Τροφοδοσία συσκευών υγιεινής				✓		✓
Τοπική άρδευση αστικών περιοχών (πάρκα, αθλητικοί χώροι)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Καθαρισμός δρόμων			✓	✓		✓
Συμπίεση εδάφους (soil compaction)			✓			
Πυροσβεστικοί κρουνοί			✓	✓*		✓
Βιομηχανικό πλύσιμο οχημάτων				✓		✓
Άρδευση καλλιεργείων που καταναλώνονται ωμές	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Άρδευση καλλιεργείων που δεν καταναλώνονται ωμές	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Άρδευση βοσκοτόπων για ζώα παραγωγής γάλακτος ή κρέατος		✓	✓	✓	✓	✓
Υδατοκαλλιέργεια						✓
Άρδευση δέντρων χωρίς επαφή του ανακτημένου νερού με καρπούς για ανθρώπινη κατανάλωση	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Πότισμα καλλωπιστικών λουλουδιών χωρίς επαφή του ανακτημένου νερού με το προϊόν		✓	✓	✓		✓
Άρδευση βιομηχανικών μη εδόμενων καλλιεργείων, ζωοτροφών, σιτηρών	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Επεξεργασία νερού και καθαρισμός στη βιομηχανία εκτός της βιομηχανίας τροφίμων			✓	✓**		✓
Διεργασία και καθαρισμός νερού στη βιομηχανία τροφίμων			✓	✓**		✓
Πύργοι ψύξης και συμποκνωτές εξάτμισης			✓	✓		
Άρδευση γηπέδου γκολφ	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Διακοσμητικές λιμνούλες χωρίς δημόσια πρόσβαση			✓			
Εμπλουτισμός υδροφόρων με τοπική διήθηση	✓		✓			✓
Εμπλουτισμός υδροφόρων με άμεση έγχυση	✓		✓			✓
Άρδευση δασικών εκτάσεων και χώρων πρασίνου που δεν είναι προσβάσιμες στο κοινό		✓	✓	✓	✓	✓
Δασοκομία						✓
Περιβαλλοντικές χρήσεις (συντήρηση υγροτόπων, ελάχιστες ροές ρεμάτων)						✓

Πηγή: Sanz et al., 2014

* μόνο για βιομηχανικές χρήσεις.

** Το ανακτημένο νερό δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άμεση επαφή με τρόφιμα, φαρμακευτικά προϊόντα ή καλλυντικά προϊόντα.

5.3 Στρατηγικές επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού

Πολλά συστήματα επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού έχουν εφαρμοστεί σε παγκόσμιο επίπεδο, χρησιμοποιώντας συμβατικά και υβριδικά συστήματα. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα έχουν αναπτυχθεί ως μέτρο περιβαλλοντικής παρέμβασης και έκτοτε λειτουργούν, ενώ ορισμένα αντιμετώπισαν τις δικές τους προκλήσεις. Ο Πίνακας 5.3 παρουσιάζει μερικά παραδείγματα επιτυχούς εφαρμογής συστημάτων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού σε ορισμένες χώρες.

Πίνακας 5.3 Στρατηγικές επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες

Περιοχή	Σύστημα που χρησιμοποιήθηκε	Εφαρμογή	Αναφορά
Auroville, Ινδία	Κλίνες καλαμιών (reedbeds) και στρώματα άρδευσης (irrigation beds)	Επεξεργασία γκρίζου νερού από φοιτητική εστία	Chuck, 2004
Koulikoto, Μάλι	Φίλτρο κάθετης ροής και κήπος με γκρίζο νερό (greywater garden)	Επεξεργασία γκρίζου νερού που παράγεται από μια κοινότητα και το επεξεργασμένο γκρίζο νερό χρησιμοποιείται στην υπόγεια άρδευση φρούτων και λαχανικών	GTZ, 2005
Μεξικό	Βιοαντιδραστήρας	Επεξεργασία γκρίζου νερού για ένα κέντρο αποκατάστασης για παιδιά	Alderlieste & Langeveld, 2005
Djenne, Μάλι	Τάφρος διήθησης (infiltration trench)	Αποσκοπούσε στο να σταματήσει την ανεξέλεγκτη απόρριψη γκρίζου νερού στους δρόμους. Οι αντιασθητικές συνθήκες μέσα στην κοινότητα έπαψαν να υφίστανται, επειδή το γκρίζο νερό διοχετεύονταν σε τάφρους.	Alderlieste & Langeveld, 2005
Gauteng, Νότια Αφρική	Tower garden (ένας φιλικός προς τον χρήστη και καινοτόμος τρόπος χρήσης του γκρίζου νερού για την κηπουρική σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος - έχουν εφαρμοστεί για παράδειγμα στην Κένια, τη Νότια Αφρική και την Αιθιοπία)	Αποσκοπούσε στην προώθηση της κηπουρικής λόγω της εγγύτητας σε νερό για άρδευση και στην περαιτέρω οικονομική ενίσχυση των ανέργων ηλικιωμένων. Φυλλώδη λαχανικά φυτεύονται στις λάσπες και πολλοί άνθρωποι επωφελήθηκαν.	Adendorff & Stimie, 2005
Μοντεβέρντε, Κόστα Ρίκα	Τεχνητοί υδροβότοποι και βυθισμένοι καλαμιώνες (submerged flowered beds)	Προοριζόταν να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία γκρίζου νερού από μεμονωμένα νοικοκυριά για την αποφυγή απόρριψης γκρίζου νερού στο περιβάλλον. Το επεξεργασμένο γκρίζο νερό χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση καλαμιών που ήταν ένα οικονομικό φυτό.	Dallas et al., 2004
Kuching, Μαλαισία	Αναερόβιο φίλτρο, φυτεμένο φίλτρο οριζόντιας ροής	Μια παρέμβαση για τη διακοπή της απόρριψης λυμάτων σηπτικών δεξαμενών απευθείας στους αγωγούς ομβρίων υδάτων και στη συνέχεια στους υδάτινους αποδέκτες.	Chong, 2005

Billen, Παλαιστίνη	Αναερόβια φίλτρα ανοδικής ροής, αερόβιο φίλτρο	Σκοπός είναι η μείωση της συχνότητας αφαίρεσης λάσπης (αποσυμφόρησης - desludging) σε μια πόλη που αντιμετωπίζει προβλήματα λειψυδρίας.	Mahmoud et al., 2003
Σρι Λάνκα	Αναερόβιο φίλτρο, φυτεμένο φίλτρο κάθετης ροής	Συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού σε ορισμένα επιλεγμένα ξενοδοχεία και σχολεία	Harindra, 2001
Κατμαντού, Νεπάλ	Φυτεμένο φίλτρο κάθετης ροής	Μια τοπική προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων λειψυδρίας στο Νεπάλ. Το επεξεργασμένο γκρίζο νερό επαναχρησιμοποιείται για άλλους μη πόσιμους σκοπούς, ενώ ο αντίκτυπος αυτού του συστήματος οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση δαπανών για το νερό.	Shrestha et al., 2001
Μοντεβέρντε, Κόστα Ρίκα	Φυτεμένο φίλτρο οριζόντιας ροής	Μια παρέμβαση για να σταματήσει η τυχαία απόρριψη γκρίζου νερού στους δρόμους και στα ρέματα. Αυτό προκάλεσε δυσάρεστες συνθήκες. Μετά την κατασκευή αυτού του συστήματος, οι συνθήκες βελτιώθηκαν.	Dallas & Ho, 2005
Tufileh, Ιορδανία	Αυτοματοποιημένο σύστημα γκρίζου νερού	Βελτιστοποίηση και επικύρωση συστήματος επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού σε οικιακούς κήπους στην Ιορδανία	Al-Jayousi, 2003

6. Σύνοψη - Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη

Συνοψίζοντας, η διαθεσιμότητα γλυκού νερού σε παγκόσμιο επίπεδο γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη λόγω μιας σειράς παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της αστικής ανάπτυξης και της γεωργίας. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή, οι απρόβλεπτες καιρικές συνθήκες και η ξηρασία επιδεινώνουν ιδιαίτερα αυτό το ζήτημα, ασκώντας πίεση στους υδάτινους πόρους. Ο διαχωρισμός των πηγών και η αποκέντρωση της επεξεργασίας γκρίζων υδάτων μπορεί να συνδράμει στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων μειώνοντας την ποσότητα νερού που χρειάζεται να μεταφερθεί και να επεξεργαστεί, μειώνοντας την πίεση στα δημοτικά συστήματα επεξεργασίας νερού και εξοικονομώντας ενέργεια. Επιπλέον, η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού, μπορεί να αυξήσει την αυτάρκεια και να μειώσει την εξάρτηση από την παροχή δημοτικού νερού.

Το γκρίζο νερό αποτελεί μια από τις εναλλακτικές πηγές ακατέργαστου νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού λόγω της χαμηλής ρύπανσης σε σύγκριση με τα μικτά λύματα. Επιπλέον, αρκετές αναθεωρημένες μελέτες αποκάλυψαν ότι το γκρίζο νερό μπορεί να παρουσιάσει προκλήσεις όσον αφορά τους οργανικούς μικρο-ρύπους και τους μικροβιακούς ρύπους όταν χρησιμοποιείται ως πηγή πόσιμου νερού.

Παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση τόσο στα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού και στους ρυθμούς παραγωγής όγκου γκρίζου νερού. Οι διακυμάνσεις αυτές εξαρτώνται από τη χρήση του νερού, τον τρόπο ζωής και τον τύπο οικισμού. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος επεξεργασίας για την παραγωγή πόσιμου νερού από γκρίζο νερό.

Έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες για την επεξεργασία ή την απομάκρυνση συγκεκριμένων ρύπων. Ωστόσο, ένα μεμονωμένο σύστημα ή τεχνολογία δεν προσφέρουν από μόνα τους πλήρη επεξεργασία του γκρίζου νερού για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση, προτιμάται η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού για δραστηριότητες που δεν περιλαμβάνουν άμεση επαφή με τον άνθρωπο. Γενικά, οι αντιλήψεις του κοινού όπως και η υποστήριξη από τις αρχές είναι σημαντικές για την επιλογή της εφαρμογής κατάλληλων μεθόδων για ένα συγκεκριμένο πλαίσιο.

6.2 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία εξέτασε τα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού, τα συστήματα επεξεργασίας, τις στρατηγικές επαναχρησιμοποίησης και την αντίληψη των χρηστών για την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Ανακύπτει το συμπέρασμα ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση στα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού και στους ρυθμούς παραγωγής όγκου γκρίζου νερού, τα οποία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση του νερού, τον τρόπο ζωής και τον τύπο οικισμού. Από το σύνολο των αναθεωρημένων συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας, οι μέθοδοι διήθησης φαίνονται εφικτές και έχουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης με άλλα συστήματα για την επίτευξη συγκεκριμένης επεξεργασίας. Η εργασία περιέγραψε διαφορετικές στρατηγικές επαναχρησιμοποίησης. Οι περισσότερες χρησιμοποιούν το απορριπτόμενο γκρίζο νερό για την παραγωγή τροφίμων και τον εξωραϊσμό τοπίου, ενώ άλλες έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανακούφιση της φτώχειας σε αρδευτικές καλλιέργειες.

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί για την επεξεργασία ή την απομάκρυνση συγκεκριμένων ρύπων και δεν προσφέρουν πλήρη επεξεργασία του γκρίζου νερού. Επιπλέον, τα κριτήρια ποιότητας διαφέρουν για κάθε τύπο εφαρμογής επαναχρησιμοποίησης και η σύνθεση και οι ρυθμοί παραγωγής του γκρίζου νερού διαφέρουν σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Ως εκ τούτου, θα είναι συνετό τα συστήματα να σχεδιάζονται για να στοχεύουν σε μια συγκεκριμένη επιλογή επαναχρησιμοποίησης λαμβάνοντας υπόψη την περιφερειακή μεταβλητότητα και την πολυπλοκότητα, έτσι ώστε οι εκροές από ένα σύστημα επεξεργασίας να πληρούν τις απαιτούμενες κατευθυντήριες γραμμές για τα λύματα. Όλα τα συστήματα επεξεργασίας που εξετάστηκαν εφαρμόζονται σε μεγάλη κλίμακα και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο νοικοκυριού. Αυτό αποθαρρύνει τη συμμετοχή σε τοπικό επίπεδο σε προγράμματα επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού.

Από την ανασκόπηση προέκυψε επίσης η δυνατότητα ορισμένων φυσικών υλικών να χρησιμοποιηθούν ως μέσα σε συστήματα επεξεργασίας γκρίζου νερού. Αυτά τα φυσικά υλικά είναι ευρέως διαθέσιμα στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες και θα πρέπει να διερευνηθεί η πλήρης ενσωμάτωσή τους στα συμβατικά συστήματα επεξεργασίας. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό απλών συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού σε επίπεδο νοικοκυριού που στοχεύουν σε μια συγκεκριμένη επιλογή επαναχρησιμοποίησης και έτσι να αυξήσουν τη συμμετοχή σε τοπικό επίπεδο.

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση για τις αναπτυσσόμενες χώρες που αντιμετωπίζουν πρόβλημα με το νερό. Η υιοθέτηση μεθόδων ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού στις περισσότερες περιπτώσεις λαμβάνει χώρα από ιδιωτικούς φορείς και σε εφαρμογές μικρής κλίμακας. Αυτή η τάση αποδίδεται σε πολιτισμικούς φραγμούς που έχουν ως αποτέλεσμα αρνητικές αντιλήψεις για τη χρήση του γκρίζου νερού από το κοινό, περιορισμένη τεχνογνωσία και οικονομικές εισροές για τη λειτουργία των συστημάτων επεξεργασίας γκρίζου νερού.

Η αντίληψη για την επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού συνδέεται στενά με την επιλογή της επαναχρησιμοποίησης, καθώς οι περισσότεροι χρήστες θα ήθελαν να επαναχρησιμοποιήσουν το γκρίζο νερό για δραστηριότητες που δεν περιλαμβάνουν προσωπική επαφή. Γενικά, οι αντιλήψεις του κοινού είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη κατά την εφαρμογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου για μια συγκεκριμένη χρήση. Με βάση αυτή την ανασκόπηση, συμπεραίνεται ότι για την επίτευξη αποτελεσματικής επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού, απαιτείται εκτεταμένη συμβολή όλων των ενδιαφερόμενων φορέων. Απαιτείται επίσης, μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του γκρίζου νερού προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος ή σύστημα επεξεργασίας. Παρόλα αυτά, η επεξεργασία και η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού, εάν υιοθετηθεί και εφαρμοστεί, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της υπερβολικής εξάρτησης από τους πόρους του γλυκού νερού για μη πόσιμες χρήσεις.

Βιβλιογραφία

- Abdel-Kader, A.M. (2012) Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*. Journal in press.
- Abu Ghunmi, L., Zeeman, G., Fayyad, M., van Lier, J.B. (2011). Grey water treatment systems: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 41, 657–698
- Act Government Australia. (2008). The ACT’s water resources management strategy [Online]. Australia. Available: http://www.thinkwater.act.gov.au/permanent_measures/the_act_water_strategy.shtml [Accessed September 2012].
- Addo-Bankas, O., Zhao, Y., Vymazal, J., Yuan, Y., Fu, J., & Wei, T. (2021). Green walls: A form of constructed wetland in green buildings. *Ecological Engineering*, 169(February), 106321. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106321>
- Albrechtsen, H. J. (1998). *Water consumption in residences. Microbiological investigations of rain water and greywater reuse systems*. Miljøstyrelsen (Miljø- og Energiministeriet) og Boligministeriet.
- Al-Hamaiedeh, H., & Bino, M. (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256(1–3), 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.004>
- Al-Jayyousi, O. R. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1), 181-192.
- Alraddadi, S., & Assaedi, H. (2020). Characterization and potential applications of different powder volcanic ash. *Journal of King Saud University - Science*, 32(7), 2969–2975. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.07.019>
- Anda, M., Ho, G. & Mathew, K. (1996). Greywater Reuse: Some Options for Western Australia, in *Designing for a Sustainable Future, Sixth International Permaculture Conference & Convergence*, Permaculture Association of Western Australia, Perth and Bridgetown.
- Arias, C. A. and Brix, H. (2005). Phosphorous removal in constructed wetlands: can suitable alternative media be identified? *Wat. Sci. & Tech* 51(9), 267-273.
- Asano T, Mills R. (1990). Planning and analysis for water reuse projects. *J AWWA* 1990, 82(1), 38–47.

- Ascione, F., De Masi, R. F., Mastellone, M., Ruggiero, S., & Vanoli, G. P. (2020). Green walls, a critical review: Knowledge gaps, design parameters, thermal performances and multi-criteria design approaches. *Energies*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/en13092296>
- Ashley, R.M., Blackwood, D., Butler, D., Jowitt, P., Smith, H. (2003). Sustainable decision making for the UK water industry. *Engineering Sustainability* 156, ES1, 41-49.
- Atwater R. (1998). Urban water recycling feasibility assessment handbook. Bookman-Edmonston Engineering Inc., California Urban Water Agencies, 1–2.
- Australian Capital Territory, Canberra (2007). Grey water Use: Guidelines for residential properties in Canberra. *Treatment of grey water*. Australia: Australian Capital Territory, Canberra.
- Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. (2010). Securing our Water Future. The path to water reform in Australia. Australia: Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts.
- Avery, L. M., Frazer-Williams, R. A. D., Winward, G., Shirley-Smith, C., Liu, S., Memon, F. A., & Jefferson, B. (2007). Constructed wetlands for grey water treatment. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 7(3–4), 191–200. [https://doi.org/10.1016/S1642-3593\(07\)70101-5](https://doi.org/10.1016/S1642-3593(07)70101-5)
- Bahrami, M., Amiri, M. J., & Badkubi, M. (2020). Application of horizontal series filtration in greywater treatment: a semi-industrial study. *Australian Journal of Water Resources*, 24(2), 236–247. <https://doi.org/10.1080/13241583.2020.1824610>
- Balkema A.J., Preisig H.A., Otterpohl R., and Lambert F.J.D (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water*, 4(2002), 153-161.
- Benami, M., Gillor, O. and Gross, A. (2016). Potential microbial hazards from graywater reuse and associated matrices: A review. *Water Research*, Vol. 106, pp.183-195. DOI: 10.1016/j.watres.2016.09.058.
- Bertrand. N.M (2008). Impacts of scaling up water recycling and rainwater harvesting technologies on hydraulic and hydrological flows. Centre of water science. PhD Thesis. University of Cranfield, Cranfield, UK.

- Bingley, E. B. (1994). Greywater Reuse Proposal in Relation to the Palmyra Project, in *Workshop on Localised Treatment and Recycling of Domestic Wastewater*, Murdoch University, Perth, Western Australia.
- Birks, R. and Hills, S. (2007). Characterisation of indicator organisms and pathogens in domestic greywater for recycling. *Environmental monitoring and assessment*, 129(1-3), pp.61-69.
- Birks, R., Colbourne, J., Hills, S., &Hobson, R. (2004). Microbiological water quality in a large in-building recycling facility. *Water Science and Technology*, 50(2), 165–172.
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piscoiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of the Total Environment*, 711, 134731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>
- Boano, F., Costamagna, E., Caruso, A., Fiore, S., Chiappero, M., Galvão, A., Piscoiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2021). Evaluation of the influence of filter medium composition on treatment performances in an open-air green wall fed with greywater. *Journal of Environmental Management*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113646>
- Bray, R. (2005) The Operation and Maintenance of Sustainable Drainage Systems (and Associated Costs) – A Review of the DTI Report SR626. Proceedings of the 3rd National Conference on Sustainable Drainage. 20–21 June 2005, 102–114, Coventry University, UK.
- Brewer, D, Brown, R, Stanfield, G. (2000). Rainwater and greywater in buildings: project report and case studies. Report 13285/1, BSRIA Ltd., Bracknell, UK; 2000.
- British Standards Institution - BSI, (2010). Greywater systems. Code of practice. BS 8525-1:2010. Available at: <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocId=294669> (Accessed 14/11/2022).
- BSRIA (1997). Water conservation: implications of using recycled greywater and storedrainwater in the UK. Drinking Water Inspectorate, Department of the Environment.

- Butler, D. & Memon, F.A. (2006). Water consumption trends and demand forecasting techniques. In: Butler, D. & Memon, F.A. (ed). Water Demand Management. IWA Publishing. London. 1-26.
- Campisano, A., & Modica, C. (2010). Experimental investigation on water saving by the reuse of washbasin grey water for toilet flushing. *Urban Water Journal*, 7(1), 17-24.
- Canada Mortgage and Housing Corporation. (2002). Rainwater Harvesting and Grey Water Reuse [Online]. Canada. Available: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/en/rh-pr/tech/03-100-e.htm>.
- Casanova, L.M., Gerba, C.P., Karpiscak, M. (2001). Chemical and microbial characterization of household graywater. *J. Environ. Sci. Health A* 36 (4), 395–401.
- Christova-Boal, D., Eden, R. E., & McFarlane S. (1996). An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*, 106, 391–397.
- CIRIA. (2001). Rainwater and Greywater Use in Buildings: Project Results From The Buildings that Save Water Project. Best Practice Guidance. C539. London: CIRIA.
- CIWEM (2006) Domestic water reuse, available at: <http://www.ciwem.org/policy-and-international/current-topics/water-management/water-reuse/domestic-water-reuse/greywater-reuse-and-water-safety-plans.aspx> (Accessed 12/04/10)
- CIWEM (2007). The Chartered Institution of Water and Environmental Management website. <http://www.ciwem.org/resources/water/rainwater/edenproject.asp> (Accessed 15/10/2009)
- Coombes, P.J., Boubli, D. & Argue, J.R. (2003a). Integrated water cycle management at the Heritage Mews development in Western Sydney. Proc. of 28th International Hydrology and Water Resources Symposium, Wollongong, Australia.
- Cooper, P. (2001). Clag Hall community centre, Derby. Rainwater utilisation system. Proc. Of 1st Nat. Conf. on Sustainable Drainage. 18th-19th June 2001, Coventry University, UK, pp250-254.
- Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B., Shutes, R.B.E. (1996). Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. WRC Publications, Medmenham, Marlow, UK.
- CRD (Capital Regional District) (2004). Greywater Reuse Study Report. Canada.

- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2020). Sustainable Agriculture Reviews 42 Hemp Production and Applications. In *Sustainable Agriculture Reviews 42 Hemp Production and Applications*.
- Criswell, M.C.; Roesner, L.A.; Qian, Y.L.; Stromberger, M.E; Klein, S.M.; Marjoram, C.(2005). Experimental Design of a long-term study on landscape irrigation using householdgraywater.
- CSBE (Center for the Study of the Built Environment). (2003). Graywater reuse in othercountries and its applicability to Jordan, Jordan.
- D’Angelo, S. (1998). Public Information Outreach Programs (Special Publication, Salvatore D’Angelo, Chairperson), Water Environment Federation & American Waterworks Association.
- Dalahmeh, S. S., Hylander, L. D., Vinnerås, B., Pell, M., Öborn, I., & Jönsson, H. (2011). Potential of organic filter materials for treating greywater to achieve irrigation quality: A review. *Water Science and Technology*, 63(9), 1832–1840. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.387>
- Dalahmeh, S. S., Lalander, C., Pell, M., Vinnerås, B., & Jönsson, H. (2016). Quality of greywater treated in biochar filter and risk assessment of gastroenteritis due to household exposure during maintenance and irrigation. *Journal of Applied Microbiology*, 121(5), 1427–1443. <https://doi.org/10.1111/jam.13273>
- Dalahmeh, S. S., Pell, M., Hylander, L. D., Lalander, C., Vinnerås, B., & Jönsson, H. (2014). Effects of changing hydraulic and organic loading rates on pollutant reduction in bark, charcoal and sand filters treating greywater. *Journal of Environmental Management*, 132, 338–345.<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.005>
- Dalahmeh, S. S., Pell, M., Vinnerås, B., Hylander, L. D., Öborn, I., & Jönsson, H. (2012). Efficiency of bark, activated charcoal, foam and sand filters in reducing pollutants from greywater. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(7), 3657–3671. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1139-z>
- Dallas, S., Scheffe, B., Ho, G. (2004). Reedbeds for greywater treatment—case study inSanta Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecol. Eng.* 23, 55–61.
- Day, M. (2002). The Millennium Green development rainwater project. Proc. of 22ndmeeting of the Standing Conference on Stormwater Source Control: Quantity and Quality.Coventry University, 13th February 2002.

- Department of Health (2004). *Greywater Reuse Systems Approved By The Department Of Health*, Department of Health, Perth.
- Diaper, C., Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A., Parsons, S.A., Stephenson, T., Strathern, M., & Strutt, J. (2001). Small scale water recycling systems – riskassessment and modelling. *Wat. Sci. Tech.*, 43(10), 83–90.
- Diaper, C., Jefferson, B., Parson, S. and Judd, S. (2001). Water recycling Technologies in the UK, *Journal of the Chartered Institution of WATER AND environmental Management*, 156 (4), 282-286.
- DigsDigs (2012). <http://www.digsdigs.com/toilet-with-integrated-hand-basin/> (Accessed 14/11/2022)
- Dillon, P. (2002). Banking of stormwater, reclaimed water and potable water in aquifers. *Proceedings of the Second International Water Association Congress, Melbourne, Australia, May 2002.*
- Dimitriadis, S. (2005). Issues encountered in advancing Australia’s water recycling schemes. *Research Brief, Parliamentary Library, Parliament of Australia, No. 2. Department of Parliamentary Services, Australia. ISSN 18322883.*
- Dixon, A. (1999). Simulation of domestic water re-use systems: greywater and rainwater in combination. PhD Thesis, Environmental and Water Resources Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.
- Dixon, A.M., Butler, D., & Fewkes, A. (1999). Guidelines for Greywater Re-Use: Health Issues, *Wat. and Env. Manage.*, 13(5), 322–326.
- Edwin, G. A., Gopalsamy, P. and Muthu, N. (2013). Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. *Applied Water Science*, Vol. 4 (1), pp. 39–49. DOI: 10.1007/s13201-013-0128-8.
- Eksi, M., Sevgi, O., Akburak, S., Yurtseven, H., & Esin, İ. (2020). Assessment of recycled or locally available materials as green roof substrates. *Ecological Engineering*, 156(June). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105966>
- EKTN (Environmental Knowledge Transfer Network). (2008). Energy efficient water and wastewater treatment. Knowledge Transfer Networks, Acceleration business innovation; a Technology Strategy Board programme.

- Elmitwalli, T. A., & Otterpohl, R. (2007). Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*, 41(6), 1379–1387. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.016>
- Emmerson, G. (1998). Every Drop is Precious: Greywater as an Alternative Water Source, Queensland Parliamentary Library, Brisbane, Australia.
- Environment Agency (2005). The Environment Agency water efficiency awards 2005. Environment Agency, Bristol, UK.
- Environmental Protection Agency (EPA) 2004. Guidelines for water reuse. In: U.S. Agency for International Development (ed.). Washington, DC, USA.
- Eriksson E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban water*, 4(1), 85-104.
- Eriksson, E., Andersen, H. R., Madsen, T. S., & Ledin, A. (2009). Greywater pollution variability and loadings. *Ecological Engineering*, 35(5), 661–669. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.10.015>
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85–104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4).
- Etchepare, R. and van der Hoek, J. P. (2015). Health risk assessment of organic micropollutants in greywater for potable reuse. *Water Research*, Vol. 72, pp. 186–198. DOI:10.1016/j.watres.2014.10.048.
- European Commission. (2011). Analysis of grey water reuse considers pollutant management. *Science for Environment Policy* [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/232na5.pdf> [Accessed August 2012].
- European Commission. (2020). Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*, 2019(May 1991), 32–55.
- Fane, A.G. and Fance, S.A. (2005). The role of membrane technology in sustainable decentralized wastewater treatment. *Journal of Water Science and Technology*, 51, 317–325.
- Far North District Council (2004). *Septic Tanks ...and other matters*. Quarterly Newsletter, vol. April.

- Faruqui, N., & Al-Jayyousi, O. (2002). Greywater reuse in urban agriculture for poverty alleviation: a case study in Jordan. *Water International*, 27(3), 387-394.
- Fewkes, A. & Tarran, C. (1992). Rainwater quality for WC flushing in the UK. Proc. Regional Conference of the International Rainwater Catchment Systems Association, Kyoto, Japan.
- Fewkes, A. (2007). "The Field Testing of a Rainwater Harvesting System." In *Water Management Challenges in Global Change*, by Ulanicki et al., 643-649. London: Taylor & Francis Group.
- Fewkes, A. (1999). The use of rainwater for WC flushing: The fluid testing of a collection system. *Building and Environment*, 34(6), 765-772.
- Fowdar, H. S., Hatt, B. E., Breen, P., Cook, P. L. M., & Deletic, A. (2017). Designing living walls for greywater treatment. *Water Research*, 110, 218-232. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.018>
- Freiberger, E. (2007). Sustainability Evaluation of Sanitation Projects. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.
- Friedler, E. and Hadari, M., (2006). Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. *Desalination*, 190(1-3), pp.221-234.
- Friedler, E., Kavalio, R. and Galil, N.I. (2005). Onsite greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science & Technology*, Vol. 51 (10), pp. 187-194.
- Friedler, E., Lahav, O., Jizhaki, H. and Lahav, T. (2006). Study of urban population attitudes towards various wastewater reuse options: Israel as a case study. *J. of Environmental Management*, 81(4), 360-370.
- Futalan, C. M., Kim, J., & Yee, J. J. (2019). Adsorptive treatment via simultaneous removal of copper, lead and zinc from soil washing wastewater using spent coffee grounds. *Water Science and Technology*, 79(6), 1029-1041. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.087>
- Galvão, A., Martins, D., Rodrigues, A., Manso, M., Ferreira, J., & Silva, C. M. (2022). Green walls with recycled filling media to treat greywater. *Science of the Total Environment*, 842(March). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156748>
- Geary, P.M., Stafford, D. & Whitehead J.H. (2005). On-site Domestic Wastewater Treatment and Reuse, BDP Environmental Design Guide DES 24. Royal Australian Institute of Architects, February 2005.

- Ghisellini, P., Cialani, C. and Ulgiati, S., (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 114, pp.11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
- Ghisi, E., &Ferreira, D. F. (2007). Potential for potable water savings by usingrainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(7), 2512-2522.
- Ghunmi LA., Zeeman.G., van Lier J., Fayyed M. (2008). Quantitative and qualitativecharactersirics of grey water for reuse requirements and treatment alternatives: the case of Jordan. *Water Science and Technology: a Journal of the International Association of Water Pollution Research*, 58(7), 1385-1396.
- Goddard, M. (2006). Urban greywater reuse at the D'LUX Development, *Desalination*, 188, 135-140.
- Godfrey, S., Labhasetwar, P., &Wate, S. (2009). Greywater reuse in residentialschools in Madhya Pradesh, India—A case study of cost–benefit analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(5), 287-293.
- Gould, J. and Nissen-Peterson, E. (1999). *Rainwater Catchment Systems for DomesticSupply: Design, Construction and Implementation*. Intermediate Technology Publications,London.
- Gross A, Wiel-Shafran A, Bondarenko N, Ronen Z. (2008). Reliability of small scalegreywater treatment systems and the impact of its effluent on soil properties. *InternationalJournal of Environmental Studies*, 65(1), 41–50.
- Government of Western Australia, Department of Health. (2010). Code of Practice for the Reuse of Grey water in Western Australia. *Guide to Reusing Grey water*. Australia: Government of Western Australia,, Department of Health.
- Gross, A., Maimon, A., Alfiya, Y. and Friedler, E. (2015). *Greywater Reuse*. Boca Raton: CRC Press.
- Günther, F. (2000). Wastewater treatment by greywater separation: Outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden. *Ecological Engineering*, pp. 139-146. DOI: 10.1016/s0925-8574(99)00040-3.
- Harnett.L.W, Nicolson.J.D, Tennant.R.J, Dandy.G.C, Maier.H.R. (2009). Sustainabilitytrade-offs in the planning and design of cluster scale greywater reuse

- systems. 18th WorldIMACS/ MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17, July 2009.
- Hassell, C. (2005). Rainwater harvesting in the UK – a solution to increasing watershortages? Proceedings of the 12th International Conference on Rainwater Catchment CisternSystems. New Delhi, India.
- Health Canada. (2010). *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing*. Minister of Health. <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-reclaimed-recyclee-eau/alt/reclaimed-water-eaux-recyclees-eng.pdf>
- Hills S, Birks R, McKenzie B. (2002). The Millennium Dome “WaterCycle” experiment: toevaluate water efficiency and customer perception at a recycling scheme for 6 millionvisitors. *Water Sci. Technol.* 46(6–7):233–240.
- Hills, S., Smith, A., Hardy, P., Birks, R. (2001). Water recycling at the Millennium Dome. *Water Science Technology.* 43(10), 287-294.
- Holliman, T. R. (1998). Reclaimed water distribution and storage, in *Wastewater Reclamation and Reuse*, ed. T. Asano, Technomic Publishing, Pennsylvania, pp. 383-436.
- Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Prathapar, S., Al Harrasi, A., (2008). Evaluating greywaterreuse potential for sustainable water resources management in Oman. *Environ.Monit. Assess.* 137, 315e327.
- Jamrah, A., Al-Omari, A., Al-Qasem, L., & Ghani, N. A. (2006). Assessment of availability and characteristics of greywater in Amman. *Water international*, 31(2), 210-220.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R. and Judd, S. (2004). Greywatercharacterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 50(2), 157_164.
- Jefferson,B., Judd, S., and Diaper,C. (2001). Treatment methods for grey water. In *Decentralised sanitation and Reuse*, edited by Lens, P., Zeeman, G., and Lettinga, G., IWA Publishing, London.
- Jeffeson.B, Liane.A, Parson.S, Stephenson.T,andJudd,S. (1999). Technologies or domesicwastewater recycling *Urban Water*, 1, 285-292.

- Jenssen, P. D., Mæhlum, T., Krogstad, T., & Vråle, L. (2005). High performance constructed wetlands for cold climates. *Journal of Environmental Science and Health -Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 40(6–7), 1343–1353. <https://doi.org/10.1081/ESE-200055846>
- Jeppesen, B. & Solley, D. (1994). *Domestic Greywater Reuse: Overseas Practice and its Applicability to Australia*, Research Report No. 73, Urban Water Research Association of Australia, Melbourne.
- Jeppesen, B. (1994). Grey water Reuse. *Recycled Water Seminar*. AWWA NSW Branch: Newcastle: Newcastle City Hall Proceedings.
- Jeppesen, B. (1996). Model Guidelines for domestic greywater reuse for Australia. ReportNo. 107, Urban Water Research Association of Australia.
- Jeppesen, B. and Solley, D. (1994). Domestic greywater reuse – overseas practice and its applicability to Australia. Research Report No. 73, Urban Water Research Association of Australia.
- Karabelnik, K., Kõiv, M., Kasak, K., Jenssen, P. D., & Mander, Ü. (2012). High-strength greywater treatment in compact hybrid filter systems with alternative substrates. *Ecological Engineering*, 49, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.035>
- Karagüzel, Ö. (2020). Effects of different growing media on the cut flower performances of oriental two liliium varieties. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(5), 85–92. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201305.5173>
- Karimaian, K. A., Amrane, A., Kazemian, H., Panahi, R., & Zarrabi, M. (2013). Retention of phosphorous ions on natural and engineered waste pumice: Characterization, equilibrium, competing ions, regeneration, kinetic, equilibrium and thermodynamic study. *Applied Surface Science*, 284, 419–431. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.07.114>
- Karlsson, S. C., Langergraber, G., Pell, M., Dalahmeh, S., Vinnerås, B., & Jönsson, H. (2015). Simulation and verification of hydraulic properties and organic matter degradation in sand filters for greywater treatment. *Water Science and Technology*, 71(3), 426–433. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.003>
- Karpiscak, M.M., Foster, K.E. and Schmidt, N. (1990). Residential water conservation. *Journal of the American Water Resources Association*, 26 (6), 939-948.

- Kishino,H.,Ishida.H.,Iwabu,H., and Nakano,I. (1996). Domestic wastewater reuse using a submerged membrane bioreactor. *Desalination*, 160(1-3), 115-119.
- Kjerstadius, H., Bernstad Saraiva, A., & Spångberg, J. (2016). Can source separation increase sustainability of sanitation management? *VA-Teknik Södra, Report No.(05)*, Sweden. https://va-tekniksodra.se/wp-content/uploads/2016/10/Source-separation-systems_LCA-05_2016.pdf
- Konig, K. W. (2001). *The Rainwater Technology Handbook: Rainwater Harvesting inbuilding*. Wilo-Brain, Dortmund.
- Lakho, F. H., Vergote, J., Ihsan-Ul-Haq Khan, H., Depuydt, V., Depreeuw, T., Van Hulle, S. W. H., & Rousseau, D. P. L. (2021). Total value wall: Full scale demonstration of a green wall for grey water treatment and recycling. *Journal of Environmental Management*, 298(August), 113489. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113489>
- Lamine.M., Bousselmi.L., Ghrabi.A. (2007). Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination*. 215(1-3), 127-132.
- Landcom (2006). *Wastewater reuse in the Urban Environment: selection of technologies*.
- Larsen, T. A., Hoffmann, S., Lüthi, C., Truffer, B., & Maurer, M. (2016). Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science*, 352(6288), 928–933. <https://doi.org/10.1126/science.aad8641>
- Lazarova, V., Hills S. and Birks R. (2003). Using recycled water for non-potable, urban uses;a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology*, 3(4), 69-77.
- Leggett, D., Brown, R., Brewer, D., Stanfield, G. and Holliday, E. (2001a). *Rainwater and greywater use in buildings. Best practice guidance*. CIRIA publications, C539. Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), London.
- Leggett, D.J. (2001). *Rainwater and greywater use in buildings: Decision-making for water conservation*, CIRIA, London.
- Leggett, D.J. and Shaffer, P. (2002). *Buildings that save water – rainwater and greywater use*. Proceedings Institution of Civil Engineers (Municipal), 151(3), 189-196.
- Leggett, D.J., Brown, R., Stanfield, G., Brewer, D. & Holliday, E. (2001b). *Rainwater and greywater use in buildings: decision-making for water conservation*. CIRIA report PR80, London.

- Leong, J., Chong, M., Poh, P. (2017). Assessment of greywater quality and performance of a pilotscale decentralised hybrid rainwater-greywater system. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 172. pp. 81-91. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.172.
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. In *Science of the Total Environment* (Vol. 407, Issue 11, pp. 3439–3449). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>
- Lindstrom, C., (2000), Sample soil beds for greywater irrigation and infiltration [Online], Available:<http://www.greywater.com> [01 February 2023].
- Liu, S., Butler, D., Memon, F.A., Makropoulos, C., Avery, L. and Jefferson, B. (2010). Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. *Water research*, 44(1), 267-277.
- Livsmedelverket. (2001). Statens livsmedelverks föreskrifter om dricksvatten (SLVFS 2001:30). Uppsala: Livsmedelverket.
- Lodge, B.N. (2000). A water recycling plant at the Millennium Dome. *ICE Proceedings*, Special Issue 1, pp58-64.
- Lodge, B., S.J. Judd, S.J., and Smith, A.J. (2004). Characterisation of dead-end ultra filtration of biotreated domestic wastewater. *Membr. Sci.*, 231(1–2), 91–98.
- Lofrano, G. & Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408, 5254-5264.
- Lombardo, P. (1982). Expanding options for greywater treatment. *Biocycle*, 23(3), 45–49.
- Lundin, M. and Morrison, G.M. (2002). A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems, *Urban Water*, 4, 145–152.
- Mahmoudi, A., Mousavi, S. A., & Darvishi, P. (2021). Greywater as a sustainable source for development of green roofs: Characteristics, treatment technologies, reuse, case studies and future developments. *Journal of Environmental Management*, 295(June), 112991. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112991>
- Maimon A, Tal A, Friedler E, and Gross A. (2010). "Safe on-Site Reuse of Greywater for Irrigation - A Critical Review of Current Guidelines." *Environmental Science & Technology*, 44(9):3213-3220.
- Mandal, D., Labhassetwar, P., Dhoni, S., Dubey, A. S., Shinde, G., & Wate, S. (2011). Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting

- withspecificcontext to developing countries. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 356-361.
- Masi, F., Bresciani, R., Rizzo, A., Edathoot, A., Patwardhan, N., Panse, D., & Langergraber, G. (2016). Green walls for greywater treatment and recycling in dense urban areas: A case-study in Pune. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 6(2), 342–347. <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.019>
- McConville, J. R., Kvarnström, E., Jönsson, H., Kärrman, E., & Johansson, M. (2017). Source separation: Challenges & opportunities for transition in the Swedish wastewater sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.12.004>
- McGhee.T.J. (1991). *Water Supply and Sewerage*, McGraw-Hill Book Co, Singapore.
- Melin.T, Jefferson.B, Bixio.D, Thoeye.C, De Wilde.W, De Koning.J, Van der Graaf.J, Wintgens.T.(2006). Membrane bioreactors technology for wastewater treatment and reuse. *Desalination*, 187 (1-3),27/1282 , 0011-9164.
- Memon, F.A., Butler, D., Han, W., Liu, S., Makropoulos, C., Avery, L. and Pidou, M.(2005). Economic assessment tool for greywater recycling systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Engineering Sustainability*, 158, ES3, 155-161.
- Mendoza-EspinosA.L., Stephenson, T. (1999). A review of Biological Aerated Filters (BAFs) for wastewater treatment. *Environmental Engineering Science*. 16(3).201-216.
- Milne (1979). *Residential Water Re-use*, 46, University of California.
- Moges, M. E., Eregno, F. E., & Heistad, A. (2015). Performance of biochar and filtralite as polishing step for on-site greywater treatment plant. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 26(4), 607–625. <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2014-0101>
- Monteleone, M., Yeung, H. & Smith, R. (2007). A review of Ancient Roman watersupply exploring techniques of pressure reduction. p.2.
- Mourad, K. A., Berndtsson, J. C., &Berndtsson, R. (2011). Potential freshwater saving using greywater in toilet flushing in Syria. *Journal of environmentalmanagement*, 92(10), 2447-2453.
- Newnham, D. (1993). Dual Distribution Systems. *Water Environment & Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 60-62.

- Nguyen, X. C., Ly, Q. V., Peng, W., Nguyen, V.-H., Nguyen, D. D., Tran, Q. B., Huyen Nguyen, T. T., Sonne, C., Lam, S. S., Ngo, H. H., Goethals, P., & Van Le, Q. (2021). Vertical flow constructed wetlands using expanded clay and biochar for wastewater remediation: A comparative study and prediction of effluents using machine learning. *Journal of Hazardous Materials*, 413(January), 125426. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125426>
- Nnaji C.C., Mama C., Ekwueme A. and Utsev T. (2013). Feasibility of a Filtration-Adsorption Grey Water Treatment System for Developing Countries. *Hydrology: Current Research*, Vol. S1 (01), pp. 2-6. DOI: 10.4172/2157-7587.S1-006.
- Nolde, E. (1999). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings- over ten years experience in Berlin, *Urban Water*, 1(4),275-284.
- Nolde, E. (2000). Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings–over ten years experience in Berlin. *Urban water*, 1(4), 275-284.
- Nolde, E. (2005). Greywater recycling systems in Germany results, experiences and guidelines. *Water Science & Technology*, 51(10), 203-210.
- Nolde, E. and Arinaitwe, E. (2018). *Getting to know the greywater treatment system at the Roof Water Farm in Berlin, Germany*. (2018.02.07).
- Nolde, E., Katayama, V., Bertling, R., Gehrke, I., Dinske, J., Bürgow, G. and Million, A. (2016). ROOF WATER FARM: A multidisciplinary approach to integrate wastewater reuse with urban agriculture. In: *4th Annual Water Efficiency Conference 2016*. Coventry: 7-19 September, 2016.
- Nolde, E. (1995). Betriebswassernutzung in HaushaltdurchAufbereitung von Grauwasser. *Wasserwirtschaft und Wassertechnik*.
- Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Charchousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., Mantziaras, I., & Koumaki, E. (2018). Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management*, 216(June), 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.094>
- Novotny, V., J. Ahern and P. Brown (2010). *Water Centric Sustainable Communities: Planning, Retrofitting and Building the Next Urban Environment*, J. Wiley, Hoboken, NJ

- OECD (2009). Alternative ways of providing water, Emerging options and their policy implications. Advanced copy for 5th World Water Forum.<http://www.oecd.org/env/resources/42349741.pdf> (Accessed 14/11/2022).
- Office of the Queensland Parliamentary Counsel. (2011). Queensland Plumbing and Wastewater Code. Grey water use facilities. Australia: Office of the Queensland Parliamentary Counsel.
- Ogoshi, M., Suzuki, Y. and Asano, T. (2001) Water reuse in Japan. *Wat. Sci. Tech.*, 43(10), 17–23.
- Öhrn Sagrelius, P., Blecken, G., Hedström, A., Ashley, R., & Viklander, M. (2022). Environmental impacts of stormwater bioretention systems with various design and construction components. *Journal of Cleaner Production*, 359(April), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132091>
- Onn, L. P. (2003). The Water Issue Between Singapore and Malaysia: No Solution In Sight? *Economics and Finance*, no. 1.
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8>
- Ottoson, J., and Stenstrom, T. A. (2003). "Faecal contamination of greywater and associated microbial risks." *Water Research*, 37,645-655.
- Palmquist, H., & Hanæus, J. (2005). Hazardous substances in separately collected grey and blackwater from ordinary Swedish households. *Science of the Total Environment*, 348(1–3), 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.052>
- Parsons, S. and Jefferson, B. (2006). Introduction to potable water treatment processes, Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Paul, I. & Bray, R. (2004). SUDS in a school context. Proc. of 25th meeting of the Standing conference on Stormwater Source Control: Quantity and Quality. Coventry University, Friday 20th February 2004.
- Penn, R.a ,Schütze, M.b , Friedler, E.a (2013). Modelling the effects of on-site greywater reuse and low flush toilets on municipal sewer systems, *Journal of Environmental Management*, 114, pp. 72-83.

- Pidou, M., Memon, F.A., Stephenson, T., Jefferson, B. and Jeffrey, P. (2007). Greywater recycling: treatment option and applications, Institution of Civil Engineers. Proceedings.Engineering Sustainability, 160, 119-131.
- Po, M., Kaercher, J. D. & Nancarrow, B. E. (2003). *Literature Review of Factors Influencing Public Perceptions of Water Reuse*, CSIRO Land and Water.
- Prabha, D., Laxmipriya, G., Sudha, S., Sujatha, K., & Sivakumar, S. (2021). Evaluation of the efficiency of native plant species integrated with sand filters for greywater reclamation: a pilot study. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 209, 182–196. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26519>
- Pradhan, S., Helal, M. I., Al-Ghamdi, S. G., & Mackey, H. R. (2020). Performance evaluation of various individual and mixed media for greywater treatment in vertical nature-based systems. *Chemosphere*, 245, 125564. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125564>
- Prathapar, S. A., Ahmed, M., Jamrah, A., Al Adawi, S., Al Harassi, A., and Sidiari, S. (2005) Overcoming constraints for greywater reuse in Oman, *Desalination*, 186, 177-186.
- Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., & Deletic, A. (2020). Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution treatment and reuse. *Journal of Environmental Management*, 261(September 2019), 110173. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110173>
- Prodanovic, V., Hatt, B., McCarthy, D., Zhang, K., & Deletic, A. (2017). Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal. *Ecological Engineering*, 102, 625–635. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.045>
- Prodanovic, V., Zhang, K., Hatt, B., McCarthy, D., & Deletic, A. (2018). Optimisation of lightweight green wall media for greywater treatment and reuse. *Building and Environment*, 131(December 2017), 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.015>
- Public Utilities Board, (2004), *NEWater Sustainable Water Supply* [Online], Available: <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater> [20 February 2023].
- Pucher, B., Zluwa, I., Spörl, P., Pitha, U., & Langergraber, G. (2022). Evaluation of the multifunctionality of a vertical greening system using different irrigation strategies on cooling, plant development and greywater use. *Science of the Total Environment*, 849(March). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157842>

- Ramon, G., Green, M., Semiat, R. and Dosoretz, C. (2004). Low strength graywater characterization and treatment by direct membrane filtration. *Desalination* 170, 241- 250.
- Ratcliffe, J. (2002). Telford rainwater harvesting project. Proc. of 22nd meeting of the Standing Conference on Stormwater Source Control: Quantity and Quality. Coventry University, 13th February 2002.
- Ravichandran, M. K., Yoganathan, S., & Philip, L. (2021). Removal and risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in a decentralized greywater treatment system serving an Indian rural community. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 106832. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106832>
- Roebuck, R.M (2007). A Whole Life Costing Approach for Rainwater Harvesting Systems. PhD thesis, University of Bradford, Bradford, UK.
- Roesner, L., Qian, Y., Criswell, M., Stromberger, M., Klein, S., (2006). Long-term effects of landscape irrigation using household gray water- Literature review and synthesis. Colorado State University. Water Environment Research Foundation. https://www.buttecounty.net/Portals/21/Env_Health/Wastewater/GrayWaterStudy.pdf (Accessed on 14/11/2022).
- Rose, J.B., Sun, G., Gerba C.P. and Sinclair, N.A. (1991). Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources. *Water Research* 25(1), 37- 42.
- Sadrmanesh, V., & Chen, Y. (2019). Bast fibres: structure, processing, properties, and applications. *International Materials Reviews*, 64(7), 381–406. <https://doi.org/10.1080/09506608.2018.1501171>
- Sanchez, M., Rivero, M. J., & Ortiz, I. (2010). Photocatalytic oxidation of grey water over titanium dioxide suspensions. *Desalination*, 262(1–3), 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.060>
- Santala, E., Uotila, J., Zaitsev, G., Alasiurua, R., Tikka, R. and Tnegvall, J. (1998). Microbiological greywater treatment and recycling in an apartment building. IN: AWT98 – Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse: Milan, 14–16 September 1998, 319– 324.
- Sayers, D. (2000). A study of domestic greywater recycling. National Water Demand Management Centre, Environment Agency, Worthing, UK.

- Shaffer, P., Elliott, C., Reed, J., Holmes, J. & Ward, M. (2004). Model agreements for sustainable water management systems: model agreements for rainwater and greywater use systems. CIRIA report C626, London.
- Shaikh, I. N., & Ahammed, M. M. (2020). Quantity and quality characteristics of greywater: A review. *Journal of Environmental Management*, 261(January), 110266. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110266>
- Shaikh, I. N., & Ahammed, M. M. (2021). Effect of operating mode on the performance of sand filters treating greywater. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(28), 38209–38223. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13413-8>
- Shanableh, A., Imteaz, M., Merabtene, T, Ahsan, A. (2012). A framework for reducing water demand in multi-storey and detached dwellings in the United Arab Emirates. WSUD 2012 - 7th International Conference on Water Sensitive Urban Design: Building the Water Sensitive Community, Final Program and Abstract Book, 18 p.
- Shrestha, R. R., Haberl, R. and Laber, J. (2001). Constructed technology transfer to Nepal. *Water Science and Technology*, 43(11), p. 345-350.
- Surrendran, S. & Wheatley, A. (1998). Grey water reclamation for non-potable re-use. *J.CIWEM*, 12(6), 406-413.
- Surrendran, S.S. (2001). The development of an In-House greywater and roof water reclamation system for large institutions, during 1994 to 1998. PhD thesis, department of civil and building engineering, Loughborough University.
- Swedish Environmental Protection Agency, SEPA. (2000). *Environmental Quality Criteria. Lakes and Watercourses*. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency
- Sydney Water (2001). *Rouse Hill Area: Community Views on Recycled Water, Post Commissioning*, Eureka Strategic Research, Sydney.
- Thomas TH, Martinson DB (2007). Roofwater harvesting; a handbook for practitioners. IRC International Water and Sanitation Centre. Technical paper, series no 49. Delft, The Netherlands.
- Thomas, J. F., Gomboso, J., Oliver, J. E. & Ritchie, V. A. (1997). *Wastewater Re-use, Stormwater Management, and the National Water Reform Agenda: Report to the Sustainable Land and Water Resources Management Committee and to the Council of Australian Governments National Water Reform Task Force*, CSIRO Land and Water, Black Mountain, Australia.

- Thompson, K. A., Shimabuku, K. K., Kearns, J. P., Knappe, D. R. U., Summers, R. S., & Cook, S. M. (2016). Environmental Comparison of Biochar and Activated Carbon for Tertiary Wastewater Treatment. *Environmental Science and Technology*, 50(20), 11253–11262. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03239>
- Tjandraatmadja, G., Sharma, A.K, Grant, T., Pamminger, F. (2013). A Decision Support Methodology for Integrated Urban Water Management in Remote Settlements. *Water Resources Management*, 27 (2), pp. 433-449.
- Tombola, R., Buttiglieri, G., Auset, M., & Gonzalez-Olmos, R. (2019). Recycled corrugated wire hose cover as biological carriers for greywater treatment in a sequential batch biofilm reactor. *Journal of Environmental Management*, 240(April), 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.116>
- Travis, M. J., Wiel-Shafran, A., Weisbrod, N., Adar, E., & Gross, A. (2010). Greywater reuse for irrigation: Effect on soil properties. *Science of the Total Environment*, 408(12), 2501–2508. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.005>
- Trazzi, P. A., Leahy, J. J., Hayes, M. H. B., & Kwapinski, W. (2016). Adsorption and desorption of phosphate on biochars. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.005>
- Tsoumachidou, S., Velegraki, T., Antoniadis, A., & Poullos, I. (2017). Greywater as a sustainable water source: A photocatalytic treatment technology under artificial and solar illumination. *Journal of Environmental Management*, 195, 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.025>
- Tufvesson, A. (2009). *Graywater treatment and technology* [Online]. Australia: WorldPublishing Info. Available: <http://www.worldplumbinginfo.com/grey-water-treatment-andtechnology>[Accessed September 2012].
- Ujang,Z., Henze.M. (2006). *Municipal Wastewater Management in Developing Countries: Principles and Engineering*, IWA Publishing, London.
- USEPA. (2012). *Guidlines for Water Reuse*. U.S. Environmental Protection Agency, September, 643. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>
- Vítězová, M., Jančíková, S., Dordević, D., Vítěz, T., Elbl, J., Hanišáková, N., Jampílek, J., & Kushkevych, I. (2019). The possibility of using spent coffee grounds to improve

- wastewater treatment due to respiration activity of microorganisms. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(15), 1–10. <https://doi.org/10.3390/app9153155>
- Vuorinen, H., Juuti, P. & Katko, T. (2007). History of water and health from ancient civilizations to modern times. *Water Science & Technology: Water Supply*, 7, 49-57.
- Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. In *Nature-based solutions to address global societal challenges*. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.13.en>
- Water Regulations Advisory Service (WRAS) (1999). IGN 9-02-04 Reclaimed Water Systems: Information about installing, modifying or maintaining reclaimed water systems.
- WECD (1987). Our common future. Report of the world commission on environment and development, Oxford University Press, Oxford.
- WHO, O. W. H. (2006). Safe use of wastewater, excreta and greywater guidelines. Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture. *World Health Organization, IV*, 204.
- Wickstead F. A. (2011). Quantifying the benefits of grey water systems. Masters of Science, Georgia Institute of Technology.
- Wilderer PA. (2004). Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: Some thoughts about reasons, means and needs. *Water Sci Technol*, 49 (7), 7-16.
- Williams, R. (1997). Wastewater Reuse in Urban Situations in Australia, South Africa, Namibia, England and the United States, in *Beneficial Reuse of Water and Biosolids*, Malaga, Spain.
- Winward, G.P., Avery, L.M., Stephenson, T., Jefferson, B. (2008). Chlorine disinfection of grey water for reuse: effect of organics and particles. *Water Res.* 42, 483–491.
- Woods.A.P, Dixon.A.B (2001). Sustaining the flow: Community management of highland wetlands in south-west Ethiopia. In: *Mountains of the World: Community Development between Subsidy, Subsidiary and Sustainability*. Proceedings of the World Mountain Symposium, 30 September-4 October, Interlaken, Switzerland, SDC.
- Woods-Ballard B (2007). *The SUDS Manual C697* (ISBN: 978-0- 86017-697-8). CIRIA, London, UK.

- Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications*, 1(5). <https://doi.org/10.1038/ncomms1053>.
- World Health Organisation. (1973). Reuse of effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards. *World Health Organisation Technical report*. Switzerland.
- World Health Organisation. (1989). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. *World Health Organisation Technical report*. Switzerland.
- World Health Organisation. (2006). WHO Guidelines for the Safe use of Wastewater, Excreta and Grey water. *Policy and regulatory aspects*. France.
- Wu, B. (2019). Membrane-based technology in greywater reclamation: A review. *Science of the Total Environment*, 656, 184–200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.347>
- Young, R. E., Thompson, K. A., McVicker, R. R., Diamond, R. A., Gingras, M. B., Ferguson, D., Johannesse, J., Herr, G. K. & Parsons, J. J. (1998). Irvine Ranch water district's reuse today meets tomorrow's conservation needs', in *Wastewater Reclamation and Reuse*, ed. T. Asano, Technomic Publishing, Pennsylvania, pp. 941-1036.
- Zhang, D., Gersber, R.M., Wilhelm, C., Voigt, M. (2009). Decentralized Water Management Rainwater Harvesting and Greywater Reuse in Urban Area of Beijing, China. *Urban Water Journal*, 6(5), 375-385.
- Zhang Y, Grant A, Sharma A, Chen D, Chen L. (2010). Alternative water resources or rural residential development in western Australia. *Water Resource Management*, 24 (1), 25-36.
- Zhu, J., Wagner, M., Cornel, P., Chen, H., & Dai, X. (2018). Feasibility of on-site greywater reuse for toilet flushing in China. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.086>
- Zraunig, A., Estelrich, M., Gattringer, H., Kissler, J., Langergraber, G., Radtke, M., Rodriguez-Roda, I., & Buttiglieri, G. (2019). Long term decentralized greywater treatment for water reuse purposes in a tourist facility by vertical ecosystem. *Ecological Engineering*, 138(June), 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.003>



*«Παπασταύρου Σταύρος», «Ανακύκλωση – επαναχρησιμοποίηση
γκρίζου νερού: Μέθοδοι επεξεργασίας και εφαρμογές»*

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.