



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΑΚΙΩΝΗΣ

Αποτίμηση χαρακτηριστικών γκρίζου νερού και συστημάτων διαχείρισής του προς επαναχρησιμοποίηση.

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Ελένη Γρηγοροπούλου

2012

Πρόλογος

Η παρακάτω λέξη δικαίως καταλαμβάνει θέση στο πρόλογο, αφού ούτε λίγο ούτε πολύ χρησιμοποιήθηκε περισσότερο από όλες τις άλλες εκτός του νερού στην παρούσα εργασία.

Επαναχρησιμοποίηση = Reuse

Πραγματικά είναι απορίας άξιο το πώς μια λέξη που χρειάζεται 18 γράμματα για να αποδοθεί στην Ελληνική ορολογία, αποδίδεται στην Αγγλική με μόνο 5 γράμματα. Αυτό υποδηλώνει και την μοναδικότητα της γλώσσας μας, η οποία δοκιμάζεται με το πέρασμα των αιώνων. Αποτελεί χρέος μας η διατήρηση της και η εκμάθησή της, ιδιαίτερα σε δύσκολους καιρούς όπως τώρα.

Αισθάνομαι, επίσης, την ανάγκη να ευχαριστήσω την υπεύθυνη καθηγήτρια κα. Ελένη Γρηγοροπούλου για την καθοδήγηση της, καθώς και την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράστασή της. Χωρίς την αρωγή τους, δεν θα είχε πραγματοποιηθεί η εν λόγω διπλωματική.

Περίληψη

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ρύπανση των επιφανειακών και υπογείων νερών, η άνιση κατανομή των υδάτινων πόρων, έχουν οδηγήσει τους οργανισμούς ύδρευσης σε αναζήτηση νέων πηγών υδάτινων αποθεμάτων. Η χρήση των επαρκώς επεξεργασμένων εκροών υγρών αποβλήτων, οι οποίες εκβάλλουν στο περιβάλλον από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων, συγκεντρώνει όλο και περισσότερο ενδιαφέρον ως μια βιώσιμη λύση. Σε πολλές περιοχές η επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελεί ήδη σημαντικό στοιχείο στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Ενώ η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι μια βιώσιμη επιλογή, η διατήρηση των υδάτινων αποθεμάτων, η ορθολογική χρήση του νερού από τους υπάρχοντες οργανισμούς ύδρευσης και η ανάπτυξη και διαχείριση νέων υδάτινων πόρων, είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση των βασικών αρχών και των θεμάτων που σχετίζονται με την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού. Όταν λέμε για γκρίζο νερό, εννοούμε τα αστικά λύματα που προέρχονται αποκλειστικά από εγκαταστάσεις υγιεινής (πλυντήριο, λουτρό, κ.α.) και δεν περιέχουν συμπυκνωμένα ανθρώπινα υγρά απόβλητα (αποχωρητήρια, κ.α.) ή υγρά απόβλητα τροφίμων (νεροχύτης, κ.α.). Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζεται τεχνική διαχείρισης γκρίζου νερού με βάση την διήθηση σε βιοαντιδραστήρα μεμβρανών και απολύμανση με UV για επαναχρησιμοποίηση προς άρδευση.

Πίνακες

- Πίνακας 1. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης των αστικών λυμάτων [1]
- Πίνακας 2. Εξοικονόμηση κατ' οίκον [2]
- Πίνακας 3. Συνήθεις ροές νερού από χρήσεις σπιτιών στις ΗΠΑ [2]
- Πίνακας 4. Τυπικές συγκεντρώσεις ιόντων από οικιακές χρήσεις [2]
- Πίνακας 5. Ροές απορρυπαντικών & συγκεντρώσεις ιόντων [2]
- Πίνακας 6. Ταξινόμηση τυπικών συστατικών στα υγρά απόβλητα [1]
- Πίνακας 7. Παθογόνοι οργανισμοί σε γκρίζο νερό [7]
- Πίνακας 8. Συνοπτική περιγραφή των οδηγιών της EPA για την επαναχρησιμοποίηση του νερού [1]
- Πίνακας 9. Απομάκρυνση συστατικών υγρών αποβλήτων για ανάκτηση νερού [1]
- Πίνακας 10. Τυπικές εκροές μετά από διάφορα στάδια επεξεργασίας [1]
- Πίνακας 11. Περιγραφή λειτουργίας SBR [1]
- Πίνακας 12. Κυριότεροι τύποι πολυμερικών μεμβρανών [19]
- Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά διαφόρων συστημάτων MBR [2]
- Πίνακας 14. Τυπικά δεδομένα λειτουργίας MBR [1]
- Πίνακας 15. Κινητικοί συντελεστές για ετερότροφα βακτήρια στους 20 °C [2]
- Πίνακας 16. Προβλήματα στη λειτουργία ανοικτών δεξαμενών νερού [2]
- Πίνακας 17. Προβλήματα στη λειτουργία κλειστών δεξαμενών νερού [2]
- Πίνακας 18. Αντιμετώπιση προβλημάτων στην αποθήκευση ανακτημένου νερού [2]
- Πίνακας 19. Τύποι κυριότερων αγροτικών καλλιεργειών για άρδευση με ανακτημένο νερό [2]
- Πίνακας 20. Οδηγίες για τον καθορισμό της ποιότητας άρδευσης [2]
- Πίνακας 21. Μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε ανακτημένο νερό άρδευσης [2]

Σχήματα

- Σχήμα 1. Υδρολογικός κύκλος [1]
- Σχήμα 2. Κυριότερες πηγές γκρίζου νερού [6]
- Σχήμα 3. Σύσταση υγρών αποβλήτων [20]
- Σχήμα 4. Διαχείριση μεταδιδόμενων ασθενειών από την επεξεργασία του νερού [5]
- Σχήμα 5. Κατευθυντήριες γραμμές για την ασφαλή χρήση ανακτημένου νερού στην γεωργία [5]
- Σχήμα 6. Μόλυνση νερού από παθογόνα [9]
- Σχήμα 7. Μέθοδοι επεξεργασίας γκρίζου νερού [5]
- Σχήμα 8. Συστήματα τριτοβάθμιας επεξεργασίας για ανάκτηση νερού [1]
- Σχήμα 9. Προχωρημένη επεξεργασία ανακτημένου νερού με διάφορα συστήματα διήθησης [2]
- Σχήμα 10. Κατασκευασμένος υγρότοπος [6]
- Σχήμα 11. Αμμόφιλτρο [5]
- Σχήμα 12. Βιοφίλτρο [23]
- Σχήμα 13. Κροκίδωση-συσσωμάτωση-καθίζηση [24]
- Σχήμα 14. Διάταξη οζονισμού [1]
- Σχήμα 15. Περιστρεφόμενος βιολογικός δίσκος [3]
- Σχήμα 16. Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου [3]
- Σχήμα 17. Διάγραμμα βιοαντιδραστήρων μεμβρανών [1]
- Σχήμα 18. Σύγκριση τεχνολογίας μεμβρανών [1]

- Σχήμα 19. Υφιστάμενη μονάδα MBR σε κάμπινγκ [26]
- Σχήμα 20. Διάγραμμα ροής επεξεργασίας [2]
- Σχήμα 21. Εξισώσεις για το χαρακτηρισμό των υγρών αποβλήτων [2]
- Σχήμα 22. Συγκέντρωση παρεμποδιστών σε διάλυση [1]
- Σχήμα 23. Σταθερά ημίσειας ταχύτητας σε σχέση με τη θερμοκρασία [1]
- Σχήμα 24. Εκτίμηση παραγωγής ιλύος [1]
- Σχήμα 25. Συγκεντρώσεις βιομάζας για πτητικά & ολικά αιωρούμενα στερεά [1]
- Σχήμα 26. Παραγωγή ιλύος σε πτητικά & ολικά αιωρούμενα στερεά
- Σχήμα 27. Λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς [2]
- Σχήμα 28. Ελάχιστη απαίτηση σε αέρα [19]
- Σχήμα 29. Ρυθμός ροής σε σχέση με την αντίσταση μεμβράνης και την πτώση πίεσης [19]
- Σχήμα 30. Βυθιζόμενος αντιδραστήρας μεμβρανών (κασέτες) [1]
- Σχήμα 31. Οριζόντιο & κατακόρυφο σύστημα απολύμανσης UV ανοικτού τύπου [1]
- Σχήμα 32. Σύστημα απολύμανσης UV κλειστού τύπου [1]
- Σχήμα 33. Δόση UV σε σχέση με τη συγκέντρωση των βακτηριδίων [1]
- Σχήμα 34. Σχέση προσρόφησης νατρίου - SAR [2]
- Σχήμα 35. Επίδραση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και SAR στη διήθηση εδάφους [2]
- Σχήμα 36. Εναλλακτικό σύστημα διαχείρισης γκρίζου νερού [6]
- Σχήμα 37. Λεκάνη συνδεδεμένη με νιπτήρα
- Σχήμα 38. Φίλτρο απομάκρυνσης ινών σε πλυντήρια [6]

Περιεχόμενα

| | |
|--|-----|
| Πρόλογος..... | ii |
| Περίληψη..... | iii |
| Πίνακες..... | iv |
| Σχήματα..... | v |
| Κεφάλαιο 1 ^ο . Εισαγωγή..... | 1 |
| 1.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ..... | 1 |
| 1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ..... | 4 |
| 1.3 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ..... | 8 |
| Κεφάλαιο 2 ^ο . Γκρίζο νερό..... | 9 |
| 2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ..... | 9 |
| 2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΚΡΙΖΟΥ ΝΕΡΟΥ..... | 12 |
| 2.3 ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ..... | 16 |
| 2.4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ..... | 21 |
| Κεφάλαιο 3 ^ο . Τεχνολογίες ανάκτησης γκρίζου νερού..... | 27 |
| 3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ..... | 27 |
| 3.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ..... | 29 |
| 3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ..... | 32 |
| Κεφάλαιο 4 ^ο . Φυσικοχημικές & βιολογικές διεργασίες..... | 37 |
| 4.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ..... | 37 |
| 4.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ..... | 40 |
| 4.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ..... | 43 |
| Κεφάλαιο 5 ^ο . Μελέτη περίπτωσης..... | 49 |
| 5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ MBR ΣΕ ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ..... | 49 |
| 5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΣΟΔΟΥ..... | 55 |
| 5.3 ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΡΟΗΣ..... | 56 |
| 5.4 ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ..... | 58 |
| 5.5 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ UV..... | 69 |
| Κεφάλαιο 6 ^ο . Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού..... | 74 |

| | |
|---|-----|
| 6.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ | 74 |
| 6.2 ΑΡΔΕΥΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ..... | 80 |
| 6.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ | 86 |
| Κεφάλαιο 7 ^ο . Συμπεράσματα..... | 91 |
| Συνομογραφίες..... | 93 |
| Βιβλιογραφία | 96 |
| Παράρτημα Ι..... | 98 |
| Παράρτημα ΙΙ..... | 101 |
| Παράρτημα ΙΙΙ..... | 104 |
| Παράρτημα ΙV..... | 107 |

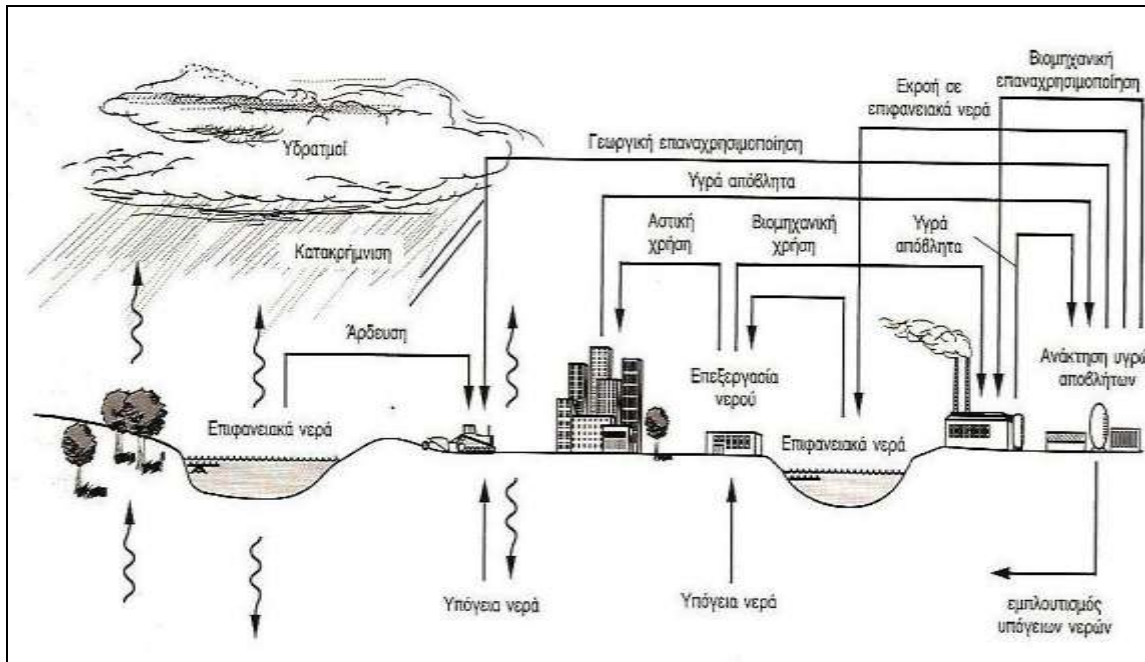
Κεφάλαιο 1^ο. Εισαγωγή

1.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Ο υπολογισμός της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης του νερού στο σύστημα των υδάτινων πόρων αντανακλά την αυξανόμενη ανάγκη για την εξυπηρέτηση των κοινωνικών αναγκών, την τεχνολογική πρόοδο, την αυξανόμενη κοινωνική αποδοχή και την βελτίωση της κατανόησης των κινδύνων της δημόσιας υγείας. Παραδοσιακά ο υδρολογικός κύκλος έχει χρησιμοποιηθεί για να παρουσιάσει τη συνεχόμενη μεταφορά του νερού στο περιβάλλον. Ο κύκλος του νερού αποτελείται από γλυκά και αλμυρά επιφανειακά νερά, υποεπιφανειακά και υπόγεια νερά, που σχετίζονται με διάφορες επίγειες δραστηριότητες και νερά σε μορφή υδρατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Επίσης υπάρχουν δευτερεύοντες κύκλοι στον υδρολογικό κύκλο, οι οποίοι σχετίζονται με τη μηχανική μεταφορά του νερού. Η ανάκτηση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελούν σημαντικά στοιχεία του υδρολογικού κύκλου στις αστικές, βιομηχανικές και αγροτικές περιοχές. Στο σημείο αυτό δίνονται οι ορισμοί των όρων ανάκτηση, ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο παρόν κείμενο.

- ✓ **Ανάκτηση νερού** = Επεξεργασία ή διαχείριση των υγρών αποβλήτων που τα καθιστούν επαναχρησιμοποιήσιμα. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται συχνά για να περιλάβει τη διανομή του νερού στο χώρο χρήσης και τον ακριβή προσδιορισμό της χρήσης του.
- ✓ **Ανακύκλωση νερού** = Η χρήση των υγρών αποβλήτων τα οποία συλλέγονται και ανατροφοδοτούνται πίσω στο ίδιο σύστημα χρήσης νερού. Στην πράξη, ο όρος αυτός έχει επικρατήσει στην βιομηχανία και αναφέρεται σε βιομηχανικές μονάδες.
- ✓ **Επαναχρησιμοποίηση νερού** = Η χρήση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για ωφέλιμο σκοπό, όπως γεωργική άρδευση και βιομηχανική ψύξη.

Στο **Σχήμα 1** απεικονίζονται οι βασικές αρχές του κύκλου του νερού από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδάτινους πόρους στις διεργασίες επεξεργασίας του νερού για άρδευση, για αστικές και βιομηχανικές εφαρμογές και στις διεργασίες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης.



Σχήμα 1. Υδρολογικός κύκλος [1]

Οι κυριότεροι τρόποι επαναχρησιμοποίησης του νερού περιλαμβάνουν άρδευση, βιομηχανική χρήση, συμπλήρωση των επιφανειακών νερών και εμπλουτισμό των υπογείων νερών. Η συμπλήρωση των επιφανειακών νερών και ο εμπλουτισμός των υπογείων νερών γίνεται επίσης μέσω φυσικών λεκανών απορροής και μέσω της διείσδυσης των νερών άρδευσης και των βρόχινων νερών. Η ποσότητα του μεταφερόμενου νερού μέσω κάθε διαδρομής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, από κλιματικούς και υδρογεωλογικούς παράγοντες, από το βαθμό χρησιμοποίησης του νερού στις διάφορες εφαρμογές και το βαθμό άμεσης ή έμμεσης επαναχρησιμοποίησης του νερού.

Το νερό που χρησιμοποιείται ή επαναχρησιμοποιείται για άρδευση γεωργικών εκτάσεων και κήπων περιλαμβάνει γεωργικές, οικιακές, εμπορικές και αστικές εφαρμογές. Η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση είναι μια γενική κατηγορία η οποία περιλαμβάνει τη χρήση του νερού από διάφορες βιομηχανίες όπως παραγωγή ενέργειας, χαρτοβιομηχανίες και άλλες βιομηχανίες που απαιτούν μεγάλες ποσότητες νερού. Σε μερικές περιπτώσεις έχουν αναπτυχθεί κλειστά κυκλώματα ανακύκλωσης, τα οποία επεξεργάζονται το νερό που χρησιμοποιείται σε μια συγκεκριμένη διαδικασία και το επιστρέφουν πίσω στη διεργασία με

την προσθήκη ορισμένης ποσότητας φρέσκου νερού. Σε άλλες περιπτώσεις ανακτημένο αστικό νερό χρησιμοποιείται για βιομηχανικές εφαρμογές όπως σε πύργους ψύξης.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο το 75% των επεξεργασμένων λυμάτων που ανακτώνται χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς, ενώ το υπόλοιπο ανακατανέμεται στην αναπλήρωση των υπογείων υδάτων, στην βιομηχανία και σε αστικές εφαρμογές. Τα αίτια που καθιστούν την επαναχρησιμοποίηση του νερού ολοένα και πιο συμφέρουσα λύση είναι:

- Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση νερού.
- Οι ξηρασίες, οι περιορισμένοι και υποβαθμισμένοι υδάτινοι πόροι.
- Η απαγόρευση διοχέτευσης των υγρών αποβλήτων σε ευαίσθητους περιβαλλοντικά αποδέκτες και οι συνεπαγόμενες υψηλότερες απαιτήσεις για επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.
- Το μειούμενο κόστος των μεθόδων επεξεργασίας νερού.
- Η θέσπιση της ευρωπαϊκής οδηγίας (91/271/EEC) για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, σύμφωνα με την οποία τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπου κρίνονται κατάλληλα.

Τα οφέλη από την ανακύκλωση του νερού είναι πολλά, πέρα από την εξοικονόμηση του νερού. Κατ' αρχάς μειώνεται ο απαιτούμενος όγκος πόσιμου νερού και άρα το κόστος επεξεργασίας. Επίσης, προστατεύονται οι υδάτινοι πόροι διότι λιγότερα υγρά απόβλητα καταλήγουν σε αυτούς, αλλά και γιατί μειώνεται η υπεράντλησή τους. Παράλληλα, ανάλογα με την εφαρμογή και στο σχεδιασμό μπορεί να υπάρχουν και οικονομικά οφέλη τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τις εταιρείες ύδρευσης.

Τα κυριότερα εμπόδια στην εξάπλωση της επαναχρησιμοποίησης νερού είναι το κόστος, ειδικά για περαιτέρω επεξεργασία πέραν της δευτεροβάθμιας, το κόστος εγκατάστασης δικτύων διανομής επεξεργασμένου νερού και το κόστος του απαιτούμενου εξοπλισμού. Επίσης, είναι και οι επιφυλάξεις των καταναλωτών είτε για ψυχολογικούς λόγους είτε για λόγους υγιεινής. Τέλος, η επαναχρησιμοποίηση νερού ενδέχεται να έχει κάποιες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα άλατα, το οργανικό φορτίο, οι παθογόνοι οργανισμοί που πιθανώς να

περιέχονται στο επεξεργασμένο νερό και άλλα στοιχεία του ίσως υποβαθμίσουν το έδαφος, την βλάστηση, τα υπόγεια και επιφανειακά νερά. [1]

1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης νερού συνήθως η εφαρμογή του ανακτημένου νερού θα καθορίσει την απαίτηση επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος και το βαθμό αξιοπιστίας που απαιτείται για τη μέθοδο και τη λειτουργία της επεξεργασίας. Στον **Πίνακα 1** παρουσιάζονται οι επτά κυριότερες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης των αστικών υγρών αποβλήτων, ξεκινώντας από την κατηγορία με την πιο διαδεδομένη εφαρμογή και καταλήγοντας στην πιο περιορισμένη.

Πίνακας 1. Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης των αστικών λυμάτων [1]

| Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων | Ζητήματα / περιορισμοί |
|---|---|
| Άρδευση αγροτικών εκτάσεων. Άρδευση καλλιεργειών. Φυτώρια. | <ul style="list-style-type: none">– Ρύπανση των επιφανειακών και υπογείων νερών εάν δεν γίνει κατάλληλη διαχείριση.– Εμπορευσιμότητα των καλλιεργειών και αποδοχή του κοινού. |
| Άρδευση κοινόχρηστων χώρων. Πάρκα. Σχολικές αυλές. Ακάλυπτοι χώροι. Γήπεδα γκολφ. Νεκροταφεία. Πράσινες ζώνες. Κήποι. | <ul style="list-style-type: none">– Επίδραση της ποιότητας του νερού, ιδιαίτερα των αλάτων στο έδαφος και στα φυτά.– Θέματα δημόσιας υγείας που σχετίζονται με τους παθογόνους οργανισμούς.– Η χρήση ελεγχόμενων περιοχών, που περιλαμβάνει ουδέτερες ζώνες, μπορεί |

| | |
|---|---|
| | να αυξήσει το κόστος χρήσης. |
| Βιομηχανική ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση. Νερό ψύξης. Τροφοδοσία λεβήτων. Νερό διεργασιών. Βαριά βιομηχανία. | <ul style="list-style-type: none"> - Συστατικά στο ανακτημένο νερό που μπορεί να προκαλέσουν επικαθήσεις, διάβρωση, ανάπτυξη μικροοργανισμών και διάφορες επιστρώσεις. - Θέματα δημόσιας υγείας, κυρίως μεταφορά παθογόνων οργανισμών μέσω σταγονιδίων νερού που προέρχονται από πύργους ψύξης. - Διασταύρωση μεταξύ αγωγών ανακτημένου νερού και πόσιμου νερού. |
| Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα. Συμπλήρωση υπογείου νερού. Αντιμετώπιση της διείδυσης θαλασσινού νερού. Αντιμετώπιση καθιζήσεων. | <ul style="list-style-type: none"> - Πιθανή ρύπανση του υπόγειου υδροφορέα που χρησιμοποιείται ως πηγή πόσιμου νερού. - Οργανικές ουσίες στα ανακτημένα νερά με τοξική δράση. - Ολικά διαλυμένα στερεά, νιτρικά και παθογόνοι οργανισμοί στο ανακτημένο νερό. |
| Αναψυχή / περιβαλλοντικές χρήσεις. Λίμνες. Εμπλουτισμός υγροβιότοπων και επιφανειακών υδάτινων ρευμάτων. Αλιεία. Τεχνητό χιόνι. | <ul style="list-style-type: none"> - Θέματα υγείας που σχετίζονται με τη παρουσία βακτηρίων και ιών. - Φαινόμενα ευτροφισμού, λόγω της ύπαρξης του αζώτου και φωσφόρου στο ανακτημένο νερό. - Τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς. |
| Αστικές μη πόσιμες χρήσεις. Πυρασφάλεια. Κλιματισμός. Καθαρισμός τουαλετών. | <ul style="list-style-type: none"> - Θέματα υγείας που σχετίζονται με τη μεταφορά παθογόνων οργανισμών μέσω σταγονιδίων νερού. - Η ποιότητα του νερού μπορεί να προκαλέσει επικαθήσεις, διάβρωση, ανάπτυξη μικροοργανισμών και διάφορες επιστρώσεις. |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Διασταύρωση μεταξύ αγωγών ανακτημένου και πόσιμου νερού. |
| <p>Επαναχρησιμοποίηση για πόσιμο νερό. Ανάμιξη με ακατέργαστο πόσιμο νερό. Υδροδότηση μέσω αγωγών.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Παρουσία συστατικών στο ανακτημένο νερό, κυρίως υπολείμματα οργανικών ουσιών και η τοξική τους δράση. - Αισθητική και αποδοχή του κοινού. - Θέματα υγείας που σχετίζονται με τη μεταφορά παθογόνων οργανισμών και κυρίως εντερικών ιών. |

- Η πρώτη κατηγορία, η άρδευση αγροτικών εκτάσεων, είναι προς το παρόν η μεγαλύτερη κατηγορία όπου χρησιμοποιείται το ανακτημένο νερό. Η κατηγορία αυτή προσφέρει σημαντικές προοπτικές και για μελλοντικές χρήσεις του νερού. Στην Ελλάδα το ποσοστό των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που ανακυκλώνεται είναι 5-12%, ενώ περίπου το 87% της κατανάλωσης νερού προορίζεται για άρδευση, . Από αυτή την ποσότητα ένα μεγάλο ποσοστό – μέχρι και 50% του μεταφερόμενου νερού - χάνεται λόγω της κακής κατάστασης των αρδευτικών δικτύων ή των ακατάλληλων τεχνικών. [21]
- Η δεύτερη κατηγορία άρδευσης, περιλαμβάνει την άρδευση πάρκων, γηπέδων γκολφ, κοινόχρηστων χώρων και ακάλυπτων χώρων γύρω από εμπορικά καταστήματα, γραφεία και βιομηχανίες. Σε πολλές από τις εφαρμογές της συγκεκριμένης κατηγορίας άρδευσης χρησιμοποιείται το διπλό σύστημα διανομής, ένα για το πόσιμο νερό και ένα για το ανακτημένο νερό.
- Η τρίτη κατηγορία χρήσης του νερού περιλαμβάνει τις βιομηχανικές δραστηριότητες, κυρίως για ψύξη και ανάγκες διαφόρων διεργασιών. Το νερό ψύξης είναι η επικρατέστερη εφαρμογή βιομηχανικής επαναχρησιμοποίησης, το οποίο, είτε σε πύργους ψύξης είτε σε δεξαμενές ψύξης, αποτελεί τη μεγαλύτερη απαίτηση πολλών βιομηχανιών σε νερό. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία βιομηχανικών χρήσεων, όπου εκτός από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, απαιτείται καλύτερη επεξεργασία για την εξασφάλιση κατάλληλης ποιότητας ανακτημένου νερού.

- Η τέταρτη εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης του νερού είναι ο εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, είτε μέσω λεκανών διασποράς είτε με απευθείας έγχυση στον υπόγειο υδροφορέα. Ο εμπλουτισμός των υπογείων νερών σχετίζεται με την ενσωμάτωση του ανακτημένου νερού στο υπόγειο νερό, την αποθήκευση στον υπόγειο υδροφορέα ή τη δημιουργία υδραυλικού φράγματος για την παρεμπόδιση της διεύδυσης και ανάμιξης του θαλασσινού νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφόρων.
- Η πέμπτη χρήση ανακτημένου νερού αφορά χρήσεις αναψυχής και περιβαλλοντικές που περιλαμβάνουν ένα αριθμό χρήσεων που σχετίζονται με δραστηριότητες που έχουν ως βάση το νερό, όπως υγρότοποι αναψυχής, εμπλουτισμός υγροβιότοπων και ενίσχυση χείμαρρων. Η συλλογή του ανακτημένου νερού μπορεί να ενσωματωθεί στο χωροταξικό σχεδιασμό των αστικών περιοχών. Τεχνητές λίμνες, λεκάνες αποθήκευσης σε γήπεδα γκολφ και επιφανειακοί ταμιευτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές τροφοδοσίας νερού.
- Η έκτη κατηγορία επαναχρησιμοποίησης, μη πόσιμο νερό για αστικές χρήσεις, περιλαμβάνει χρήσεις όπως πυρόσβεση, κλιματισμός, καθαρισμός τουαλετών και νερό για οικοδομική χρήση. Τυπικά για οικονομικούς λόγους, αυτές οι χρήσεις είναι δευτερεύουσες και εξαρτώνται από την απόσταση που βρίσκεται η μονάδα επεξεργασίας και ανάκτησης του νερού από το σημείο εφαρμογής και κατά πόσο μπορεί να συνδυασθεί η επαναχρησιμοποίηση του νερού με άλλη πιο διαδεδομένη εφαρμογή, όπως ή άρδευση.
- Η έβδομη κατηγορία επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνει τη χρήση για πόσιμο νερό, η οποία εφαρμόζεται μέσω ανάμιξης του ανακτημένου νερού με το ακατέργαστο πόσιμο ενός ταμιευτήρα πόσιμου νερού ή σπανιότερα, μέσω άμεσης διοχέτευσης του ανακτημένου νερού στο δίκτυο πόσιμου (ripe to pipe).

Ενώ είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μεγάλες ποσότητες ανακτημένων αστικών υγρών αποβλήτων στις πρώτες πέντε κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης, στην έκτη και στην έβδομη κατηγορία οι ποσότητες είναι μικρές και κυρίως της ανάκτησης για πόσιμο νερό. [1]

1.3 ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

Σημαντικό ρόλο παίζει η εξοικονόμηση του νερού στις διάφορες χρήσεις οικιακά και εξωτερικά. Η εξοικονόμηση ως μέτρο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τη βιομηχανία σε περιπτώσεις ξηρασίας ή σε έκτακτες ανάγκες. Η εξοικονόμηση του νερού αποφέρει μειωμένο κόστος ενέργειας και χημικών, μειωμένα κόστη επεξεργασίας και επιπτώσεων από την διαχείριση των υγρών αποβλήτων. Τυπικά οικιακά μέτρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατοικίες παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2**. Η εξοικονόμηση νερού μπορεί να μειώσει την κατανάλωση νερού στα νοικοκυριά έως και 32% ανά κάτοικο. Αναλυτικά, μπορεί να εφαρμοσθεί στις τουαλέτες, τα μπάνια, τα λουτρά, τα πλυντήρια πιάτων και τα πλυντήρια ρούχων.

Πίνακας 2. Εξοικονόμηση κατ' οίκον [2]

| Τυπική κατανάλωση νερού για οικογενειακή χρήση | | | | |
|--|------------------------|------------|---------------------|------------|
| Χρήσεις νερού | Χωρίς διαχείριση νερού | | Με διαχείριση νερού | |
| | L / άτομο. Ημέρα | % | L / άτομο. ημέρα | % |
| Τουαλέτες | 76.1 | 27.7 | 36.3 | 19.3 |
| Πλυντήρια ρούχων | 57.2 | 20.9 | 40.1 | 21.4 |
| Νιπτήρες | 47.7 | 17.3 | 37.9 | 20.1 |
| Βρύσες | 42.0 | 15.3 | 40.9 | 21.9 |
| Διαρροές | 37.9 | 13.8 | 18.9 | 13.8 |
| Άλλες οικιακές χρήσεις | 5.7 | 2.1 | 5.7 | 3.1 |
| Μπάνια | 4.5 | 1.6 | 4.5 | 2.4 |
| Πλυντήρια πιάτων | 3.8 | 1.3 | 3.8 | 2.0 |
| Σύνολο | 274.4 | 100 | 187.8 | 100 |

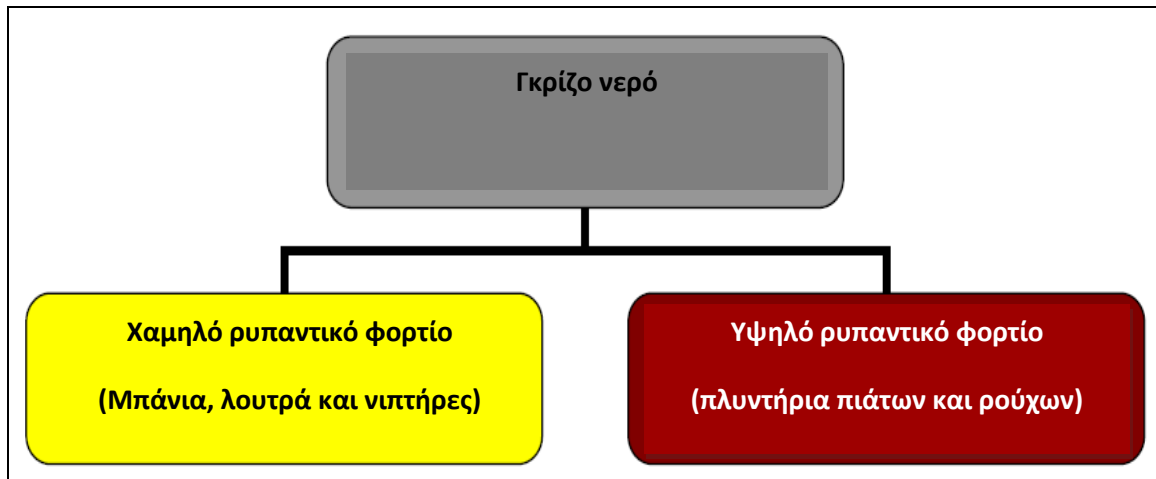
Τα αποτελέσματα που δίνονται στον παραπάνω πίνακα δείχνουν ότι η κατανάλωση του νερού ανά κάτοικο μπορεί να κατέλθει στα 188 λίτρα ανά κάτοικο με σωστή διαχείριση, αντί για 274 λίτρα ανά κάτοικο που ήταν το 2007. Βέβαια τα στοιχεία αυτά που δίνονται αναφέρονται για τις τυπικές καταναλώσεις σύμφωνα με το Αμερικανικό Οργανισμό Έργων Ύδατος (AWWA - American Water Works Association) και αναφέρεται σε Αμερικάνικα νοικοκυριά. Για το προσεχές μέλλον η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των αστικών λυμάτων αναμένεται να παραμείνει σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με τη συνολική κατανάλωση νερού. Ωστόσο, επειδή το ανακτημένο νερό αποτελεί έναν υδάτινο πόρο που η διαχείρισή του καθορίζεται από διαφόρους τοπικούς παράγοντες, οι πραγματικές ποσότητες θα αυξηθούν σημαντικά. Σήμερα, υπάρχουν τεχνικά βελτιωμένα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σχεδόν οποιασδήποτε ποιότητας νερού για επαναχρησιμοποίηση. Έτσι, η ανάκτηση νερού αποκτά μια σημαντική θέση και βασικό ρόλο στο σχεδιασμό και την ορθολογική διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων.

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO - World Health Organization) προτείνει ότι η άρδευση των φρούτων και των λαχανικών που πρόκειται να καταναλωθούν ωμά, θα πρέπει να γίνεται με υγρά απόβλητα τα οποία έχουν επεξεργασθεί μέσω λιμνών σταθεροποίησης. Οι λίμνες είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μικροβιολογική ποιότητα των επεξεργασμένων υγρών με περιεκτικότητα μικρότερη ή ίση του ενός εντερικού νηματοειδούς ανά λίτρο και περιεκτικότητα σε κοπρανώδη κολοβακτηρίδια μικρότερη ή ίση με 1000 ανά λίτρο. Τα κριτήρια που προτείνονται από την WHO για την άρδευση με ανακτημένο νερό έχουν αποδειχθεί ως εφαρμόσιμα για τις λίμνες σταθεροποίησης σε αρκετές χώρες της Μεσογείου και της Λατινικής Αμερικής. [5]

Κεφάλαιο 2^ο. Γκρίζο νερό

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Γκρίζο νερό (**greywater**) είναι το νερό από το ντους, το μπάνιο, τους νιπτήρες, την κουζίνα και τα πλυντήρια πιάτων και ρούχων. Συνήθως, περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων και μετάλλων από τα απορρυπαντικά και από σαπούνια. Όταν χρησιμοποιούνται ισχυρά απορρυπαντικά πλυντηρίων, τότε υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου βρίσκονται στα συστατικά του γκρίζου νερού. Γενικά με τον όρο **γκρίζα νερά** ονομάζουμε όλα τα υγρά απόβλητα που απορρίπτονται από ένα σπίτι, εκτός από εκείνα της τουαλέτας (**Σχήμα 2**). Περιέχει συνήθως σαπούνια, σαμπουάν, οδοντόκρεμες, υπολείμματα τροφών, μαγειρικά έλαια, απορρυπαντικά και ίνες. Αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής ροής υγρών αποβλήτων από τα νοικοκυριά όσον αφορά τον όγκο των υγρών λυμάτων τους. Επομένως, η εξοικονόμησή του γίνεται όλο και περισσότερο αναγκαία.



Σχήμα 2. Κυριότερες πηγές γκρίζου νερού [6]

Συνήθως, το 50-80% των αποβλήτων των νοικοκυριών είναι υγρά απόβλητα. Δεν είναι όλα τα υγρά απόβλητα εξίσου «γκρίζα». Απορρίμματα κουζίνας και υγρά απόβλητα νεροχύτη που έχουν και στερεά τροφή, ρυπαίνουν εντονότερα από τα γκρίζα νερά των ντους και των νιπτήρων. Ως εκ τούτου, οι διαφορετικές ροές γκρίζου νερού μπορεί να απαιτούν διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας που θα καθιστούσε το νερό κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση. Οι οικιακές ανάγκες σε νερό μετατρέπονται σε ροές υγρών αποβλήτων, όπως το αυτόματο και ημιαυτόματο πλύσιμο πιάτων, το πλυντήριο ρούχων και το ντους. Οι τυπικές ροές χρησιμοποιημένου νερού σε ένα σπίτι των Η.Π.Α. δίνονται στον **Πίνακα 3**. Από τον παρακάτω

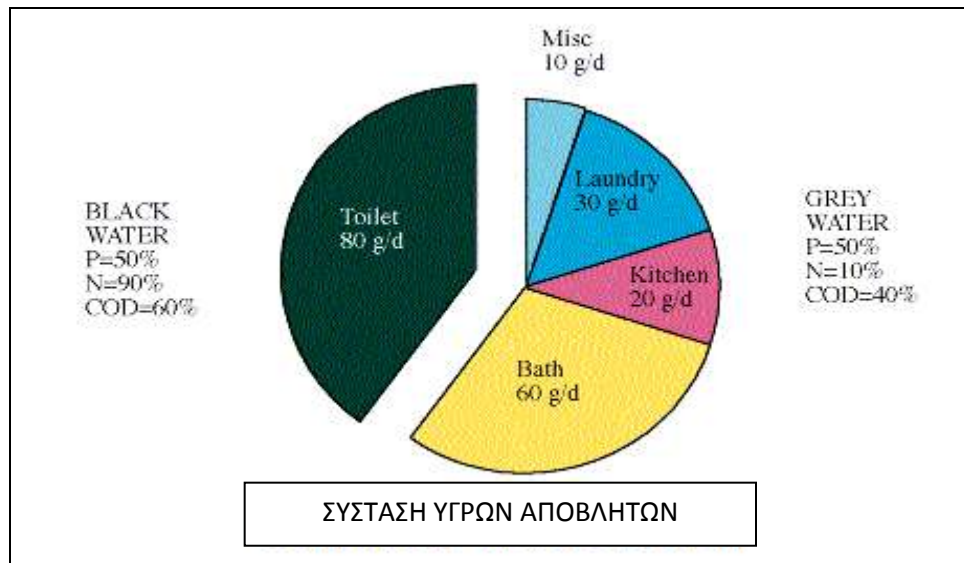
πίνακα φαίνεται πως το πιο μεγάλο ποσοστό (έως και 216 l/φορτίο) ανήκει στα αυτοματοποιημένα πλυντήρια ρούχων, ενώ στην τρίτη θέση έπονται τα αυτοματοποιημένα πλυντήρια πιάτων (έως και 60 l/φορτίο). Στην δεύτερη θέση βρίσκεται η μπανιέρα με καταναλώσεις έως και 114 l/χρήση, ενώ οι νιπτήρες έχουν σχετικά πολύ μικρές καταναλώσεις.

Πίνακας 3. Συνήθεις ροές νερού από χρήσεις σπιτιών στις ΗΠΑ [2]

| Χρήση ή συσκευή | Μονάδες | Εύρος τιμών |
|--|---------------|-------------|
| Αυτόματο πλυντήριο ρούχων (φόρτωση ρούχων από πάνω) | L / φορτίο | 130-216 |
| Αυτόματο πλυντήριο ρούχων (φόρτωση ρούχων από το πλάι) | L / φορτίο | 45-60 |
| Αυτόματο πλυντήριο πιάτων | L / φορτίο | 36-60 |
| Χειροκίνητο πλύσιμο πιάτων στον νεροχύτη | L / χρήση | 11-23 |
| Μπανιέρα | L / χρήση | 114 |
| Υγρά απόβλητα κουζίνας | L / ημέρα | 4-8 |
| Λουτρό (ντους) | L / min.χρήση | 9-11 |
| Καζανάκι (αυτόματο) | L / χρήση | 6-13 |
| Καζανάκι (κοινό) | L / χρήση | 15-23 |
| Νιπτήρας | L / min.χρήση | 8-11 |

Βασικά, το γκρίζο νερό αποτελεί ένα είδος απόνερων. Όταν χρησιμοποιηθεί σωστά, μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη πηγή για αρδευτικούς σκοπούς, όπως το πότισμα οικιακών κήπων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε οικοδομές και άλλες βιομηχανικές χρήσεις, εάν προηγηθεί ένα σύστημα επεξεργασίας πρώτα. Εξάλλου, στα συστατικά του περιλαμβάνονται φώσφορος, νιτρικά και μέταλλα όπως το κάλιο και το νάτριο, που ενώ αποτελούν εστίες ευτροφισμού για λίμνες και ποτάμια, είναι τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη της βλάστησης και των φυτών. Το **Σχήμα 3** μας δείχνει την ενδεικτική σύσταση των υγρών αποβλήτων ενός μέσου νοικοκυριού. Το γκρίζο νερό έχει μικρότερα ποσοστά σε P, N,

COD από τα αντίστοιχα του μαύρου νερού, αλλά οι ποσότητές του είναι αισθητά μεγαλύτερες. Όταν λέμε μαύρο νερό (**black water**), εννοούμε αποκλειστικά τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από τις τουαλέτες (αποχωρητήρια) και το ρυπαντικό του φορτίο υπερβαίνει κατά πολύ των απόνερων από άλλες οικιακές χρήσεις (γκρίζα νερά).



Σχήμα 3. Σύσταση υγρών αποβλήτων [20]

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΚΡΙΖΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η σύσταση του γκρίζου νερού και οι περιεκτικότητες των διαφόρων συστατικών του διαφέρουν κατά τόπο και χρόνο. Συγκεκριμένα, εξαρτώνται από τον αριθμό των ατόμων στο σπίτι, τις ηλικίες τους, τον τρόπο ζωής τους, τις συνήθειές τους όσον αφορά τη χρήση του νερού και τα απορρυπαντικά που χρησιμοποιούν. Άλλοι παράγοντες είναι οι κλιματικές συνθήκες, η ποιότητα του πόσιμου νερού και τα συστήματα διανομής πόσιμου νερού. Βέβαια στην Ελλάδα δεν υπάρχει κεντρικό σύστημα διανομής γκρίζου νερού, αφού γκρίζο και μαύρο νερό απορρίπτονται στον ίδιο αγωγό λυμάτων και οδεύουν προς τα αντίστοιχα συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων των αστικών κέντρων. Όπου υπάρχει διαχωρισμός, τότε αυτός

γίνεται στην πηγή των υγρών λυμάτων και το σύστημα αυτό απαντάται κυρίως σε μικρές εξοχικές κατοικίες ή σε ξενοδοχειακές μονάδες.

Από χημικής πλευράς, οι κυριότεροι ρύποι είναι διαλυμένα άλατα, ενώ από μικροβιολογικής είναι παθογόνοι οργανισμοί, αφού εντερικοί ιοί δύσκολα εντοπίζονται. Αυτό αποδεικνύει ότι είναι απαραίτητη η σωστή επεξεργασία του για να καταστεί ασφαλές τόσο για την δημόσια υγεία, όσο και για το περιβάλλον, αλλά να είναι και αισθητικά αποδεκτό χωρίς οσμές και χρώμα. Παράλληλα, σημειώνεται ότι η σύσταση του γκρίζου νερού κατά την αποθήκευσή του αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, για παράδειγμα αυξάνονται τα βακτήρια και συνακόλουθα μειώνεται το οργανικό φορτίο. Για το λόγο αυτό δεν θα πρέπει να αποθηκεύεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέλος, αναφέρεται ότι στην περίπτωση που προβλέπεται για άρδευση με ανακτημένο γκρίζο νερό, θα πρέπει να γίνεται προσεκτική επιλογή των απορρυπαντικών πλυντηρίου, ώστε το νερό να μην είναι πολύ αλκαλικό και να μην περιέχει πολλά άλατα, νάτριο ή άλλα στοιχεία που είναι βλαβερά για τα φυτά και το έδαφος.

Οι φυσικοχημικές και μικροβιολογικές παράμετροι που συνήθως χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό ενός δείγματος γκρίζου νερού είναι το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5), το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD), η θολότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS), οι ολικές ποσότητες οργανικού άνθρακα (TOC), αζώτου, νατρίου και φωσφόρου, καθώς και τα κολοβακτηρίδια. Προκειμένου η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού να είναι ασφαλής για τη δημόσια υγεία, κάποιες χώρες έχουν θεσπίσει ορισμένες προδιαγραφές που πρέπει να πληροί το επεξεργασμένο νερό. Ιόντα τα οποία προστίθενται στα υγρά απόβλητα από οικιακές καταναλώσεις και συμμετέχουν στην αλατότητα, περιλαμβάνουν κατιόντα όπως το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και το κάλιο, καθώς και ανιόντα όπως τα ανθρακικά, τα χλωριόντα, τα φθοριούχα και τα θειικά. Ο **Πίνακας 4** μας δείχνει την συγκέντρωση των κυριότερων ιόντων σε mg/l. Από τα συστατικά του **Πίνακα 4**, τα ανθρακικά, το νάτριο, τα χλωριόντα, το βόριο και τα θειικά είναι τα πιο συχνά εμφανιζόμενα ιόντα. Αντίστοιχα δεδομένα για τα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού μπορούν να αλιευθούν από τις αντίστοιχες μελέτες στη βιβλιογραφία.

[13][15][16][17]

Πίνακας 4. Τυπικές συγκεντρώσεις ιόντων από οικιακές χρήσεις [2]

| Συστατικά | Εύρος τιμών (mg/l) | |
|--|--------------------|------------------|
| | Σε σηπτικό βόθρο | Σε αστικά λύματα |
| Κυριότερα ανιόντα | | |
| Διττανθρακικά (HCO ₃) | 100-200 | 50-100 |
| Ανθρακικά (CO ₃) | 2-20 | 0-10 |
| Χλωρίοντα (Cl) | 40-100 | 20-50 |
| Θειικά (SO ₄) | 30-60 | 15-30 |
| Κυριότερα κατιόντα | | |
| Ασβέστιο (Ca) | 10-20 | 6-16 |
| Μαγνήσιο (Mg) | 8-16 | 4-10 |
| Κάλιο (K) | 10-20 | 7-15 |
| Νάτριο (Na) | 60-100 | 40-70 |
| Αθροιστικές μετρήσεις | | |
| Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) | 200-400 | 150-380 |
| Αλκαλικότητα (CaCO ₃) | 60-120 | 60-120 |
| Άλλα συστατικά | | |
| Αργίλιο (Al) | 0.2-0.3 | 0.1-0.2 |
| Βόριο (B) | 0.1-0.4 | 0.1-0.4 |
| Φθοριούχα (F) | 0.2-0.4 | 0.2-0.4 |
| Μαγγάνιο (Mn) | 0.2-0.4 | 0.2-0.4 |
| Οξείδιο του πυριτίου (SiO ₂) | 2-10 | 2-10 |

Στον **Πίνακα 5** παρουσιάζεται ανάλυση ανάλογα με την προέλευση των ρύπων, ενσωματώνοντας και το βόριο που είναι αρκετά τοξικό όταν βρεθεί σε υψηλές συγκεντρώσεις στα φυτά. Παρόλα αυτά, αρκετά από τα απορρυπαντικά και λευκαντικά τα οποία δεν παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5**, θεωρούνται αυξητικά για την αλκαλικότητα των υγρών και λειτουργούν αποτρεπτικά στην ανάπτυξη των φυτών αν διοχετευθούν απευθείας για άρδευση. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις νατρίου, όταν χρησιμοποιείται κάποιος αποσκληρυντής ή κάποιο απορρυπαντικό πιάτων και ρούχων, τότε θα πρέπει να αναμένουμε υψηλά επίπεδα στα γκρίζα νερά. Επίσης, ο βόρακας (borax), ο οποίος περιέχεται σε αρκετά απορρυπαντικά, θεωρείται υπεύθυνος για τις υψηλές συγκεντρώσεις βορίου στον τελικό αποδέκτη. Τα λευκαντικά (bleach) δεν αποτελούν τόσο μεγάλο κίνδυνο όταν χρησιμοποιούνται σε μικρές ποσότητες είτε σε υγρή μορφή είτε σε σκόνη.

Πίνακας 5. Ροές απορρυπαντικών & συγκεντρώσεις ιόντων [2]

| Οικιακά χημικά ή προϊόντα | Εκτιμώμενη χρήση | | Συγκέντρωση συστατικού στο προϊόν | | |
|-------------------------------|------------------|-------|-----------------------------------|-------------------------------|-------|
| | Μονάδα | Τιμή | Μονάδα | Συστατικό | Τιμή |
| Υγρό λευκαντικό | Lit /χρήση.day | 0.05 | g/l | Na ⁺ | 23.6 |
| | | | g/l | Cl ⁻ | 36.3 |
| Λευκαντικό σε σκόνη | Kg/χρήση.day | 0.05 | g/kg | Na ⁺ | 47.7 |
| | | | g/kg | B | 22.4 |
| Υγρό απορρυπαντικό ρούχων | Lit/χρήση.day | 0.05 | g/l | Na ⁺ | 40.7 |
| Απορρυπαντικό ρούχων σε σκόνη | Kg/χρήση.day | 0.1 | g/kg | Na ⁺ | 400.5 |
| | | | g/kg | SO ₄ ⁻² | 119.2 |
| | | | g/kg | HCO ₃ ⁻ | 565.9 |
| Borax | Kg/χρήση.day | 0.02 | g/kg | B | 113.4 |
| Υγρό απορρυπαντικό πιάτων | Lit/χρήση.day | 0.001 | g/l | Na ⁺ | 60.2 |
| | | | g/l | P | 45 |

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|-------|------|-------------------------------|-------|
| Απορρυπαντικό πιάτων σε σκόνη | Kg/χρήση.day | 0.005 | g/kg | Na ⁺ | 257 |
| | | | g/kg | SO ₄ ⁻² | 119.2 |
| | | | g/kg | B | 5.65 |
| Κρεμοσάπουνο πιάτων | Lit/χρήση.day | 0.025 | g/l | Na ⁺ | 18 |
| | | | g/l | P | 0.13 |
| Αποσκληρυντής νερού (με βάση το Na) | Kg/χρήση.day | 0.3 | g/kg | Na ⁺ | 393.3 |
| | | | g/kg | Cl ⁻ | 606.6 |
| Αποσκληρυντής νερού (με βάση το K) | Kg/χρήση.day | 0.3 | g/kg | Na ⁺ | 524.4 |
| | | | g/kg | Cl ⁻ | 475.6 |

2.3 ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

Παρά την ύπαρξη τεχνολογικά ανεπτυγμένων μεθόδων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, η μακροχρόνια ασφάλεια του ανακτημένου νερού και η επίδρασή του στο περιβάλλον είναι δύσκολο να μετρηθούν. Σήμερα, πλέον είναι δυνατή η παραγωγή νερού σχεδόν οποιασδήποτε ποιότητας. Τα θέματα δημόσιας υγείας τα οποία πρέπει να συζητηθούν είναι: ποιοι ρύποι πρέπει να απομακρυνθούν και σε ποιο βαθμό; Τα συστατικά στα αστικά λύματα τα οποία οδηγούνται σε επεξεργασία μπορούν να ταξινομηθούν ως συμβατικά και μη συμβατικά ή και νεοεμφανιζόμενα. Στον **Πίνακα 6** περιγράφονται ορισμένα τυπικά συστατικά που περιλαμβάνονται σε κάθε κατηγορία.

Πίνακας 6. Ταξινόμηση τυπικών συστατικών στα υγρά απόβλητα [1]

| ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ | ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ |
|------------|-------------------------------|
| Συμβατικά | Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) |

| | |
|-----------------|---|
| | Κολλοειδή στερεά |
| | Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD ₅) |
| | Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD) |
| | Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) |
| | Αμμωνία (NH ₃) |
| | Νιτρικά (NO ₃) |
| | Νιτρώδη (NO ₂) |
| | Ολικό άζωτο (TKN) |
| | Φώσφορος (P) |
| | Βακτήρια |
| | Κύστεις πρωτόζωων και ωκύστεις |
| | Ιοί |
| Μη συμβατικά | Δύσκολα αποικοδομήσιμα οργανικά συστατικά |
| | Πτητικά οργανικά συστατικά (VOC) |
| | Επιφανειοδραστικές ουσίες |
| | Μέταλλα |
| | Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) |
| Νεοεμφανιζόμενα | Ιατρικά φάρμακα (ενεργές ουσίες) |
| | Προϊόντα καθαρισμού σπιτιών |
| | Βιομηχανικά & οικιακά προϊόντα |
| | Διάφορες ορμόνες |

Ο όρος *συμβατικό* χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τα συστατικά που μετριοούνται σε mg/l και είναι η βάση για το σχεδιασμό των περισσότερων μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Ο όρος *μη συμβατικό* χρησιμοποιείται για τα συστατικά τα οποία πολλές φορές θα πρέπει να απομακρυνθούν ή να μειωθούν εφαρμόζοντας προχωρημένες μεθόδους επεξεργασίας πριν τη χρήση του ανακτημένου νερού. Ο όρος *νεοεμφανιζόμενο* χρησιμοποιείται για τις κατηγορίες συστατικών τα οποία μπορεί μακροχρόνια να έχουν αρνητική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι αδύνατο ακόμα και τώρα, να απομακρυνθούν αυτά με τη χρήση των τελευταίων μεθόδων προχωρημένης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες αναλυτικές τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ανόργανων και οργανικών συστατικών στο νερό, ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (10^{-12} ng/l). Αρκετά από τα μη συμβατικά συστατικά ανιχνεύονται με μεγάλη αποτελεσματικότητα στο ανακτημένο νερό. Για τα περισσότερα από τα νεοεμφανιζόμενα συστατικά που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6**, δεν έχουμε σήμερα σαφείς πληροφορίες σχετικά με την επίδρασή τους στην υγεία και στο περιβάλλον. Μερικά δε από αυτά τα οποία έχουν ανιχνευθεί στο ανακτημένο νερό είναι γνωστό ότι έχουν άμεση επίδραση στην υγεία, ανάλογα με την συγκέντρωσή τους και τον τρόπο δράσης τους. Η παρουσία αυτών των οργανικών ουσιών σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο ανακτημένο νερό, δεν έχει ξεκαθαρισθεί μέσα από τις υπάρχουσες οδηγίες το κατά πόσο επηρεάζει μακροχρόνια τον ανθρώπινο οργανισμό.

Σήμερα η μετάδοση ασθενειών μέσω παθογόνων οργανισμών αποτελεί τον πιο έντονο προβληματισμό σχετικά με την ανακύκλωση του νερού και την επαναχρησιμοποίηση. Ενώ δεν υπάρχει κάποια επιδημιολογική απόδειξη ότι το ανακτημένο νερό έχει προκαλέσει κάποια επιδημική ασθένεια, παρ' όλα αυτά ο κίνδυνος πάντα ελλοχεύει ιδιαίτερα σε μονάδες επεξεργασίας οι οποίες δεν τηρούν τους όρους επεξεργασίας ή δεν λειτουργούν σωστά. Ιστορικά έχει αποδειχθεί ότι το υδρόφιλο βακτήριο *salmonella typhi* ήταν υπεύθυνο για τον τυφοειδή πυρετό ο οποίος σάρωνε στη δεκαετία του 1920. Ασθένειες που μεταδίδονται από το νερό οφείλονται κυρίως σε εντερικούς παθογόνους μικροοργανισμούς και περιλαμβάνουν εντερικά βακτήρια, πρωτόζωα και ιούς. Αυτά τα παθογόνα μπορούν να επιζήσουν στο νερό και

επιμολύνουν τους ανθρώπους μέσω κατάποσης, επαφής ή και τροφής. Είναι χαρακτηριστικό πως ο Gideon Winward αναφέρει στην διδακτορική εργασία του για τα κυριότερα παθογόνα στο γκρίζο νερό, αν και θα περιμέναμε να μην υπάρχουν καθόλου. Αναλυτικοί πίνακες από την διδακτορική του εργασία δίνονται στο **Παράρτημα II** σχετικά με την ύπαρξη αυτών των βακτηρίων, καθώς και επίσης πληροφορίες σχετικές με την παραγωγή και σύσταση του γκρίζου νερού.

Πίνακας 7. Παθογόνοι οργανισμοί σε γκρίζο νερό [7]

| Παθογόνοι οργανισμοί | Συγκέντρωση (\log_{10}) | Βιβλιογραφία |
|--|-----------------------------|---|
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (/100ml) | 3.5 -4.3 | Gilboa and Friedler (2007) Casanova et al. (2001b) |
| <i>Staphylococcus aureus</i> (/100ml) | 4.0 | Gilboa and Friedler (2007) |
| <i>Legionella pneumophila</i> (/100ml) | 2.2-2.9 | Birks et al. (2004) |
| <i>Cryptosporidium</i> spp. (/100l) | 0-8.3 | Birks et al. (2004) |
| <i>Giardia</i> spp. (/100l) | 0-7.9 | Birks et al. (2004) |

Ιδιαίτερα οι τρεις πρώτοι παθογόνοι μικροοργανισμοί του **Πίνακα 7** θεωρούνται εξαιρετικά επικίνδυνοι για την δημόσια υγεία. Σύμφωνα με την WHO, οι επιπτώσεις από τη χρήση του γκρίζου νερού στις καλλιέργειες είναι μικρότερες από εκείνες του μαύρου νερού. Πιστεύεται γενικά ότι το γκρίζο νερό έχει χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε παθογόνα από εκείνες του μαύρου νερού, αλλά παρ' όλα αυτά οι πάνες και τα εσώρουχα θεωρούνται οι κύριες πηγές των παθογόνων μικροοργανισμών. Στον **Πίνακα 8** δίνονται τα αμερικανικά πρότυπα της Αμερικανικής Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA – Environmental Protection Agency) για την επαναχρησιμοποίηση του νερού. Ουσιαστικά, στον **Πίνακα 8** αναφέρονται συνοπτικά οι οδηγίες για τους δύο βασικούς βαθμούς επεξεργασίας, οι εκροές προχωρημένης επεξεργασίας με απολύμανση (διηθημένες δευτεροβάθμιες εκροές) και οι εκροές δευτεροβάθμιας

απολυμασμένης επεξεργασίας. Όσον αφορά τα ελληνικά και τα ευρωπαϊκά πρότυπα, αυτά εξετάζονται στην επόμενη παράγραφο.

Πίνακας 8. Συνοπτική περιγραφή των οδηγιών της EPA για την επαναχρησιμοποίηση του νερού [1]

| Βαθμός επεξεργασίας | Τύπος επαναχρησιμοποίησης | Ποιότητα & έλεγχος νερού | Αποστάσεις ασφαλείας |
|--|---|--|---|
| Τριτοβάθμια επεξεργασία & απολύμανση | Αστική χρήση, βρώσιμες καλλιέργειες & τεχνητές λίμνες | $6 < \text{pH} < 9$ (εβδομαδιαίως) $\text{BOD}_5 \leq 10 \text{ mg/l}$ (εβδομαδιαίως) Θολότητα $\leq 2 \text{ NTU}$ (συνεχώς) E.coli = απουσία (ημερησίως) $\text{Cl}_2 \geq 1 \text{ mg/l}$ (συνεχώς) | 15 m από φρεάτια πόσιμου νερού |
| Δευτεροβάθμια επεξεργασία & απολύμανση | Άρδευση περιοχών περιορισμένης πρόσβασης, άρδευση βρώσιμων και μη βρώσιμων καλλιεργειών, συλλογή σε επιφανειακές λεκάνες, οικοδομές & εμπλουτισμός υγροβιότοπων | $6 < \text{pH} < 9$ (εβδομαδιαίως) $\text{BOD}_5 = 30 \text{ mg/l}$ (εβδομαδιαίως) $\text{TSS} = 30 \text{ mg/l}$ (συνεχώς) E.coli = 200/100ml (ημερησίως) $\text{Cl}_2 \geq 1 \text{ mg/l}$ (συνεχώς) | 30 m από περιοχές δημόσιας πρόσβασης (για άρδευση με καταιονισμό) 90 m από φρεάτια πόσιμου νερού |

2.4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Είναι χαρακτηριστικό ότι όσον αφορά το γκρίζο νερό, δεν έχει εκδοθεί κάποια ευρωπαϊκή οδηγία, η οποία να έχει ενσωματωθεί σε ελληνικό επίπεδο είτε με κάποιο προεδρικό διάταγμα ή νόμο, είτε με κοινή υπουργική απόφαση. Έως και σήμερα έχουν εκδοθεί δύο οδηγίες για την προστασία του νερού για ανθρώπινη κατανάλωση και για την πολιτική των υδάτων. Οι δύο αυτές οδηγίες είναι οι εξής:

- ΟΔΗΓΙΑ 1998/83/ΕΚ της 3^{ης} Νοεμβρίου 1998 σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.
- ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.

Με βάση την πρώτη οδηγία καθορίζεται το πλαίσιο και η θέσπιση κοινοτικών προδιαγραφών για βασικές και προληπτικές ποιοτικές παραμέτρους σε θέματα υγείας, για το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Γενικά, οι προδιαγραφές της οδηγίας αυτής, βασίζονται γενικά στις κατευθυντήριες γραμμές της WHO για την ποιότητα του πόσιμου νερού, καθώς και στη γνώμη της επιστημονικής συμβουλευτικής επιτροπής της Ε.Ε. για την εξέταση της τοξικότητας των χημικών ουσιών. Η δεύτερη οδηγία στοχεύει περισσότερο στη διατήρηση και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος στην Ε.Ε. Ο στόχος της είναι κυρίως η ποιότητα των υδάτων και συμβάλλει στην προοδευτική μείωση της εκπομπής επικινδύνων ουσιών στο νερό. Με βάση τις δύο παραπάνω κοινοτικές οδηγίες έχουν θεσπισθεί και οι παρακάτω νομοθετικές ρυθμίσεις για την Ελλάδα:

- Κ.Υ.Α. Υ2/2600/2001 της 11^{ης} Ιουλίου 2001 για την ποιότητα του νερού της ανθρώπινης κατανάλωσης, καθώς και η από κάτω τροποποίηση.
- Κ.Υ.Α. ΔΥΓ2/38295/2007 της 26^{ης} Απριλίου 2007 για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς την οδηγία 1998/83/ΕΚ.
- Ν. 3199/2003 της 9^{ης} Δεκεμβρίου 2003 για την προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ.

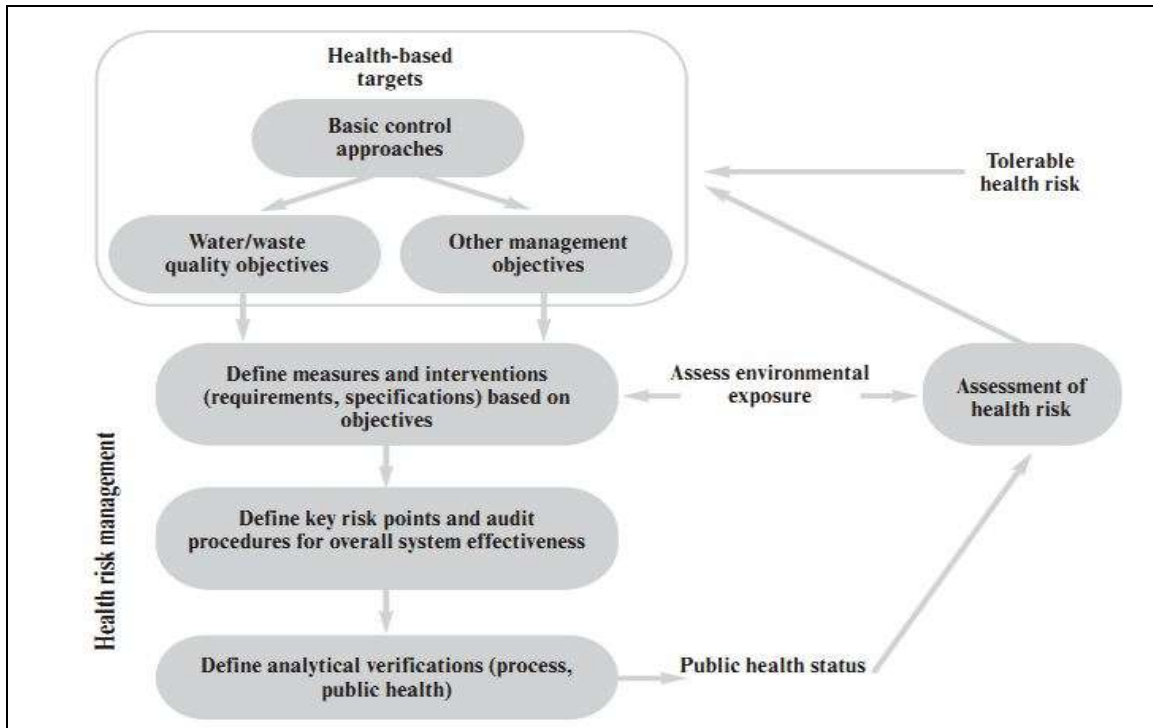
- Π.Δ. 51/2007 της 8^{ης} Μαρτίου 2007 για τον καθορισμό μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με την οδηγία 200/60/ΕΚ.

Από αυτές η πιο σημαντική για το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης θεωρείται η ΚΥΑ 38295/2007 για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, αφού αποτελεί τροποποίηση της προηγούμενης ΚΥΑ 2600/2001. Στο **Παράρτημα Ι** δίνονται πίνακες που αφορούν μικροβιολογικές, χημικές και ενδεικτικές παραμέτρους στο πόσιμο νερό.

Παράλληλα, η WHO έχει δώσει τις παρακάτω κατευθυντήριες οδηγίες:

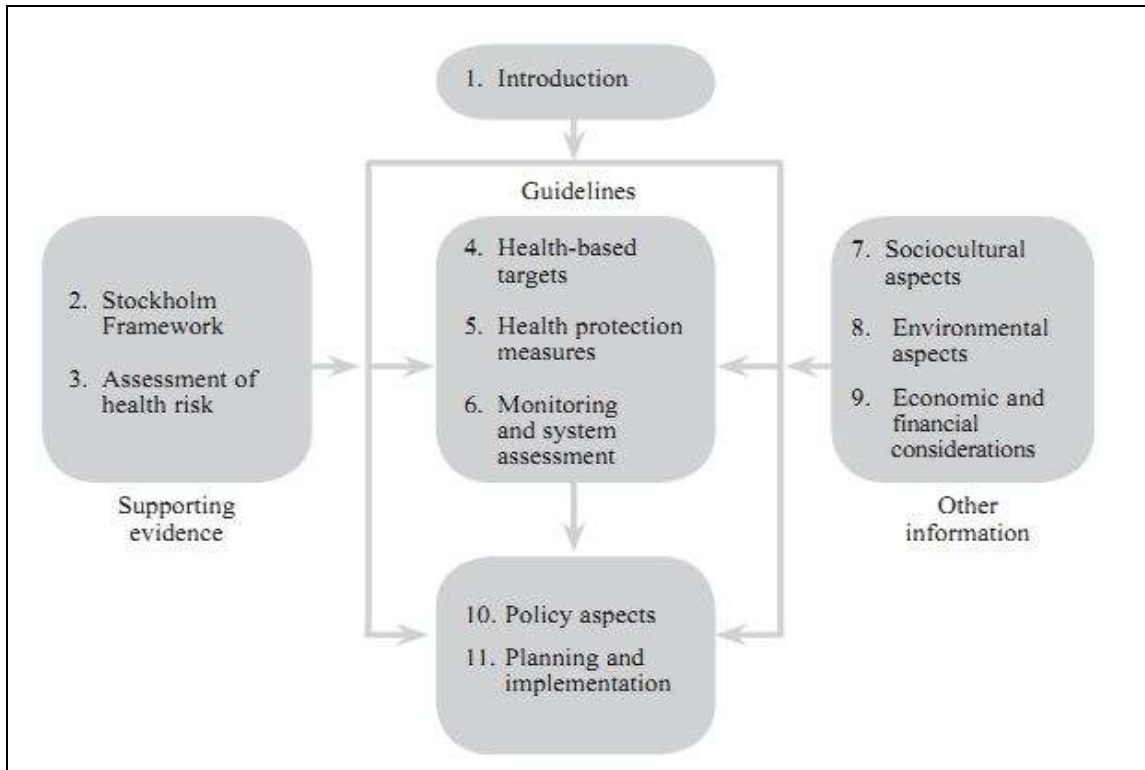
- Stockholm Framework 2001 για την ποιότητα του νερού.
- WHO Guidelines 2006 για την ασφαλή χρήση των υγρών αποβλήτων στην γεωργία.
- Guidelines of Drinking-Water Quality 2011 σχετικά με τις κύριες παραμέτρους και τα όρια τους για την ποιότητα και την ασφάλεια του πόσιμου νερού.

Στο Stockholm Framework γίνεται λόγος για ένα ομογενοποιημένο πλαίσιο πάνω στην ανάπτυξη των κατευθυντήριων γραμμών και των προτύπων, τα οποία πρέπει να διέπουν όλους του μικροβιακούς κινδύνους από την επεξεργασία του νερού. Το πλαίσιο της Στοκχόλμης ασχολείται με την αξιολόγηση των κινδύνων στη δημόσια υγεία, καθορίζοντας βασικούς ελέγχους και διαπιστώνοντας την επίδραση από συνδυασμένες τεχνικές επεξεργασίας του νερού. Στο **Σχήμα 4** δίδεται η συνολική διαχείριση των κινδύνων που πιθανώς να εμπεριέχουν τα ανακτημένα νερά.



Σχήμα 4. Διαχείριση μεταδιδόμενων ασθενειών από την επεξεργασία του νερού [5]

Οι κατευθυντήριες γραμμές της WHO ασχολούνται με την ορθολογική χρήση του ανακτημένου νερού στην γεωργία είτε προέρχεται από μαύρο είτε από γκρίζο νερό. Πιο συγκεκριμένα, ασχολούνται με τα μέτρα προστασίας από συγκεκριμένους ρυπαντές, μέτρα παρακολούθησης, κοινωνικά & οικονομικά θέματα που πρέπει να παρθούν ούτως ώστε να μην προκαλείται κίνδυνος για την δημόσια υγεία. Στο **Σχήμα 5** παρουσιάζεται οι βασικές κατευθυντήριες γραμμές οι οποίες αποτελούνται από κανόνες υγιεινής, μέτρα υγιεινής, συστήματα ελέγχου, θέματα νομοθεσίας και τέλος τον σχεδιασμό και εφαρμογή της.



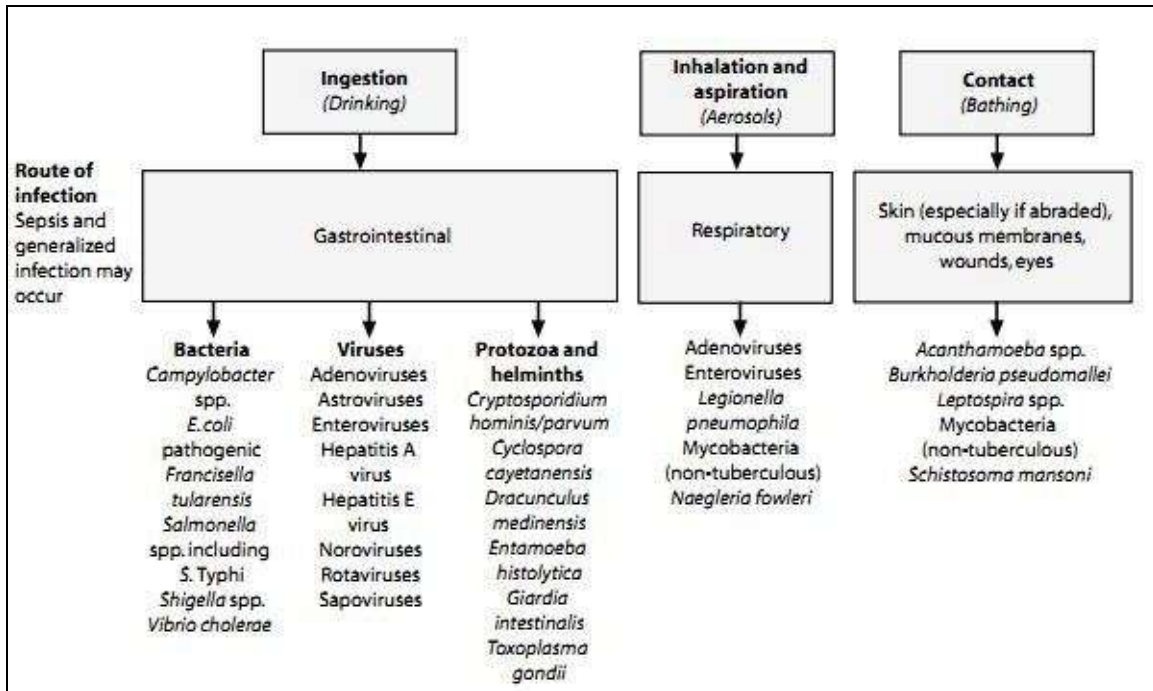
Σχήμα 5. Κατευθυντήριες γραμμές για την ασφαλή χρήση ανακτημένου νερού στην γεωργία [5]

Βέβαια, τα όρια των χημικών αλλά και μικροβιακών παραμέτρων συμπεριλαμβάνονται στο Guidelines of Drinking-Water Quality της WHO. Οι κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του πόσιμου νερού ασχολούνται με την προστασία της δημόσιας υγείας. Ουσιαστικά πρόκειται για την τέταρτη έκδοση της WHO με αντικείμενο τα παρακάτω:

- Ασφάλεια πόσιμου νερού.
- Προσεγγίσεις πάνω στις κατευθυντήριες γραμμές.
- Μικροβιακοί κίνδυνοι οι οποίοι συνεχίζουν να υπάρχουν στις ανεπτυγμένες χώρες.
- Κλιματικές αλλαγές οι οποίες αλλάζουν την θερμοκρασία του νερού και το ποσοστό των βροχοπτώσεων, παρατεταμένες ξηρασίες και αυξανόμενες πλημμύρες, καθώς και επιπτώσεις την ποιότητα του νερού.
- Χημικοί ρυπαντές στο πόσιμο νερό, περιλαμβάνοντας νεοεμφανιζόμενα συστατικά όπως τα φυτοφάρμακα και αναθεωρήσεις για τα υπάρχοντα χημικά.

- Σημαντικά χημικά συστατικά τα οποία είναι υπεύθυνα για τις μεγάλης κλίμακας ασθένειες, όπως το αρσενικό, τα φθοριούχα, ο ψευδάργυρος, το σελήνιο και το ουράνιο.
- Τον σημαντικό ρόλο που παίζουν αυτοί που ασχολούνται με την παροχή και διανομή του πόσιμου νερού.
- Καθοδήγηση σε περιπτώσεις διαφορετικές από τις παραδοσιακές τεχνικές, όπως η συλλογή των όμβριων υδάτων και άλλες.

Χαρακτηριστικό του Guidelines of Drinking-Water Quality είναι το **Σχήμα 6**. Τα περισσότερα από τα παρακάτω παθογόνα που επηρεάζουν τον ανθρώπινο οργανισμό, συναντώνται παγκόσμια. Κάποια από αυτά που προκαλούν χολέρα (cholera) και την ασθένεια του σκουληκιού της Γουινέας (guinea worm) συναντώνται σε περιφερειακό επίπεδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η εκρίζωση και εξάλειψη του *Dracunculus medinensis* αποτελεί πρωταρχικό στόχο της WHO από το 1991. Φυσικά υπάρχουν παθογόνα τα οποία δεν αναφέρονται στο **Σχήμα 6** και αυτό συμβαίνει διότι ο αριθμός των γνωστών παθογόνων ολοένα συνεχίζει να αυξάνεται. Στο **Παράρτημα III** δίνονται τρεις πίνακες που δείχνουν τα όρια των χημικών παραμέτρων που έχουν τεθεί από την WHO για το πόσιμο νερό. Επίσης, παρουσιάζεται και πίνακας ο οποίος δείχνει τα παθογόνα τα οποία μεταφέρονται μέσω του πόσιμου νερού, την ανθεκτικότητά τους και την σπουδαιότητα που παρουσιάζουν αυτά. [9]



Σχήμα 6. Μόλυνση νερού από παθογόνα [9]

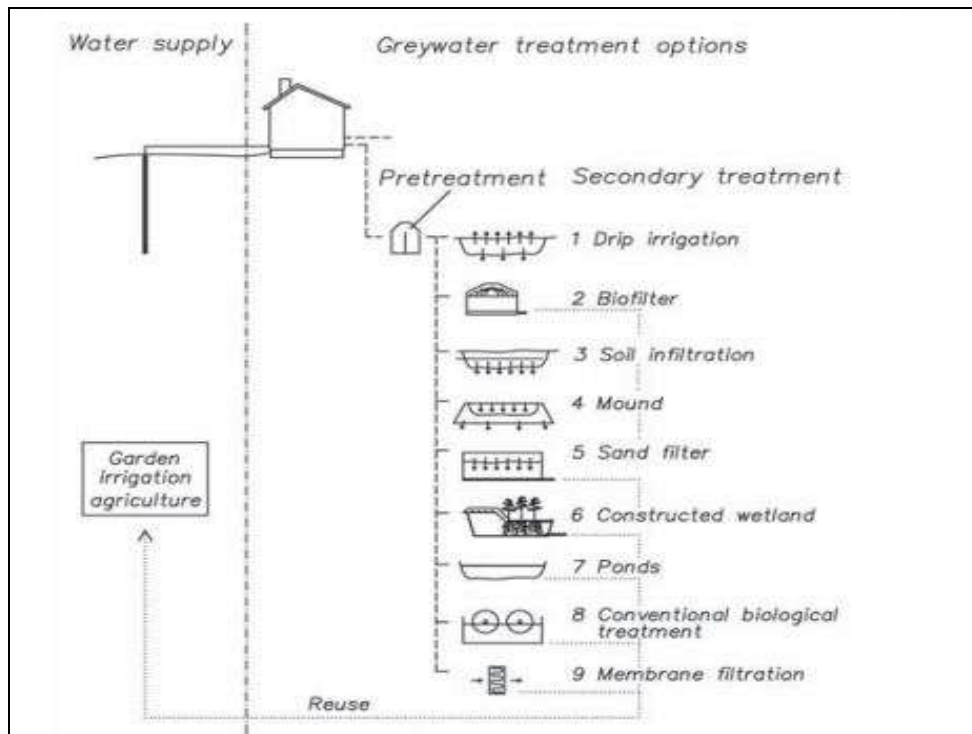
Κεφάλαιο 3^ο. Τεχνολογίες ανάκτησης γκρίζου νερού

3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το γκρίζο νερό έχει τον μεγαλύτερο όγκο υγρών αποβλήτων σε ένα νοικοκυριό, με χαμηλά επίπεδα νιτρικών και παθογόνων οργανισμών. Μπορούν να εφαρμοσθούν απλές μέθοδοι επεξεργασίας όπως η διήθηση στο έδαφος, φίλτρα από χαλίκι ή άμμο, επιφανειακές λίμνες, και να επιτύχουν τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, ούτως ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος για τη δημόσια υγεία. Επίσης, συχνά χρησιμοποιούνται πιο πολύπλοκες μέθοδοι επεξεργασίας, όπως η ενεργός ιλύς, οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι και η διήθηση μεμβρανών. Το ανακτημένο υγρό συνήθως χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών, αλλά συχνά αναφέρεται η έγχυση σε υπόγεια ύδατα και η βιομηχανική χρήση. Ο έλεγχος στην πηγή και η σωστή διαχείριση του νερού πρέπει να εφαρμόζονται στην επεξεργασία του γκρίζου νερού. Αυτό συνδέεται άμεσα με τη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον χημικών, όπως και η μείωση του απαιτούμενου νερού στα νοικοκυριά.

Σύμφωνα με την WHO, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός της μονάδας επεξεργασίας του γκρίζου νερού λαμβάνοντας υπόψη μέση κατανάλωση 80 lit/άτομο.day. Σε βιομηχανοποιημένες χώρες, περίσσειες ποσότητες απορρυπαντικών είναι υπεύθυνες για την παρουσία BOD₅, ενώ το γκρίζο νερό αναμένεται να περιέχει επίσης λίπη και έλαια που προέρχονται από την παραγωγή φαγητού. Όταν το γκρίζο νερό αναμένεται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, τότε υγρά κρεμοσάπωνα τα οποία περιέχουν κάλιο θα πρέπει να προτιμώνται, επειδή τα κοινά σαπούνια συχνά περιέχουν νάτριο το οποίο αυξάνει την αλατότητα του εδάφους. [5]

Γενικά, η συλλογή του γκρίζου νερού συνίσταται από μια σωλήνα μικρής διαμέτρου που συνδυάζεται με παγίδες νερού και διαφυγή οσμών. Πριν από την επαναχρησιμοποίησή του, πρέπει να τηρούνται όλοι οι κανόνες υγιεινής με βάση ένα σύστημα επεξεργασίας το οποίο θα διασφαλίζει την μείωση του BOD₅ και των αιωρούμενων στερεών. Στο **Σχήμα 7** δίνονται οι πιθανότεροι τρόποι επεξεργασίας.



Σχήμα 7. Μέθοδοι επεξεργασίας γκρίζου νερού [5]

Το σύστημα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας ή προεπεξεργασίας χρειάζεται πάντα για την αποφυγή έμφραξης πριν από το επόμενο στάδιο επεξεργασίας. Συνήθως, αποτελείται από ένα σύστημα διαχωρισμού στερεού – υγρού, το οποίο μειώνει το μέγεθος των σωματιδίων και των λιπών, μέσω ενός λιποσυλλέκτη, πρωτοβάθμια καθίζηση ή και σύστημα φίλτρανσης όπως τα σακόφιλτρα. Βέβαια, η πιο κοινή μέθοδος είναι η σηπτική δεξαμενή (septic tank), αν και η απομάκρυνση των παθογόνων είναι χαμηλή (<0.5 log). Οι δευτεροβάθμιες διεργασίες αναλύονται στο **Κεφάλαιο 4** και αποτελούνται από:

- ❖ Απευθείας άρδευση (σταγόνα-σταγόνα).
- ❖ Βιοφίλτρα.
- ❖ Διήθηση στο έδαφος.
- ❖ Αμμόφιλτρα.

- ❖ Κατασκευασμένοι υγρότοποι.
- ❖ Λίμνες εξάτμισης.
- ❖ Συμβατικές βιολογικές επεξεργασίες.
- ❖ Διήθηση σε μεμβράνες.

Σε αρκετές περιπτώσεις και όταν η εκροή από τις δευτεροβάθμιες διεργασίες δεν συνάδει με τα όρια εκροής των αντίστοιχων νομοθεσιών, τότε χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα η τριτοβάθμια διεργασία της απολύμανσης. Η απολύμανση αυτή μπορεί να γίνει είτε με χλώριο είτε με όζον, αλλά η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) θεωρείται πιο αποτελεσματική απέναντι στα ανθεκτικά οργανικά συστατικά (NDMA). Το τεράστιο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η σχετικά ακριβή τιμή της. [5]

3.2 ΑΠΟΔΟΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το αντικείμενο της παρούσας ενότητας είναι η μελέτη των τεχνολογιών επεξεργασίας, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην επαναχρησιμοποίηση του γκριζου νερού. Η απαιτούμενη ποιότητα του επεξεργασμένου νερού βέβαια ποικίλει ανάλογα με την εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, τα συστατικά των υγρών αποβλήτων που αφορούν την επεξεργασία μπορούν να χωρισθούν σε κατηγορίες, ως συμβατικά, μη συμβατικά και νεοεμφανιζόμενα. Τα πρώτα συνήθως απομακρύνονται με συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας, όπως είναι η πρωτοβάθμια καθίζηση και οι δευτεροβάθμιες βιολογικές διεργασίες. Τα μη συμβατικά συνήθως απαιτούν προχωρημένη επεξεργασία υγρών αποβλήτων, δηλαδή διήθηση με μεμβράνες και προσρόφηση με φίλτρα. Όσο αφορά τα νεοεμφανιζόμενα, η απομάκρυνσή τους γίνεται με συνδυασμό των δύο προηγούμενων μεθόδων, αλλά δεν μπορεί να καθοριστεί ακριβώς το ποσοστό απομάκρυνσής τους. Στον **Πίνακα 9** παρουσιάζονται τυπικά δεδομένα απομάκρυνσης των συμβατικών και μη συμβατικών.

Πίνακας 9. Απομάκρυνση συστατικών υγρών αποβλήτων για ανάκτηση νερού [1]

| Συμβατικά | Συγκέντρωση (mg/l) | Πρωτοβάθμια εκροή (mg/l) | Δευτεροβάθμια εκροή (mg/l) | Τριτοβάθμια εκροή (mg/l) | Προχωρημένη επεξεργασία (mg/l) | Ολική απομάκρυνση (%) |
|--------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| BOD ₅ | 185 | 149 | 13 | 4.3 | 0 | 98 |
| TSS | 219 | 131 | 9.8 | 1.3 | 0 | 99 |
| TOC | 91 | 72 | 14 | 7.1 | 0.6 | 99 |
| TS | 1452 | 1322 | 1183 | 1090 | 43 | 97 |
| NH ₃ -N | 22 | 21 | 9.5 | 9.3 | 0.8 | 96 |
| NO ₃ -N | 0.1 | 0.1 | 1.4 | 1.7 | 0.7 | 0 |
| PO ₄ -P | 6.1 | 5.1 | 3.4 | 0.1 | 0.1 | 98 |
| TKN | 31.5 | 30.6 | 13.9 | 14.2 | 0.9 | 97 |
| Μη συμβατικά | Συγκέντρωση (mg/l) | Πρωτοβάθμια εκροή (mg/l) | Δευτεροβάθμια εκροή (mg/l) | Τριτοβάθμια εκροή (mg/l) | Προχωρημένη επεξεργασία (mg/l) | Ολική απομάκρυνση (%) |
| Na | 198 | 192 | 198 | 211 | 11.9 | 94 |
| SO ₄ | 312 | 283 | 309 | 368 | 0.1 | 99 |
| Mg | 38.5 | 38.1 | 39.3 | 6.4 | 1.5 | 96 |
| Ca | 74.4 | 72.2 | 66.7 | 70.1 | 1 | 99 |
| Cl | 240 | 232 | 238 | 284 | 15 | 94 |
| B | 0.35 | 0.38 | 0.42 | 0.31 | 0.29 | 17 |

Είναι ξεκάθαρο ότι για τα συμβατικά συστατικά μπορεί να επιτευχθεί πολύ υψηλός βαθμός επεξεργασίας, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία διεργασιών. Αντίστοιχα δεδομένα για την απομάκρυνση των συστατικών παρουσιάζονται στον **Πίνακα 10** για πλήρη επεξεργασία και αντίστροφη όσμωση. Η παρακάτω δευτεροβάθμια επεξεργασία θεωρείται ότι περιλαμβάνει την βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών (BNR – Biological Nutrient Removal). Με βάση τα δεδομένα του **Πίνακα 10**, είναι φανερό ότι η απόδοση της επεξεργασίας για τα μη συμβατικά συστατικά είναι αρκετά μεταβαλλόμενη και όχι τόσο προσδιορισμένη.

Πίνακας 10. Τυπικές εκροές μετά από διάφορα στάδια επεξεργασίας [1]

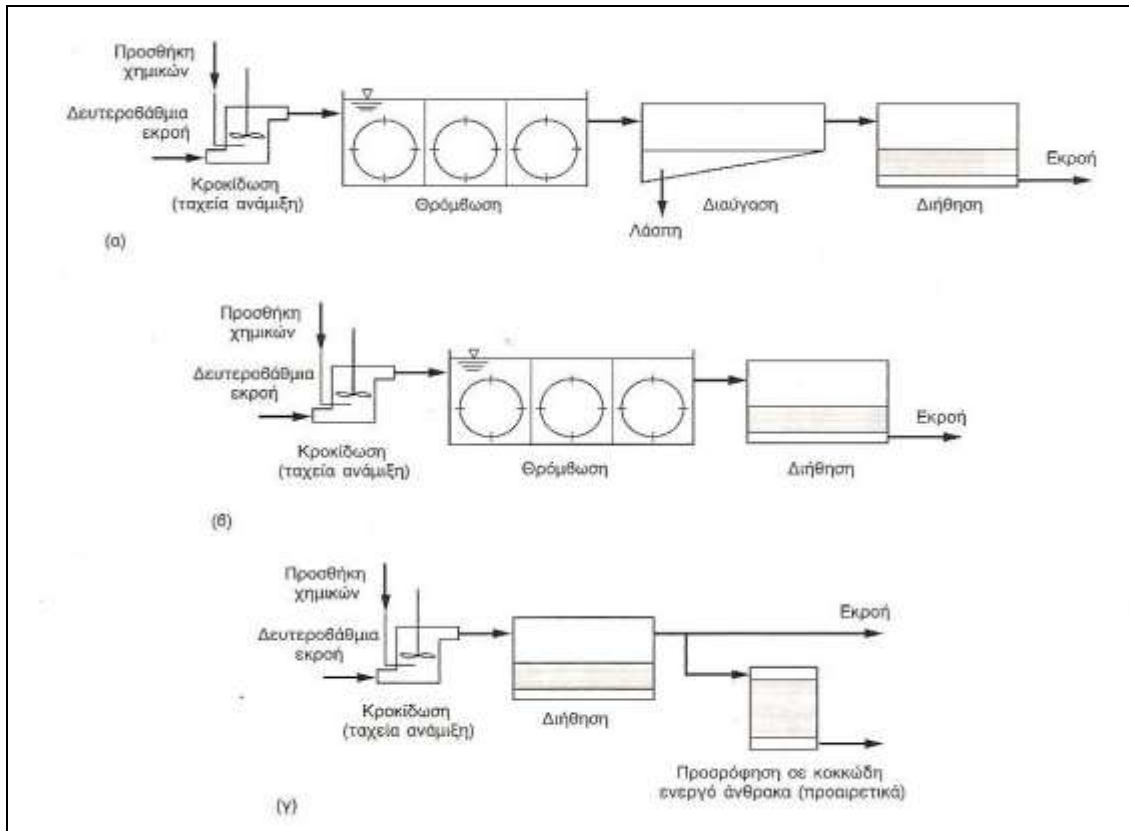
| Κατηγορία | Συστατικά | Δευτεροβάθμια επεξεργασία (BNR) + απολύμανση | Δευτεροβάθμια επεξεργασία (BNR) + διήθηση + απολύμανση | Δευτεροβάθμια επεξεργασία (BNR) + μικροδιήθηση + αντίστροφη όσμωση + απολύμανση |
|-----------|-------------------------|--|--|---|
| Συμβατικά | TSS (mg/l) | 5-20 | 1-4 | ≤1 |
| | BOD ₅ (mg/l) | 5-10 | 1-5 | ≤1 |
| | TOC (mg/l) | 5-20 | 1-5 | ≤1 |
| | NH ₃ (mg/l) | 10-20 | 0-5 | 0-2 |
| | NO ₃ (mg/l) | 0.1-1 | 0.1-1 | ≤0.1 |
| | TN (mg/l) | 2-12 | 2-12 | ≤1 |
| | P (mg/l) | 0.1-0.5 | 0.1-0.5 | ≤5 |
| | Θολότητα (NTU) | 2-6 | ≤2 | 0.1-1 |
| | Βακτήρια (mg/l) | 2.2-240 | ≤2.2 | 0 |
| | Κύστεις (/100 ml) | 5-10 | ≤1 | 0 |
| | Ιοί (/100 ml) | 10-10000 | ≤10 ⁻⁴ | 0 |

| | | | | |
|-----------------|--|---------|---------|---------|
| Μη συμβατικά | Δύσκολα αποικοδομήσιμα οργανικά (mg/l) | 1-5 | 1-5 | 1-5 |
| | VOC (mg/l) | 1-2 | 1-2 | ≤1 |
| | Μέταλλα (mg/l) | 0 | 0 | ≤1 |
| | Επιφανειοδραστικές ουσίες (mg/l) | 1-2 | 1-1.5 | ≤1 |
| | TDS (mg/l) | 500-700 | 500-700 | 10-50 |
| Νεοεμφανιζόμενα | Ιατρικά φάρμακα | Άγνωστο | Άγνωστο | Άγνωστο |
| | Απορρυπαντικά | Άγνωστο | Άγνωστο | Άγνωστο |
| | Αντιβιοτικά | Άγνωστο | Άγνωστο | Άγνωστο |
| | Βιομηχανικά προϊόντα | Άγνωστο | Άγνωστο | Άγνωστο |
| | Ορμόνες | Άγνωστο | Άγνωστο | Άγνωστο |
| | Ενδοκρινικές ουσίες | Άγνωστο | Άγνωστο | Άγνωστο |

3.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΗΣ

Η απεριόριστη αστική επαναχρησιμοποίηση περιλαμβάνει τη χρήση του ανακτημένου νερού, όπου ανάλογα με την εφαρμογή είναι πολύ πιθανή η συχνή δημόσια έκθεση. Για απεριόριστη χρήση του νερού απαιτείται απολυμασμένη, διηθημένη εκροή. Γενικά, για την παραγωγή της απαιτούμενης ποιότητας τριτοβάθμιας εκροής χρησιμοποιούνται συνήθως διαγράμματα ροής τριτοβάθμιας επεξεργασίας, όπως στο **Σχήμα 8**. Στην πρώτη περίπτωση (α) εφαρμόζεται πλήρης επεξεργασία: κροκίδωση, θρόμβωση, καθίζηση (διαύγαση) και διήθηση. Στην δεύτερη

(β) εφαρμόζεται απευθείας διήθηση μετά την κροκίδωση και την θρόμβωση. Στην τρίτη περίπτωση (γ) βλέπουμε ότι γίνεται διήθηση επαφής ή απευθείας διήθηση μετά την κροκίδωση και προαιρετική εφαρμογή προσρόφησης σε κοκκώδη ενεργό άνθρακα. Στη διήθηση επαφής παραλείπονται οι διεργασίες θρόμβωσης και διαύγασης και το σύστημα επεξεργασίας βασίζεται στη μεσολάβηση της κροκίδωσης, πριν τη διήθηση.



Σχήμα 8. Συστήματα τριτοβάθμιας επεξεργασίας για ανάκτηση νερού [1]

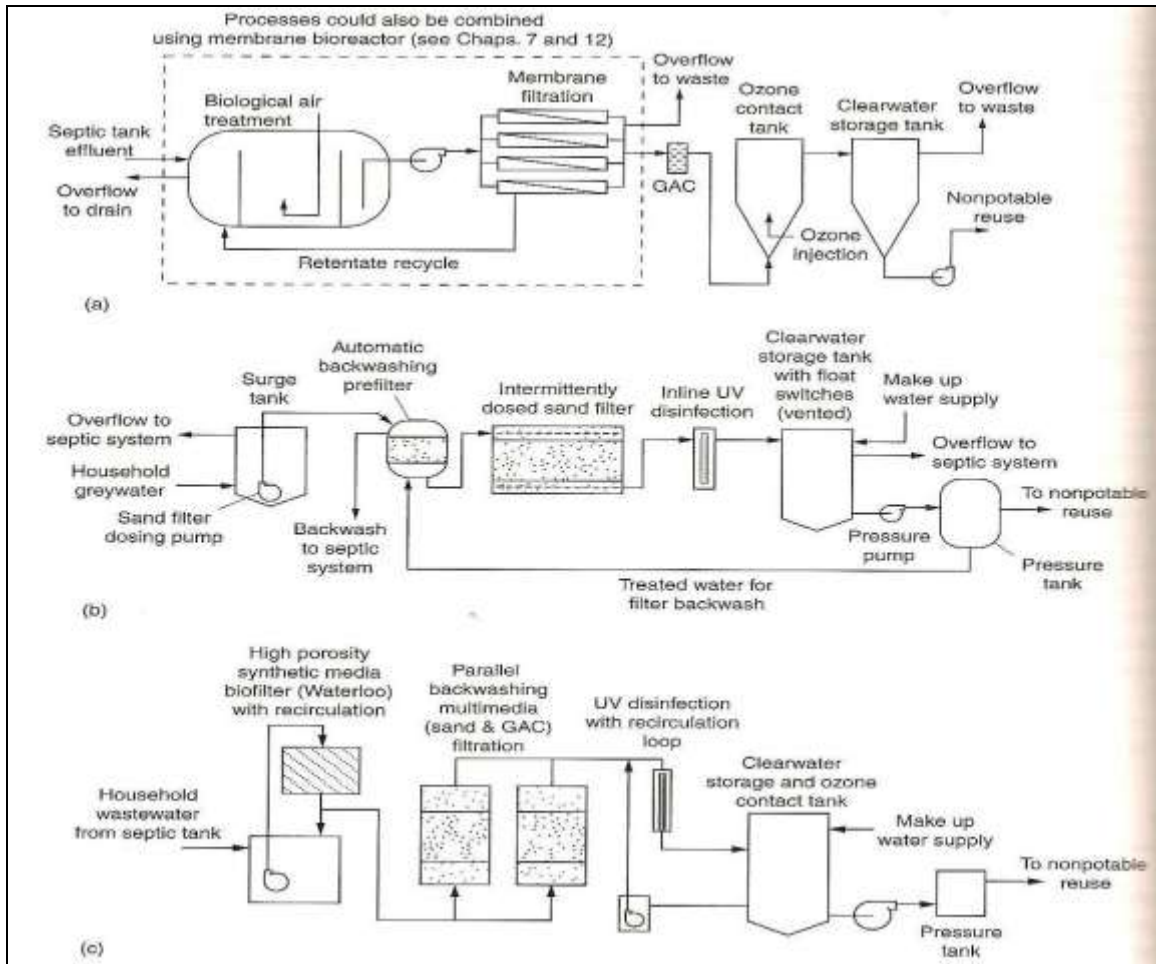
Το διάγραμμα ροής για την πλήρη επεξεργασία, όπως παρουσιάζεται στο **Σχήμα 8**, είναι ένα διάγραμμα επεξεργασίας νερού το οποίο περιέχει υποχρεωτικά κροκίδωση, θρόμβωση, διαύγαση, διήθηση και απολύμανση. Χρησιμοποιώντας δευτεροβάθμια επεξεργασμένες εκροές ως πηγή τροφοδοσίας, η δυνατότητα επεξεργασίας για αυτό το διάγραμμα ροής όσον αφορά τα στερεά, τα βακτήρια και τους εντερικούς ιούς είναι ικανοποιητική και ουσιαστικά μπορεί να παραχθεί, μετά από απολύμανση, νερό ελεύθερο από ιούς. Το μειονέκτημα του

πρώτου διαγράμματος ροής είναι το πρόσθετο κόστος της διαύγασης και η διαχείριση των στερεών.

Η απευθείας διήθηση είναι το διάγραμμα ροής χωρίς τη διαύγαση. Η δεξαμενή θρόμβωσης χρησιμοποιείται ουσιαστικά για το σχηματισμό θρόμβων με την προσθήκη αλάτων αλουμινίου και πολυμερών κροκιδωτικών. Τυπικά στη συμβατικά επεξεργασμένη δευτεροβάθμια εκροή χρησιμοποιείται θολότητα της τάξης των 10 NTU, ως οικονομική διαχωριστική γραμμή, όταν πρόκειται να αποφασισθεί η χρήση μεταξύ πλήρους επεξεργασίας και διήθησης επαφής ή απευθείας διήθησης. Όταν διηθείται η εκροή από μια κλίνη σταθεροποίησης υγρών αποβλήτων, αναμένονται υψηλότερες τιμές θολότητας στην είσοδο και έτσι συχνά απαιτείται επίπλευση με αέρα και η χρήση χημικών.

Εάν η θολότητα της συμβατικά επεξεργασμένης δευτεροβάθμιας εκροής είναι μικρότερη από 10 NTU, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διήθηση επαφής για την εξασφάλιση των αυστηρών απαιτήσεων των 2 NTU. Όταν η θολότητα της δευτεροβάθμιας εκροής είναι πάνω από 7-9 NTU, συνήθως απαιτείται η προσθήκη κροκιδωτικών για να προκύψει εκροή με θολότητα 2 NTU, ενώ τα φίλτρα μπορεί να χρειασθεί να λειτουργήσουν με επιφανειακή φόρτιση χαμηλότερη από 200 l/m².min. [1]

Στα αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας η εκροή είναι αρκετά καθαρή, ώστε να χρησιμοποιηθεί για διήθηση στο έδαφος. Αρκετά συστήματα ανακύκλωσης συλλέγουν γκρίζο νερό από κτίρια ή μικρές κοινότητες ιδιαίτερα στις Η.Π.Α.. Αφού υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, το νερό επιστρέφει για χρήση στις τουαλέτες, για καθαρισμό ρούχων και μη πόσιμες άλλες χρήσεις. Παρότι είναι εξαιρετικά ακριβά συστήματα, χρησιμοποιούνται σε διαμερίσματα και γραφειακές εγκαταστάσεις σε περιοχές όπου δεν υφίστανται κεντρικές μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και όπου η ανάγκη για νερό παραμένει εξαιρετικά μεγάλη. Διαγράμματα για τέτοιες χρήσεις παρουσιάζονται στο **Σχήμα 9**.



Σχήμα 9. Προχωρημένη επεξεργασία ανακτημένου νερού με διάφορα συστήματα διήθησης [2]

Στην πρώτη περίπτωση (α) κυρίαρχη τεχνολογία είναι η διήθηση με μεμβράνες. Οι πρωτοβάθμιες εκροές διοχετεύονται σε βιολογική δευτεροβάθμια διεργασία και ακολούθως διηθούνται σε μεμβράνες. Οι εκροές από την μικροδιήθηση οδηγούνται σε προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και ακολουθεί η απολύμανση με όζον. Στη δεύτερη περίπτωση (β), βλέπουμε την διήθηση σε άμμο. Οι πρωτοβάθμιες εκροές οδεύουν προς το προφίλτρο και μετά σε αμμόφιλτρο και από εκεί για απολύμανση μέσω UV. Από εκεί στην δεξαμενή αποθήκευσης ανακτημένου νερού. Στη τρίτη περίπτωση (γ), έχουμε διπλή διήθηση σε άμμο και ενεργό άνθρακα. Οι δευτεροβάθμιες εκροές από την σηπτική δεξαμενή διοχετεύονται σε βιοφίλτρο με υψηλό πορώδες και ακολούθως σε φίλτρα άμμου και κοκκώδους ενεργού άνθρακα. Ακολουθεί απολύμανση με UV και αποθήκευση του ανακτημένου νερού. Εδώ αξίζει πάλι να σημειώσουμε

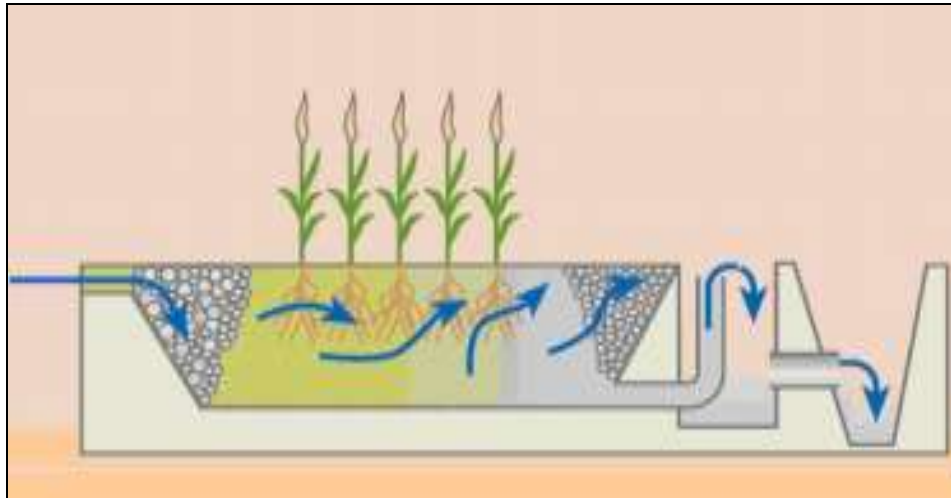
ότι και οι τρεις αυτές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μη πόσιμου ανακτημένου νερού. [2]

Κεφάλαιο 4^ο. Φυσικοχημικές & βιολογικές διεργασίες

4.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στις οποίες η μεταβολή λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή φυσικών δυνάμεων είναι γνωστές ως φυσικές διεργασίες. Οι φυσικές που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν: εσχάρωση, εξισορρόπηση ροής, ανάμιξη και συσσωμάτωση, εξάμμωση, καθίζηση και διαύγαση υψηλού ρυθμού, επίπλευση, αερισμό, εξάτμιση και απομάκρυνση των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC). Από αυτές, η εσχάρωση και η εξισορρόπηση ροής χρησιμοποιούνται πρωτοβάθμια. Η ανάμιξη και η συσσωμάτωση, η καθίζηση, η επίπλευση, η εξάτμιση, η προσρόφηση και η διήθηση (αμμόφιλτρα) χρησιμοποιούνται είτε δευτεροβάθμια είτε πρωτοβάθμια, ενώ η διήθηση με μεμβράνες μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως δευτεροβάθμια (MBR), είτε ως τριτοβάθμια επεξεργασία (αντίστροφη όσμωση και νανοδιήθηση). Επίσης, η απολύμανση με φυσικά μέσα (θερμότητα, φως και ηχητικά κύματα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τριτοβάθμια μέθοδος επεξεργασίας. Ακολούθως γίνεται λόγος για συμβατικές φυσικές διεργασίες οι οποίες έχουν προαναφερθεί ήδη στο **Σχήμα 7** και στην σελίδα 28.

Οι **κατασκευασμένοι υγρότοποι** είναι μέθοδος που έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Ουσιαστικά είναι μέθοδος κατά την οποία φυσικές, χημικές και βιολογικές μέθοδοι συνδυάζονται για την απομάκρυνση των ρυπαντών από τα υγρά απόβλητα. Στο **Σχήμα 10** φαίνεται η δομή ενός τέτοιου συστήματος επεξεργασίας. Η επεξεργασία του γκρίζου νερού επιτυγχάνεται από την διήθηση στο έδαφος μέσα από στρώμα χαλικιών ή άμμου και ακολούθως μέσα από μακρόφυτα (καλάμια). Με τον τρόπο αυτό μειώνεται πρώτα το οργανικό φορτίο και επιπρόσθετα οι συγκεντρώσεις των βακτηρίων. Αν σχεδιασθεί σωστά, μπορεί να παράγει πλήρως διαυγασμένο νερό, το οποίο δεν χρειάζεται περαιτέρω απολύμανση. Ουσιαστικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η υψηλή εξάτμιση που προκαλούν τα μακρόφυτα σε ιδιαίτερα θερμά κλίματα. Σε σχέση με τις συμβατικές βιολογικές μεθόδους, είναι από τις πιο απλές, πιο οικονομικές και περιβαλλοντικά φιλικές.

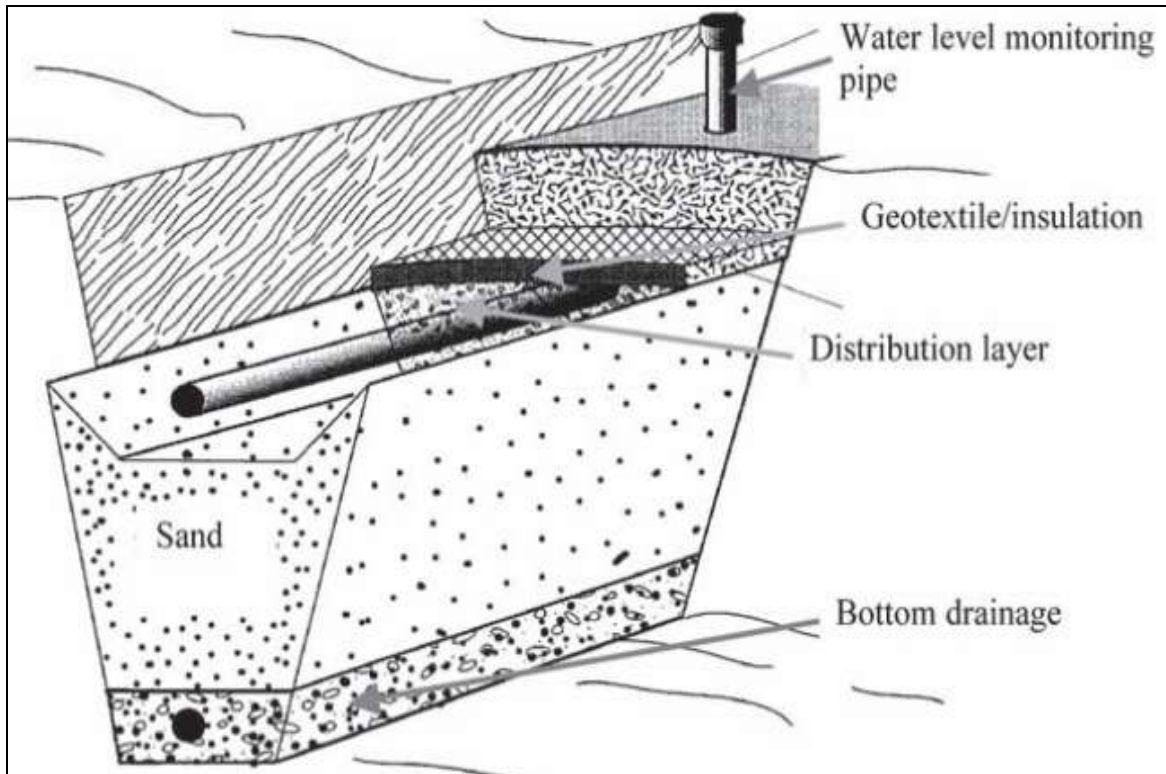


Σχήμα 10. Κατασκευασμένος υγρότοπος [6]

Το **αμμόφιλτρο** αποτελεί μια από τις πιο αξιόπιστες μεθόδους για τον καθαρισμό των υγρών αποβλήτων και έχει χρησιμοποιηθεί ιδιαίτερα τις τελευταίες δύο δεκαετίες για την επεξεργασία του γκριζου νερού. Στο **Σχήμα 11** δίνεται ένα αμμόφιλτρο κάθετης ροής, όπου η εφαρμογή του εξαρτάται από το υδραυλικό φορτίο και την ποσότητα των κόκκων άμμου. Τυπικά υδραυλικά φορτία βρίσκονται στην περιοχή των 2-10 cm/day. Για λεπτή ή μέση κοκκομετρία άμμου αναμένεται μείωση σε ενδεικτικά βακτήρια πάνω από 3 log, ενώ η απομάκρυνση σε BOD₅ είναι πάνω από 80% και η εκροή σε αιωρούμενα στερεά (TSS) είναι <5mg/l. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί η λογαριθμική μείωση των μικροβίων για την καλύτερη κατανόηση του κειμένου και των σχημάτων. Έτσι:

- Όταν υπάρχει μείωση 1 log, τότε ο αριθμός των μικροβίων είναι 10 φορές μικρότερος.
- Όταν υπάρχει μείωση 2 log, τότε ο αριθμός των μικροβίων είναι 100 φορές μικρότερος.
- Όταν υπάρχει μείωση 3 log, τότε ο αριθμός των μικροβίων είναι 1000 φορές μικρότερος.
- Όταν υπάρχει μείωση 4 log, τότε ο αριθμός των μικροβίων είναι 10000 φορές μικρότερος.

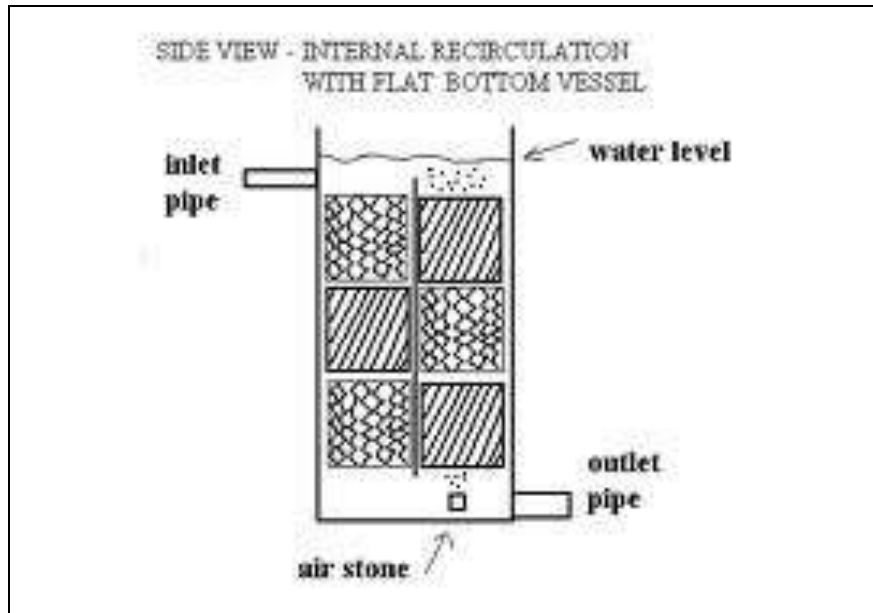
Αναλογικά συμβαίνει για μεγαλύτερες λογαριθμικές μειώσεις. Γενικά, η απομάκρυνση βακτηρίων, ιών και φωσφόρου αυξάνεται όταν χρησιμοποιείται άμμος πλούσια σε σίδηρο και οξειδία του αργιλίου.[5]



Σχήμα 11. Αμμόφιλτρο [5]

Τα **βιοφίλτρα** χρησιμοποιούνται πρωτοβάθμια σε κατακόρυφη ροή είτε σε κατασκευασμένους υγροτόπους με ελαφρά πρόσθετα υλικά (άμμος, χαλίκι) της τάξεως των 2-10 mm, αλλά και δευτεροβάθμια σε συνδυασμό με δεξαμενές βιολογικής επεξεργασίας για την μείωση του BOD₅. Υψηλές αποδόσεις σε απομάκρυνση ενδεικτικών βακτηρίων έχουν παρατηρηθεί κατά την διάρκεια διακοπτόμενης φίλτρανσης σε προδιαγεγραμμένους υδραυλικούς χρόνους και μέγεθος κόκκων. Όταν χρησιμοποιούνται πρωτοβάθμια σε γκρίζο νερό, προσδίδουν αέρα και μειώνουν έτσι το BOD₅ και τον πληθυσμό των βακτηρίων. Για τυπικό υδραυλικό φορτίο πάνω από 110 cm/day, αναμένεται μείωση πάνω από 70% σε BOD₅ και περίπου 5 log μείωση στα βακτήρια. Στα βιοφίλτρα μπορεί να εφαρμοσθεί ομοιόμορφη κατανομή εισροής πάνω στην

επιφάνεια του βιοφίλτρου, όταν χρησιμοποιηθούν σιφώνια, αντλίες και ακροφύσια ψεκασμού. Στο **Σχήμα 12** δίνεται ένα απλό βιοφίλτρο με διάφορα στρώματα από την εταιρεία Biofilters. [5]

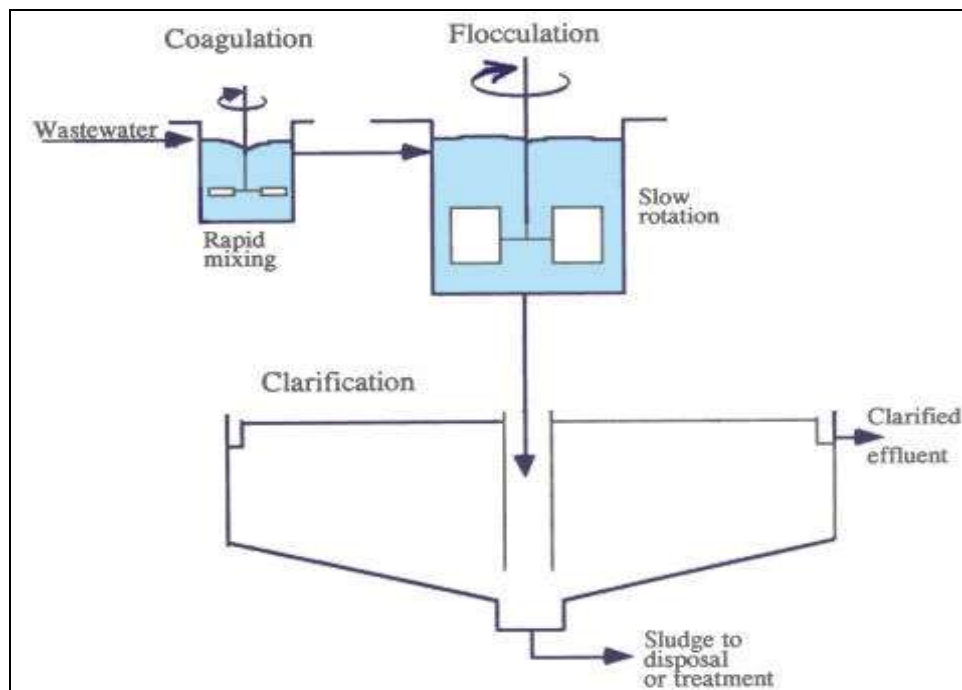


Σχήμα 12. Βιοφίλτρο [23]

4.2 ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

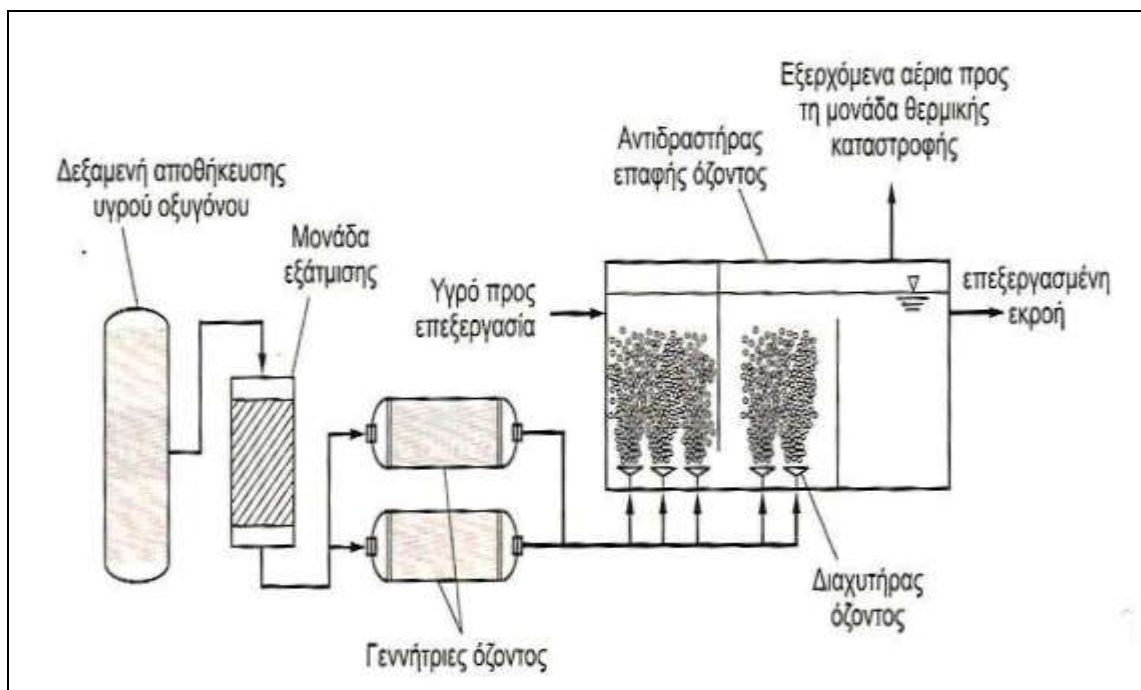
Οι διεργασίες εκείνες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και όχι μόνο, αλλά και στις οποίες η μετατροπή συντελείται μέσω χημικών αντιδράσεων, ονομάζονται χημικές διεργασίες. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και για την εκπλήρωση συγκεκριμένων κριτηρίων επεξεργασίας, οι χημικές διεργασίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με τις φυσικές. Οι κυριότερες από αυτές περιλαμβάνουν: χημική κροκίδωση και κατακρήμνιση, απολύμανση με χημικά, ιοντοεναλλαγή, χημική οξείδωση και χημική εξουδετέρωση. Από αυτές, η χημική κροκίδωση έχει προαναφερθεί στο **Σχήμα 8** και είναι αρκετά σημαντική σε συνδυασμό με την ανάμιξη και τη συσσωμάτωση ως πρωτοβάθμια επεξεργασία. Επίσης, στο **Σχήμα 9** της σελίδας 35 γίνεται λόγος και για την απολύμανση με όζον η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά της απολύμανσης με UV σαν τριτοβάθμια επεξεργασία. Στο σημείο αυτό θα γίνει λόγος για αυτές τις δύο μεθόδους επεξεργασίας.

Η **κροκίδωση** περιλαμβάνει όλες τις αντιδράσεις και τους μηχανισμούς που εμπλέκονται στη χημική αποσταθεροποίηση των σωματιδίων και στο σχηματισμό μεγαλύτερων σωματιδίων μέσω της συσσωμάτωσης, δηλαδή συσσωμάτωση των σωματιδίων με μέγεθος από 0.01 έως 1 μm . Γενικά, κροκιδωτικό είναι το χημικό το οποίο προστίθεται για την αποσταθεροποίηση των κολλοειδών σωματιδίων στα υγρά απόβλητα, έτσι ώστε να προκύψει ο σχηματισμός κροκίδων. Τυπικά κροκιδωτικά και αντιδραστήρια συσσωμάτωσης περιλαμβάνουν φυσικά και συνθετικά οργανικά πολυμερή, μεταλλικά άλατα, όπως το $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (θειικό αργίλιο) και το FeCl_3 (τριχλωριούχο σίδηρο), καθώς και επίσης προϋδρολυμένα άλατα μετάλλων όπως το χλωριούχο πολυαργίλιο (PAC) και το χλωριούχο πολυσίδηρο. Τα αντιδραστήρια συσσωμάτωσης και ειδικά τα οργανικά πολυμερή χρησιμοποιούνται επίσης για την αύξηση της απόδοσης των φίλτρων με κοκκώδη μέσα και για την αφυδάτωση χωνευμένων βιοστερεών. Σκοπός της συσσωμάτωσης είναι η παραγωγή σωματιδίων τα οποία μπορούν να απομακρυνθούν με μη δαπανηρές διαδικασίες διαχωρισμού σωματιδίων, όπως είναι η καθίζηση με βαρύτητα και η διήθηση. Στο **Σχήμα 13** παρουσιάζεται μια τυπική πρωτοβάθμια διεργασία με κροκίδωση χωρίς την παρουσία χημικών η οποία λαμβάνει χώρα στην εισροή των δύο δεξαμενών. [1]



Σχήμα 13. Κροκίδωση-συσσωμάτωση-καθίζηση [24]

Η χημική **απολύμανση** περιλαμβάνει οζονισμό και χλωρίωση με αρκετές ενώσεις του χλωρίου. Η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) ανήκει στις φυσικές διεργασίες, αφού η ακτινοβολία αυτή προέρχεται από το ηλιακό φως το οποίο θεωρείται ένα πολύ καλό απολυμαντικό όπως φαίνεται στο **Σχήμα 9**. Η χρήση του όζοντος είναι κυρίως ο τρίτοβάθμιος έλεγχος των ενώσεων που προσδίδουν γεύση, οσμή και χρώμα στο νερό. Είναι ένα ασταθές αέριο που παράγεται όταν μόρια οξυγόνου δίστανται σε άτομα οξυγόνου. Γενικά το όζον είναι πιο οικονομικό από το χλώριο και χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση δύσκολα διασπασίμων οργανικών ενώσεων, όπως οι διαλύτες. Στο **Σχήμα 14** παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής διεργασίας σε ένα τυπικό σύστημα απολύμανσης με όζον. Είναι ιδιαίτερα δραστικό οξειδωτικό και θεωρείται ότι η καταστροφή των βακτηρίων μέσω του οζονισμού λαμβάνει χώρα απευθείας με διάσπαση του κυτταρικού τοιχώματος. Είναι επίσης πολύ αποδοτικό για την καταστροφή ιών και γενικά θεωρείται ότι είναι περισσότερο αποδοτικό από το χλώριο. Ο οζονισμός δεν παράγει διαλυμένα στερεά και δεν επηρεάζεται από την τιμή του pH της εισροής.



Σχήμα 14. Διάταξη οζονισμού [1]

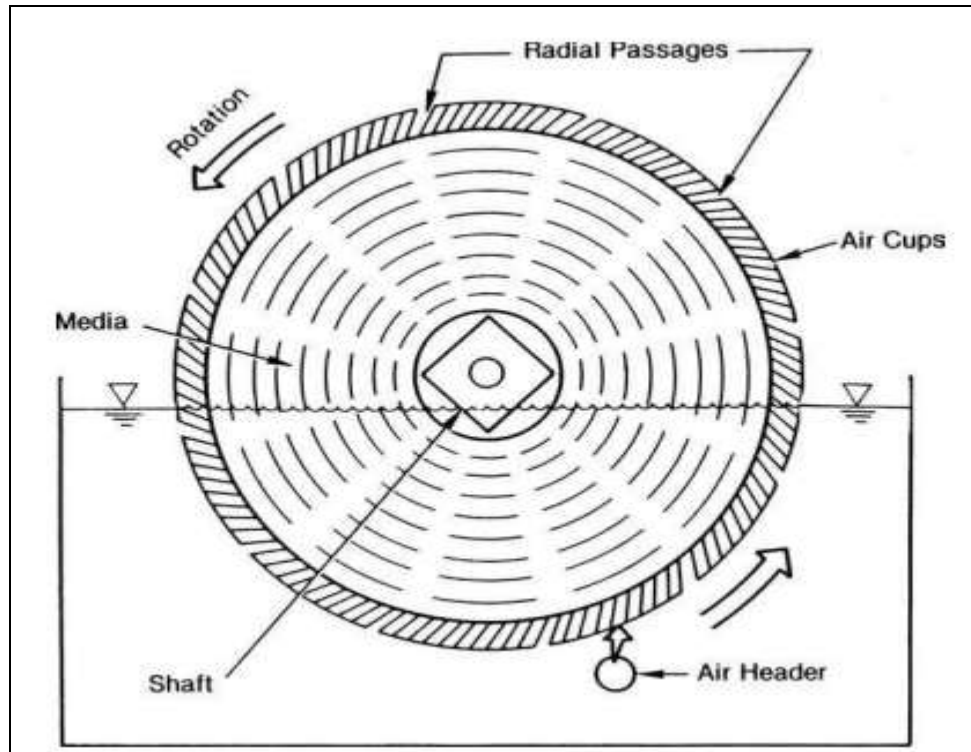
4.3 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι βιολογικές διεργασίες είναι εκείνες οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την βιολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων και μπορούν να καταταχθούν ανάλογα με τη μεταβολική τους λειτουργία, σε αερόβιες, αναερόβιες, ανοξικές και συνδυασμένες διεργασίες. Οι πιο βασικές περιλαμβάνουν: αερόβια οξείδωση, βιολογική νιτρικοποίηση και απονιτρικοποίηση, βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου, αναερόβια οξείδωση, βιολογική απομάκρυνση τοξικών ενώσεων και βαρέων μετάλλων. Βέβαια, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 9** και σε ό,τι αφορά το γκρίζο νερό, οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η αερόβια οξείδωση με αιωρούμενη και προσκολλημένη βιομάζα, με δεδομένα τα χαμηλά επίπεδα σε φώσφορο και άζωτο. Εδώ θα αναφέρουμε τρεις από τις καλύτερες τεχνολογίες για την επεξεργασία γκρίζου νερού, τους περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους (RBC), τον αντιδραστήρα διαλείποντος έργου (SBR) και τον αντιδραστήρα βιολογικών μεμβρανών (MBR). Αντίστοιχες μελέτες για τις διεργασίες αυτές παρουσιάζονται στην σχετική βιβλιογραφία. [10][11][12][14]

Οι **περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι** (Rotating Biological Contactors, RBC) εγκαταστάθηκαν για πρώτη φορά στη Δυτική Γερμανία το 1960 και από τότε αναφέρονται εκατοντάδες μονάδες ανά την υφήλιο. Αποτελούνται από μια σειρά τοποθετημένων κυκλικών δίσκων από πολυστυρένιο ή PVC, οι οποίοι είναι εμβαπτισμένοι στα υγρά απόβλητα και περιστρέφονται μέσα σ' αυτά. Οι κυλινδρικοί πλαστικοί δίσκοι περιστρέφονται με ένα κοινό οριζόντιο άξονα και δίδονται σε πρότυπα μεγέθη μονάδων που αγγίζουν τα 3.5 m σε διάμετρο και τα 7.5 m σε μήκος. Η μονάδα του RBC, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 15**, είναι συνήθως εμβαπτισμένη (έως και 40%) σε μια δεξαμενή που περιέχει υγρά απόβλητα, ενώ οι δίσκοι περιστρέφονται αργά με 1 - 1.6 rpm. Όσο η επιφάνεια των δίσκων βρίσκεται στην ατμόσφαιρα τότε επιτυγχάνεται αερισμός. Για την αποφυγή εμφράξεων, απαιτείται προεπεξεργασία της πρωτοβάθμιας λύσης καθώς και δευτεροβάθμια καθίζηση.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος RBC πρέπει να περιλαμβάνει τα κριτήρια φόρτισης, τα χαρακτηριστικά εκροής και δευτεροβάθμια καθίζηση. Εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης υποστρώματος στην εκροή και των υψηλών ρυθμών απομάκρυνσης ειδικού ρυθμού, το

εμβαδόν των δίσκων μπορεί να μειωθεί αν χρησιμοποιηθούν παράλληλα επιπρόσθετες μονάδες RBC.

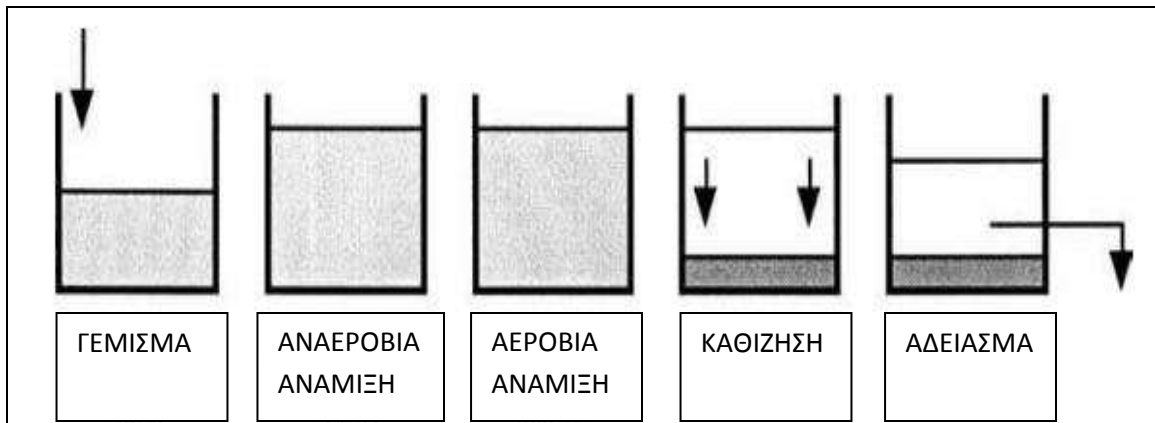


Σχήμα 15. Περιστρεφόμενος βιολογικός δίσκος [3]

Σχεδιάζοντας μια μονάδα RBC, είναι σημαντικό να επιλέγονται χαμηλά επίπεδα φορτίου BOD_5 για την αποφυγή της υπερφόρτισης. Τα προβλήματα οσμών συχνά προκαλούνται εξαιτίας υπερβολικών οργανικών φορτίων στο πρώτο στάδιο. Για το πρώτο στάδιο της διεργασίας συνήθως χρησιμοποιείται μια φόρτιση διαλυτού BOD_5 στο εύρος των $12-20 \text{ g sBOD/m}^2 \cdot \text{day}$. Η χρησιμοποίηση των RBC για την επεξεργασία του γκρίζου νερού προϋποθέτει δευτεροβάθμια καθίζηση και τριτοβάθμια απολύμανση με UV.

Ο **αντιδραστήρας διαλείποντος έργου** (Sequencing Batch Reactor, SBR) είναι ένας αντιδραστήρας εναλλασσομένων φάσεων, που αποτελείται από ένα μονοβάθμιο αντιδραστήρα πλήρους ανάμιξης στον οποίο συμβαίνουν όλα τα στάδια της ενεργού ιλύος. Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 16**, ο SBR διέρχεται από ένα αριθμό κύκλων ανά ημέρα, με ένα

τυπικό κύκλο να αποτελείται από γέμισμα 3 ώρες, αερισμό 2 ώρες, καθίζηση 0.5 ώρες και απομάκρυνση του υπερκείμενου υγρού 0.5 ώρες. Το μικτό υγρό παραμένει στον αντιδραστήρα σε όλη τη διάρκεια των κύκλων, με συνέπεια την εξάλειψη της ανάγκης για ξεχωριστές δεξαμενές καθίζησης. Το άδειασμα του υπερκείμενου υγρού επιτυγχάνεται είτε με σταθερό μηχανισμό είτε με πλωτό. Ο χρόνος παραμονής γενικά κυμαίνεται από 18-30 ώρες, με κριτήριο την παροχή της εισροής και τον όγκο της δεξαμενής που χρησιμοποιείται. Ο αερισμός μπορεί να επιτευχθεί με αεριστήρες ή διαχυτήρες χονδρής φυσαλίδας. Όταν χρησιμοποιείται επιπρόσθετα μηχανική ανάμιξη, τότε παρέχεται λειτουργική ευελιξία και είναι χρήσιμη κατά τη διάρκεια του γεμίσματος για ανοξική λειτουργία. Η αποβολή της περίσσειας ιλύος συμβαίνει κανονικά κατά τη διάρκεια του αερισμού.



Σχήμα 16. Αντιδραστήρας διαλείποντος έργου [3]

Ουσιαστικά, ο SBR είναι μια διεργασία ενεργού ιλύος με μόνη διαφορά την διακοπτόμενη λειτουργία. Υπάρχουν τα 5 στάδια διεργασίας που φαίνονται στο **Σχήμα 16**. Για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος, μιας και ενδείκνυται για χαμηλές συγκεντρώσεις γκρίζου νερού και για μικρές εγκαταστάσεις, δίνεται ο **Πίνακας 11**.

Πίνακας 11. Περιγραφή λειτουργίας SBR [1]

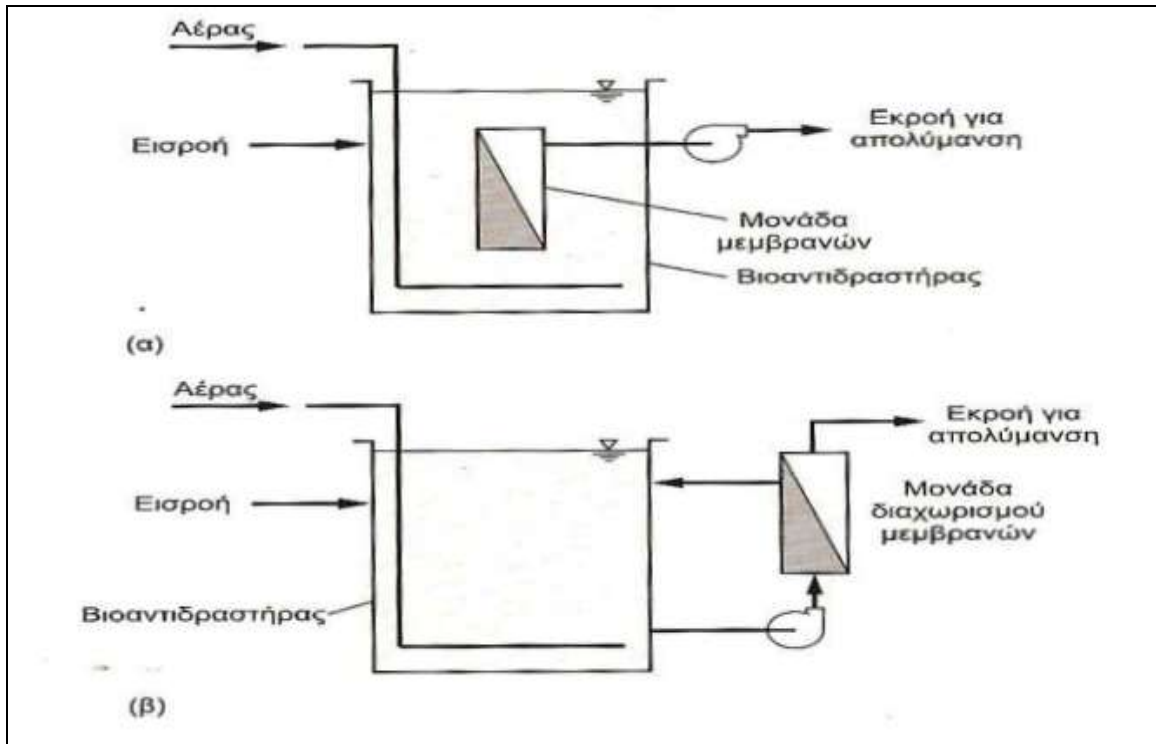
| Λειτουργικά βήματα | Περιγραφή λειτουργίας |
|--------------------|---|
| Γέμισμα | Προστίθεται όγκος και υπόστρωμα (υγρά απόβλητα). Το επίπεδο του υγρού στον αντιδραστήρα από το 75% ανεβαίνει στο 100%. Κατά τη διάρκεια του γεμίσματος, ο αντιδραστήρας μπορεί να αναμιχθεί και να αερισθεί για να αρχίσουν οι βιολογικές διεργασίες με την εισροή των αποβλήτων. |
| Αντίδραση | Η βιομάζα καταναλώνει το υπόστρωμα κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. |
| Καθίζηση | Τα στερεά αφήνονται να διαχωριστούν από το υγρό κάτω από συνθήκες ηρεμίας, με αποτέλεσμα το διαυγασμένο υπερκείμενο υγρό να μπορεί να αποβληθεί ως εκροή. |
| Άδειασμα | Η διαυγασμένη εκροή αφαιρείται με πλωτούς ή προσαρμοσμένους υπερχειλιστές. |

Ο **αντιδραστήρες βιολογικών μεμβρανών** (Membrane Biological Reactors, MBR) αποτελούνται από ένα βιολογικό αντιδραστήρα με αιωρούμενη βιομάζα και διαχωρισμό των στερεών από μεμβράνες μικροφίλτρων με ονομαστικό μέγεθος πόρων από 0.01-0.4 μm . Τα συστήματα των MBR μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αερόβιους ή αναερόβιους βιοαντιδραστήρες αιωρούμενης βιομάζας για το διαχωρισμό των υγρών αποβλήτων που έχουν υποστεί επεξεργασία από την ενεργή βιομάζα. Η έννοια των συστημάτων MBR αποτελείται από τη χρήση βιοαντιδραστήρα και μεμβράνης μικροδιήθησης ως μια ενιαία μονάδα για την επεξεργασία του γκρίζου νερού, με συνέπεια να αντικαθιστούν την δευτεροβάθμια καθίζηση της εκροής. Η δυνατότητα εξάλειψης της δευτεροβάθμιας καθίζησης προσφέρει τα επόμενα πλεονεκτήματα:

- ❖ Υψηλότερα ρυπαντικά φορτία και συντομότεροι υδραυλικοί χρόνοι παραμονής αντιδραστήρα.

- ❖ Μεγαλύτεροι χρόνοι παραμονής ιλύος (SRT – sludge retention time) που έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή λιγότερης ιλύος.
- ❖ Λειτουργία σε χαμηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου οξυγόνου με τη δυνατότητα για νιτροποίηση-απονιτροποίηση σε μεγαλύτερους SRT σχεδιασμού.
- ❖ Υψηλότερη ποιότητα εκροής σε όρους χαμηλής θολότητας, βακτηρίων, TSS και BOD₅.
- ❖ Λιγότερος χώρος για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Στα μειονεκτήματα των MBR περιλαμβάνονται τα υψηλά κόστη αρχικής επένδυσης, λίγα δεδομένα για χρόνο ζωής των μεμβρανών και υψηλό κόστος αντικατάστασης τους, υψηλά ενεργειακά κόστη και ανάγκη συχνού ελέγχου απόφραξης των μεμβρανών. Τα συστήματα αυτά έχουν δύο βασικούς σχηματισμούς, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 17**. Τον ολοκληρωμένο βιοαντιδραστήρα που χρησιμοποιεί βυθισμένες μεμβράνες στο βιοαντιδραστήρα και τον MBR με ανακυκλοφορία, στον οποίο το ανάμικτο υγρό ανακυκλοφορεί διαμέσου ενός συστήματος μεμβρανών που βρίσκεται εκτός του βιοαντιδραστήρα.



Σχήμα 17. Διάγραμμα βιοαντιδραστήρων μεμβρανών [1]

Το στοιχείο-κλειδί είναι η μεμβράνη μικροδιήθησης που είναι βυθισμένη στον αντιδραστήρα ενεργού ιλύος, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 17** (α). Οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες σε συστήματα που μπορούν να χαμηλώσουν μέσα στον βιοαντιδραστήρα. Τα συστήματα αποτελούνται από τις μεμβράνες, τη διάταξη για την υποστήριξη των μεμβρανών, την είσοδο τροφοδοσίας και τις συνδέσεις εξόδου. Οι μεμβράνες υπόκεινται σε κενό (<50 kPa) που απορροφά το υγρό διαμέσου των μεμβρανών, ενώ κατακρατεί τα στερεά στον βιοαντιδραστήρα. [1] Για τη διατήρηση των TSS εντός του βιοαντιδραστήρα και για να καθαρισθεί το εξωτερικό των μεμβρανών, εισάγεται συμπιεσμένος αέρας διαμέσου βαλβίδας στη βάση του συστήματος των μεμβρανών. Καθώς οι φυσαλίδες ανέρχονται στην επιφάνεια, καθαρίζονται οι εξωτερικές επιφάνειες των μεμβρανών και ο αέρας παρέχει οξυγόνο για τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών. Ήδη έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα MBR από πολλές εταιρείες και θεωρούνται από τα πιο αποδοτικά στην επεξεργασία τόσο του γκρίζου, όσο και του μαύρου νερού.

Κεφάλαιο 5°. Μελέτη περίπτωσης

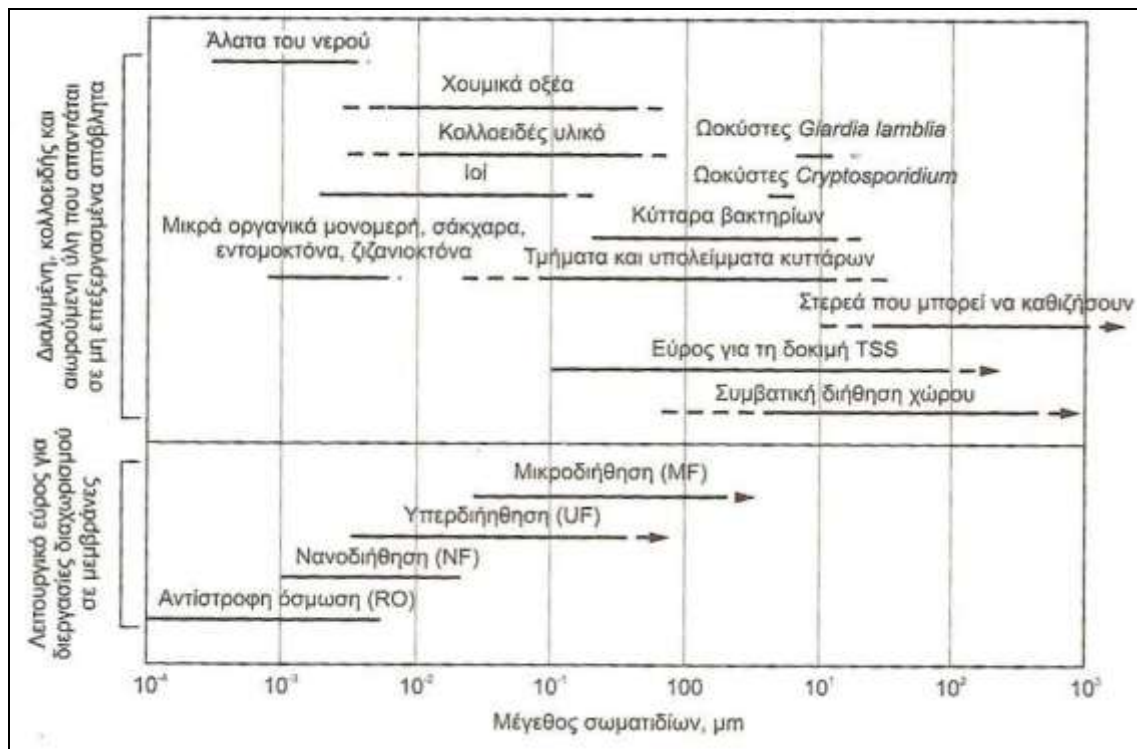
5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ MBR ΣΕ ΜΙΚΡΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Στην Ελλάδα η οποία έχει Μεσογειακό κλίμα με μεγάλο διάστημα ζέστης και μικρούς ήπιους χειμώνες, μπορούν να εφαρμοστούν πολλές τεχνικές όσον αφορά την επεξεργασία των υγρών λυμάτων και ιδιαίτερα του γκρίζου νερού. Βέβαια, το μεγαλύτερο μέρος των υφισταμένων μονάδων αποτελείται από βιολογικές διεργασίες αυτή την στιγμή είτε για αστικές είτε για βιομηχανικές χρήσεις. Όσον αφορά την επεξεργασία του γκρίζου νερού αυτή μπορεί να γίνει είτε χωριστά είτε μαζί με το μαύρο νερό. Αυτή τη στιγμή βέβαια στην Ελλάδα γίνεται μαζί εκτός από κάποιες μεμονωμένες περιπτώσεις. Αντικείμενο της παρούσας μελέτης είναι η επεξεργασία του γκρίζου νερού σε μικρή κλίμακα με την διεργασία MBR για την επαναχρησιμοποίηση του νερού προς άρδευση.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας των MBR έχει επεκταθεί πλέον από ελάχιστα συστήματα εγκατεστημένα στην δεκαετία των 80s, σε χιλιάδες τα οποία βρίσκονται σε λειτουργία σήμερα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αστικά λύματα με εύρος BOD₅ 200-600 mg/l , έως και βιομηχανικά υγρά απόβλητα με εισροή COD 18000 mg/l. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε μονάδες οι οποίες πέρα από την εγγυημένη ποιότητα εκροής για επαναχρησιμοποίηση με χαμηλά επίπεδα ρυπαντών, είτε είναι περιορισμένου χώρου, είτε χρειάζονται αναβάθμιση. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι για συμβατικές μονάδες επεξεργασίας υγρών λυμάτων οι τυπικές συγκεντρώσεις του ανάμικτου υγρού είναι από 1500 mg/l έως και 5000 mg/l. Στην περίπτωση των MBR και όταν αυτός χρησιμοποιείται για αντικατάσταση των δευτεροβάθμιων αερόβιων δεξαμενών οι τυπικές συγκεντρώσεις του ανάμικτου υγρού (MLSS) μπορούν να φτάσουν έως και 15000 mg/l. [25]

Αρκετές εμπορικές εταιρείες χρησιμοποιούν ήδη αρκετά μικρότερο μέγεθος πόρων από 0.1 μm, γεγονός που παραπέμπει σε υπερδιήθηση. Η αρχή της διήθησης εγκάρσιας ροής μπορεί να εφαρμοστεί στη συμπύκνωση αιωρημάτων λεπτόκοκκων στερεών. Ο όρος μικροδιήθηση (microfiltration, MF) χρησιμοποιείται γενικά για σωματίδια μεγέθους 0.1-1.5 μm. Η υπερδιήθηση (ultrafiltration, UF) καλύπτει μια ευρεία περιοχή μεγέθους από σωματίδια 0.5 μm

έως μόρια περίπου 1 nm. Στο **Σχήμα 18** γίνεται σύγκριση του μεγέθους των συστατικών που απαντώνται στα υγρά απόβλητα με το λειτουργικό εύρος μεγέθους για τις τεχνολογίες μεμβρανών. Σύμφωνα με το **Σχήμα 18**, παρατηρείται μια σημαντική αλληλοεπικάλυψη στο μέγεθος των σωματιδίων που απομακρύνονται ανάμεσα στην υπερδιήθηση και τη μικροδιήθηση. Η νανοδιήθηση (nanofiltration, NF) χρησιμοποιείται συνήθως σε διεργασίες αποσκλήρυνσης νερού, ενώ η αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis, RO) κυρίως για την απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων. Για τις μεμβράνες υπερδιήθησης χρησιμοποιούνται πολλά είδη πολυμερών, όπως η οξική κυτταρίνη, το πολυακρilonιτρίδιο, η πολυσουλφόνη, το πολυαμίδιο και το πολυιμίδιο, τα οποία αναφέρονται παρακάτω. [4]



Σχήμα 18. Σύγκριση τεχνολογίας μεμβρανών [1]

Τα χαρακτηριστικά των MBR ιδιαίτερα για μικρές εγκαταστάσεις τα κάνει ιδανικά όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση ή την απόρριψη. Ουσιαστικά παράγουν λιγότερο από 10 mg/l BOD₅ και 2 mg/l TSS, χωρίς καμία ανάγκη για τριτοβάθμια επεξεργασία με αντίστροφη όσμωση. Γενικά αναφέρονται οι παρακάτω χρήσεις σύμφωνα με την εταιρεία GENERAL ELECTRIC:

- ❖ Μεταλλεία
- ❖ Αναβαθμίσεις υπαρχουσών μονάδων
- ❖ Ξενοδοχεία (σε νησιά ή απομακρυσμένα)
- ❖ Κάμπινγκ
- ❖ Μικρές επαρχιακές πόλεις
- ❖ Στρατιωτικές βάσεις
- ❖ Βιομηχανικές μονάδες

Οι βασικοί τύποι των μεμβρανών περιλαμβάνουν πολυμερικές μεμβράνες πολυπροπυλενίου (PP, Polypropylene), οξικής κυτταρίνης (CA, Cellulose Acetate), αρωματικών πολυαμιδίων (PA, Polyamide), και σύνθετες μεμβράνες λεπτού στρώματος (TFC, Thin Film Composite). Οι περισσότερες εμπορικές μεμβράνες παρασκευάζονται ως επίπεδα φύλλα, λεπτές κοίλες ίνες ή και σε αυλωτή μορφή. Υπάρχουν δύο τύποι επίπεδων φύλλων (πλάκες), τα ασύμμετρα και τα σύνθετα. Οι ασύμμετρες μεμβράνες παρασκευάζονται και αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα (< 1 μm) και ένα παχύτερο (< 100 μm) το οποίο παρέχει υποστήριξη στο πρώτο και επιτρέπει υψηλή πυκνότητα ροής υγρού. Οι σύνθετες μεμβράνες λεπτού στρώματος TFC παρασκευάζονται με συγκόλληση συνήθως οξικής κυτταρίνης πάχους κάτω από 0.4 μm. Η επιλογή των μεμβρανών και της διαμόρφωσης του συστήματος βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της έμφραξης και της φθοράς των μεμβρανών. Στον **Πίνακα 12** οι συνηθέστεροι τύποι πολυμερικών μεμβρανών.

Πίνακας 12. Κυριότεροι τύποι πολυμερικών μεμβρανών [19]

| Πολυμερές | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα | Διεργασία |
|------------|--|---|------------|
| CA | Ανθεκτικό στο χλώριο & μη ακριβό | Ευπαθές στην αλκαλική υδρόλυση και στη βιοαποικοδόμηση. Μικρή διαπερατότητα και ελάχιστη θερμική & χημική σταθερότητα | RO, NF, UF |
| PA | Καλύτερη σταθερότητα & εκλεκτικότητα από CA | Ελάχιστη ανθεκτικότητα στο χλώριο | RO, NF |
| PAN | Υψηλή αντίσταση στην υδρόλυση & οξείδωση | Υδροφοβικό | UF, RO |
| PSU, PES | Καλή μηχανική σταθερότητα | Υδροφοβικά | UF, RO |
| PVDF, PTFE | Καλή χημική & θερμική σταθερότητα | Υδροφοβικά & μικρή σταθερότητα | UF, MF |
| PEI | Υψηλή χημική, θερμική & μηχανική σταθερότητα | Υδροφοβικό & χαμηλότερη αντίσταση σε διαλύτες από PVDF | UF, RO |
| PP | Μη ακριβό | Υδροφοβικό | UF, MF |

Για την επεξεργασία του γκρίζου νερού σε μονάδες MBR, αναφέρονται οι μελέτες των Boris Lesjean [10] et al και Cornelia Merz et al [12]. Η πρώτη μελέτη ασχολείται με την επεξεργασία γκρίζου νερού 0.5 m³/day σε εργαστηριακή κλίμακα από λουτρά και κουζίνες στην Γερμανία και στην οποία επετεύχθη απομάκρυνση των ρυπαντών περίπου 95% σε χαμηλό SRT περίπου 4 ημέρες. Η δεύτερη περίπτωση αφορά την επεξεργασία γκρίζου νερού από λουτρά σε sports club στο Μαρόκο και στην οποία υπάρχει απομάκρυνση πάνω από 90% σε βασικούς ρυπαντές. Μοναδικό μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου ήταν η ανάπτυξη βακτηρίων στη σωλήνα εισόδου, η οποία αντιμετωπίστηκε μόνο με απολύμανση της μονάδας με χλώριο.

Στο **Σχήμα 19** παρουσιάζεται ήδη εγκατεστημένη μονάδα MBR για εισροή 70 m³/day σε κάμπινγκ στην Αυστραλία από την εταιρεία PREMIER TECH, βασισμένη στην υπερδιήθηση. Η μονάδα αυτή όπως φαίνεται στο σχήμα είναι πολύ μικρότερη από την συμβατική

δευτεροβάθμια επεξεργασία ενεργού ιλύος, ενώ η εκροή μπορεί να απορρίπτεται απευθείας επιφανειακά ή για επαναχρησιμοποίηση μετά από απολύμανση του διαυγασμένου νερού. Η απορριπτόμενη ιλύς οδεύει σε κεντρική μονάδα επεξεργασίας ανά τακτά χρονικά διαστήματα για περαιτέρω επεξεργασία.



Σχήμα 19. Υφιστάμενη μονάδα MBR σε κάμπινγκ [26]

Ουσιαστικά οι περισσότερες μονάδες MBR βρίσκονται σε εφαρμογή λιγότερο από 15 χρόνια και υπάρχει μικρός αριθμός προμηθευτών. Ενδεικτικά αναφέρονται 4 κορυφαίοι κατασκευαστές αυτή τη στιγμή παγκοσμίως. Η Zenon Environmental η οποία ανήκει στη GE Water & Process technologies, η Kubota Corporation, η Mitsubishi Rayon Corporation και η US Filter η οποία ανήκει στη Siemens. Κάθε εγκατάσταση διαφέρει στον τύπο και τη διάταξη της μεμβράνης. Οι τρεις πρώτες εταιρείες χρησιμοποιούν συνήθως την διάταξη των μεμβρανών εντός του αντιδραστήρα, ενώ η τελευταία χρησιμοποιεί διαφορετική δεξαμενή για την τοποθέτηση των μεμβρανών. Ο Πίνακας 13 μας δείχνει τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τεχνικών από την αντίστοιχη εταιρεία.

Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά διαφόρων συστημάτων MBR [2]

| ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ | ZENON | KUBOTA | MITSUBISHI | US FILTER |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Μεμβράνη | Κοίλες ίνες | Πλάκα | Κοίλες ίνες | Πλάκα |
| Τύπος | UF | MF | UF | UF |
| Διάταξη | Κάθετη ροή | Κάθετη ροή | Οριζόντια ροή | Κάθετη ροή |
| Μέγεθος πόρων (μm) | 0.04 | 0.4 | 0.04 | 0.04 |
| Επιφάνεια βάσης (m ²) | 31.6 | 0.8 | 105 | 9.3 |
| Χρόνος ζωής (έτη) | 8 | - | 5-10 | - |
| Τοποθέτηση μεμβρανών | Αντιδραστήρας ή ξεχωριστά | Αντιδραστήρας ή ξεχωριστά | Αντιδραστήρας | Ξεχωριστά |
| Αερισμός (διαχυτήρες) | Χονδρής φυσαλίδας | Χονδρής φυσαλίδας | Χονδρής φυσαλίδας | Jet αερισμού |
| Κύκλος αερισμού | 10 s on / 10 s off | 9 s on / 1 s off | Συνεχής | Συνεχής |
| Ρυθμός ροής (l/m ² .h) | 17-25 | 17-25 | 8.5-17 | 17-25 |
| Ανώτατη ροή (l/m ² .h) | <37 | <73 | <55 | <51 |
| SRT (ημέρες) | 12-15 | 15 | 20 | 12-15 |
| MLSS (mg/l) | ≤ 10000 | ≤ 10000 | ≤ 15000 | ≤ 10000 |
| Συντήρηση μονάδας (min) | 1-3 | 1-3 | 1-3 | - |
| Συχνότητα συντήρησης | 10 min | 10 min | 10 min | Εβδομαδιαία |
| Καθαρισμός μεμβρανών | Χημικά μέσω της αποστράγγισης | Ανάστροφη ροή με διάλυμα χλωρίου | Ανάστροφη ροή με διάλυμα χλωρίου | Χημικά μέσω της αποστράγγισης |

| | | | | |
|---|---|------|---|---|
| Συχνότητα καθαρισμού μεμβρανών (μήνες) | 6 | 6-12 | 3 | 3 |
|---|---|------|---|---|

5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μελέτη περίπτωσης για κάμπινγκ 200 ατόμων με ξεχωριστή επεξεργασία γκρίζου νερού από το μαύρο νερό. Πιο συγκεκριμένα, δίνονται υπολογισμοί για την απομάκρυνση BOD₅ και παθογόνων οργανισμών, ούτως ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια του **Παράρτηματος Ι**. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού γίνεται αποκλειστικά για άρδευση, ενώ για την επεξεργασία του μαύρου νερού δεν γίνεται λόγος στην παρούσα εργασία, με δεδομένο ότι χρειάζεται ξεχωριστά στάδια απονιτροποίησης και απομάκρυνσης φωσφόρου. Και αυτό διότι η αντιμετώπισή του μαύρου νερού μπορεί να γίνει είτε παράλληλα με την μονάδα MBR, είτε ξεχωριστά τελείως με κάποια άλλη μέθοδο (SBR, RBC), είτε ακόμα και σε κεντρική μονάδα διαχείρισης υγρών αποβλήτων όπως γίνεται σε πολλές περιπτώσεις με βυτία. Επιπρόσθετα το μαύρο νερό μπορεί να επεξεργαστεί και με αναερόβιες διεργασίες για την παραγωγή βιοαερίου και την επακόλουθη τροφοδότηση ρεύματος του κάμπινγκ. Επίσης, η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα σε καλλιέργειες σε συνδυασμό με την απορριπτόμενη ιλύ από την διεργασία MBR. Σίγουρα υπάρχουν πολλές προτεινόμενες μέθοδοι για την επεξεργασία του μαύρου νερού, οι οποίες δεν καλύπτονται στην παρούσα φάση.

Με δεδομένα από το **Παράρτημα ΙΙ**, η παροχή εισόδου στην μονάδα επεξεργασίας γκρίζου νερού καθορίζεται στα 172.5 l/ημέρα ανά άτομο, παίρνοντας υπόψη μια μέση τιμή και ότι δεν υπάρχει σωστή διαχείριση νερού εντός του κάμπινγκ. Όσον αφορά τις βασικές παραμέτρους, αυτές καθορίζονται με βάση τον **Παράρτημα ΙV** και έχοντας υπόψη την δυσμενέστερη τιμή του γκρίζου νερού (light). Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται οι τιμές του «ελαφρύτερου» γκρίζου νερού, αφού εκτιμάται ότι τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων συμβάλλουν ελάχιστα στα επίπεδα των ρυπαντών.

Επομένως:

- $Q = 172.5 \text{ l/PE.day} * 200 \text{ PE} = 34.50 \text{ m}^3/\text{day}$
- $\text{BOD}_5 = 424.00 \text{ mg/l}$
- $\text{COD} = 645.00 \text{ mg/l}$
- $\text{TSS} = 303.00 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4 = 15.00 \text{ mg/l}$
- $6.4 < \text{pH} < 8.1$

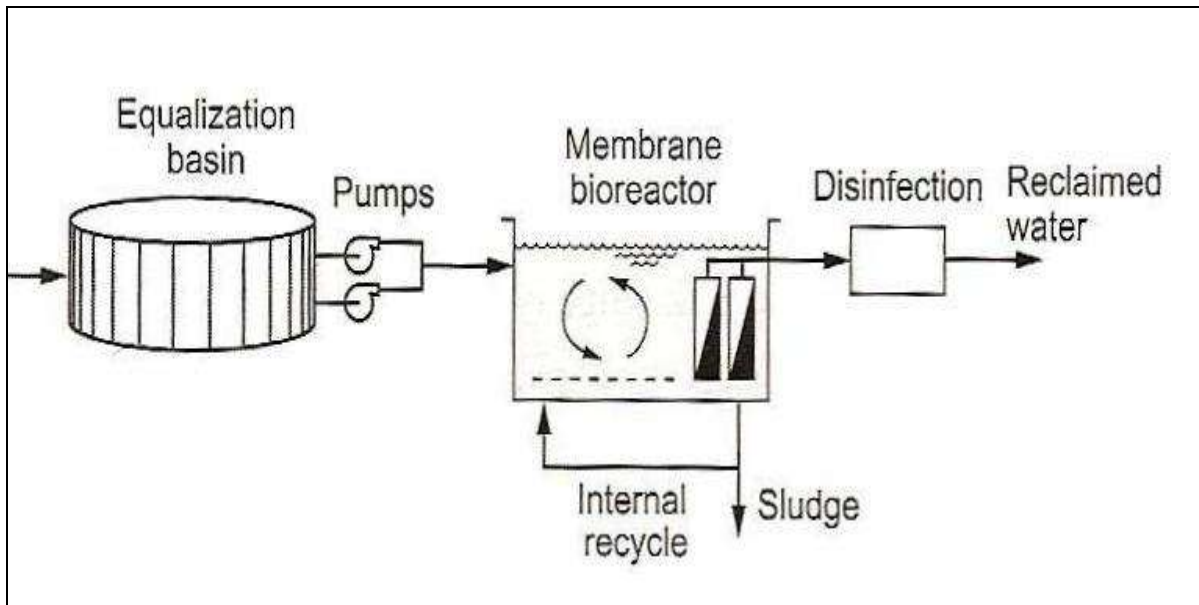
5.3 ΕΞΙΣΟΡΡΟΠΗΣΗ ΡΟΗΣ

Όταν χρησιμοποιείται η τεχνολογία MBR ως η κύρια διεργασία για την επεξεργασία γκριζου νερού, τότε θα πρέπει να υπάρχει έλεγχος της εισροής ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη μονάδα και εξοπλισμός. Συνήθως οι κατασκευαστές προτείνουν οι ίδιοι την διαστασιολόγηση της μονάδας με τα απαραίτητα στοιχεία για την ροή αιχμής, καθώς και την μέση ημερήσια ροή. Γενικός κανόνας είναι η διαστασιολόγηση της μονάδας να γίνεται πάντα μιάμιση φορές επί την μέση ημερήσια ροή και η τοποθέτηση δεξαμενής εξισορρόπησης ροής πριν από την κύρια διεργασία. Συνήθως πριν από την εξισορρόπηση ροής χρησιμοποιείται εσχάρωση με άνοιγμα 1-3 mm για την αποφυγή έμφραξης των μεμβρανών. Στην προκειμένη περίπτωση δεν χρησιμοποιείται προεπεξεργασία, αν και θα μπορούσε να μειώσει το ποσοστό του οργανικού φορτίου κατά 30% και κατά 60% τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια.

Η εξισορρόπηση ροής είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα λειτουργίας που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις στην παροχή και για να βελτιωθεί η απόδοση των κατάντη σταδίων. Τα κυριότερα οφέλη από την εφαρμογή της εξισορρόπησης είναι ότι η βιολογική επεξεργασία βελτιώνεται, επειδή τα φορτία αιχμής περιορίζονται και το pH σταθεροποιείται. Αντιθέτως, αυξάνεται η απαίτηση για μεγαλύτερες επιφάνειες γης και υπάρχει απαίτηση για έλεγχο των οσμών.

Στο Σχήμα 20 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της διεργασίας με την τοποθέτηση αντλιών κατάντη για την τροφοδότηση του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών με σταθερή παροχή. Στη

συγκεκριμένη περίπτωση δε συντρέχει λόγος για πρωτοβάθμια επεξεργασία, αφού οι παραπάνω παράμετροι μπορούν να επεξεργασθούν απευθείας από την μέθοδο MBR. Ακολουθεί η μέθοδος της απολύμανσης και η επαναχρησιμοποίηση του νερού, τεχνικές που θα αναλυθούν παρακάτω.



Σχήμα 20. Διάγραμμα ροής επεξεργασίας [2]

Ο απαιτούμενος όγκος για την εξισορρόπηση παροχής συνήθως προσδιορίζεται χρησιμοποιώντας διάγραμμα αθροιστικού όγκου εισροών, όπου ο αθροιστικός όγκος της εισροής σχεδιάζεται ως συνάρτηση του χρόνου. Όταν δεν υπάρχουν τα αναγκαία δεδομένα εισροών, τότε η διαστασιολόγηση της μονάδας γίνεται με βάση την μέση ημερήσια παροχή και για χρόνο παραμονής περίπου 1.5 ημέρας. [1]

Έτσι ο αντίστοιχος όγκος προκύπτει:

$$\text{➤ } V = 34.50 \text{ m}^3/\text{day} * 1.5 \text{ days} = 51.75 \text{ m}^3$$

Στο σχεδιασμό της δεξαμενής αυτής οι κύριοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι η γεωμετρία της δεξαμενής, η κατασκευή δεξαμενής με βάση την πρόσβαση και τον καθαρισμό, οι απαιτήσεις σε ανάδευση και αερισμό, τα εξαρτήματα για τη λειτουργία και τα

συστήματα ελέγχου της άντλησης. Στην παρούσα περίπτωση η δεξαμενή αυτή κατασκευάζεται από σπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ για να αποφεύγεται η σήψη και δυσσομία των υγρών εντός, χρησιμοποιείται αεριστήρας (jet). Προκειμένου να διατηρούνται οι αερόβιες συνθήκες, ο αέρας τροφοδοτείται με ταχύτητα $0.01-0.015 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{min}$, ενώ οι απαιτήσεις για ανάμιξη είναι περίπου $0.004 \text{ kW}/\text{m}^3$ ανά όγκο αποθήκευσης. [1]

Η θεωρητική απαίτηση σε ισχύ στη δεξαμενή εξισορρόπησης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{➤ } P = G^2 \mu V = (500 /s)^2 * 1.002 * 10^{-3} \text{ N.s}/\text{m}^2 * 51.75 \text{ m}^3 = 12.96 \text{ kW}$$

Όπου:

- G = βαθμίδα ταχύτητας = 500 s^{-1} (για ταχεία ανάμιξη)
- P = απαιτούμενη ισχύς (W)
- μ = δυναμικό ιξώδες στους $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\text{N.s}/\text{m}^2$)
- V = όγκος δεξαμενής εξισορρόπησης (m^3)

5.4 ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Η ικανότητα της επεξεργασίας εκτιμάται σε όρους BOD_5 , TSS και παθογόνων μικροοργανισμών με βάση τις αντίστοιχες μελέτες. Επειδή η εισροή υφίσταται επεξεργασία με διήθηση διαμέσου μεμβράνης με μέγεθος πόρων κάτω από $0.4 \text{ }\mu\text{m}$, παράγονται πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις εκροής αιωρούμενων στερεών, θολότητας και BOD_5 , ούτως ώστε να παραχθεί τελικά μετά την απολύμανση νερό κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση. Τα καταγεγραμμένα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των MBR παρουσιάζονται στον **Πίνακα 14** για μεμβράνες οι οποίες είναι βυθισμένες εντός του αντιδραστήρα. Χαμηλές συγκεντρώσεις BOD_5 εκροής και θολότητας είναι δυνατές για συστήματα με συγκεντρώσεις MLSS με εύρος $8000-10000 \text{ mg}/\text{l}$ σε συνδυασμό με το κόστος της μεθόδου. Ο ρυθμός ροής της μεμβράνης, που ορίζεται ως ο λόγος του όγκου που μεταφέρεται διαμέσου της επιφάνειας της μεμβράνης (σε όρους $\text{l}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) είναι η σημαντικότερη λειτουργική και σχεδιαστική παράμετρος που επηρεάζει όλα τα οικονομικά της διεργασίας. Χαμηλότεροι ρυθμοί ροής αναμένονται σε υψηλότερες συγκεντρώσεις MLSS. [1]

Πίνακας 14. Τυπικά δεδομένα λειτουργίας MBR [1]

| Παράμετρος | Μονάδα | Εύρος |
|-----------------|------------------------|------------|
| COD | Kg/m ³ .day | 1.2-3.2 |
| MLSS | mg/l | 5000-20000 |
| MLVSS | mg/l | 4000-16000 |
| F/M | g COD/g MLSS.day | 0.1-0.4 |
| SRT | Days | 5-20 |
| t | Hours | 4-6 |
| DO | mg/l | 0.5-1 |
| Πίεση μεμβρανών | kPa | 4-35 |

Οι ακόλουθοι υπολογισμοί με τις αντίστοιχες κινητικές εξισώσεις βασίζονται στις παρακάτω παραδοχές για βυθισμένο σύστημα μεμβρανών εντός του αντιδραστήρα:

- $BOD_5 = 424.00 \text{ mg/l}$
- $sBOD \approx 0.5 * BOD_5 = 212.00 \text{ mg/l}$
- $COD = 645.00 \text{ mg/l}$
- $sCOD \approx 0.4 * COD = 258.00 \text{ mg/l}$
- $rbCOD \approx 0.2 * COD = 129.00 \text{ mg/l}$
- $TSS = 303.00 \text{ mg/l}$
- $VSS \approx 0.8 * TSS = 242.40 \text{ mg/l}$

- MLSS = 10000 mg/l
- SRT = 15 days
- Βάθος αερισμού = 3.5 m

Επίσης, ακολουθούνται οι παρακάτω εξισώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο χαρακτηρισμό υγρών αποβλήτων. Όσον αφορά το διαλυτό BOD και COD, καθώς και το εύκολα βιοαποικοδομήσιμο COD οι προσεγγίσεις των παραπάνω εξισώσεων προέκυψαν από τα αντίστοιχα παραδείγματα και για την ευκολία των υπολογισμών.

$$nbVSS = [1 - (bpCOD/pCOD)] VSS$$

$$\frac{bpCOD}{pCOD} = \frac{(bCOD/BOD)(BOD - sBOD)}{COD - sCOD}$$

$$COD = bCOD + nbCOD$$

$$bCOD = \sim 1.6(BOD)$$

$$nbCOD = nbsCOD + npbCOD$$

$$bCOD = sbCOD + rbCOD$$

$$iTSS = TSS - VSS$$

Σχήμα 21. Εξισώσεις για το χαρακτηρισμό των υγρών αποβλήτων [2]

Η θερμοκρασία του εισερχομένου υγρού επηρεάζει την κατάσταση των μεμβρανών αρκετά, αφού συνδέεται άμεσα με το ιξώδες του υγρού. Οι πόροι των μεμβρανών είναι αρκετά μικροί, έτσι ώστε με την αύξηση του ιξώδους να μειώνεται η διαπερατότητα και ο ρυθμός ροής τους. Η διαπερατότητα συνδέεται με την δυνατότητα που έχει το νερό να διαπερνά τις μεμβράνες. Εν προκειμένω, η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται παρακάτω είναι 15 °C, ενώ χρησιμοποιούνται και οι αντίστοιχοι κινητικοί συντελεστές του παρακάτω **Πίνακα 15**. Οι συντελεστές των παρακάτω κινητικών συντελεστών δίνονται για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης από τα ετερότροφα βακτήρια. Οι τιμές του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης (μ_m) και της σταθεράς ημίσειας ταχύτητας (K_s) είναι οι τιμές που συνιστώνται από το μοντέλο IAWPRC ASM 1. [1]

Πίνακας 15. Κινητικοί συντελεστές για ετερότροφα βακτήρια στους 20 °C [2]

| Συντελεστής | Μονάδα | Εύρος | Τυπική τιμή |
|----------------|-----------------------|-----------|-------------|
| μ_m | g VSS/g VSS.day | 3-13.2 | 6 |
| K_s | g bCOD/m ³ | 5-40 | 20 |
| Y | g VSS/g bCOD | 0.3-0.5 | 0.4 |
| k_d | g VSS/ g VSS.day | 0.06-0.2 | 0.12 |
| f_d | - | 0.08-0.2 | 0.15 |
| Τιμές θ | | | |
| μ_m | - | 1.03-1.08 | 1.07 |
| K_s | - | 1.03-1.08 | 1.04 |
| k_d | - | 1.00 | 1.00 |

Υπολογισμοί

Υπολογίζεται πρώτα το βιοαποικοδομήσιμο COD:

$$\text{bCOD} = 1.6 * \text{BOD5} = 678.40 \text{ mg/l}$$

Ακολούθως τα μη βιοαποικοδομήσιμα πτητικά αιωρούμενα στερεά:

$$\text{nbVSS} = \text{VSS} * [1 - 1.6(\text{BOD}-\text{sBOD})] / (\text{COD} - \text{sCOD}) = 29.94 \text{ mg/l}$$

Τα αδρανή ολικά αιωρούμενα στερεά δίνονται από τον τύπο:

$$\text{iTSS} = \text{TSS} - \text{VSS} = 60.60 \text{ mg/l}$$

Στα συστήματα επεξεργασίας αστικών λυμάτων, αρκετές φορές χρησιμοποιούνται ουσίες παρεμπόδισης της αερόβιας διεργασίας. Αυτές αποτελούνται από τοξικές ουσίες οι οποίες τυχόν υπάρχουν στην εισροή των λυμάτων προς επεξεργασία. Η παρακάτω σχέση

αντιπροσωπεύει την σχέση ανάμεσα στη συγκέντρωση των παρεμποδιστών αυτών και το χρόνο παραμονής των στερεών εντός του αντιδραστήρα.

$$S = \frac{K_s[1 + (k_d)SRT]}{SRT(\mu_m - k_d) - 1}$$

Σχήμα 22. Συγκέντρωση παρεμποδιστών σε διάλυση [1]

Με βάση τον **Πίνακα 15** γίνεται διόρθωση για την ενδογενή αναπνοή στη θερμοκρασία 15 °C από την παρακάτω εξίσωση για το μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης και τη σταθερά ημίσειας ταχύτητας.

$$k_T = k_{20}\theta^{T-20}$$

Σχήμα 23. Σταθερά ημίσειας ταχύτητας σε σχέση με τη θερμοκρασία [1]

Άρα, η σταθερά ημίσειας ταχύτητας στους 15 °C δίνεται από:

$$\text{➤ } k_{d,15} = k_{d,20} * \theta^{15-20} = 0.10 \text{ g/g.day}$$

Αντίστοιχα, ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης στους 15 °C δίνεται ως εξής:

$$\text{➤ } \mu_{m,15} = \mu_{m,20} * \theta^{15-20} = 4.28 \text{ g/g.day}$$

Επομένως, η συγκέντρωση των παρεμποδιστών από το **Σχήμα 22** είναι:

$$\text{➤ } S = K_s (1 + k_d * SRT) / [SRT(\mu_m - k_d) - 1] = 0.80 \text{ mg/l}$$

Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης που θα παράγει ενεργό ιλύ και θα τη διαθέσει ανάλογα, εξαρτάται από την πρόβλεψη της παραγωγής ιλύος της διεργασίας. Η παραγωγή ιλύος σχετίζεται με το ποσό του BOD που απομακρύνεται και επίσης επηρεάζει το μέγεθος της δεξαμενής αερισμού. Η επόμενη εξίσωση αναφέρεται στην ανάπτυξη της ετεροτροφικής βιομάζας και στα υπολείμματα των κυττάρων από την ενδογενή αποσύνθεση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της παραγωγής ιλύος.

$$P_{X,VSS} = \frac{QY(S_o - S)(1 \text{ kg}/10^3 \text{ g})}{1 + (k_d)_{(A)} \text{SRT}} + \frac{(f_d)(k_d)QY(S_o - S)\text{SRT}(1 \text{ kg}/10^3 \text{ g})}{1 + (k_d)_{(B)} \text{SRT}}$$

(A)
ετεροτροφική βιομάζα
(B)
υπολείμματα κυττάρων

Σχήμα 24. Εκτίμηση παραγωγής ιλύος [1]

Η καθαρή παραγόμενη ποσότητα ενεργού ιλύος με βάση τον παραπάνω τύπο για κάθε ημέρα είναι:

$$\text{➤ } P_x = Q * Y (\text{bcOD} - S) / (1+k_d*\text{SRT}) + [f_d*K_d*Q*Y (\text{bcOD}-S) \text{ SRT} / (1+k_d*\text{SRT})] = 4.61 \text{ kg/day}$$

Ακολούθως γίνεται υπολογισμός της συνολικής παραγωγής των πτητικών και ολικών αιωρούμενων στερεών για παραγωγή 1 ημέρας και 15 ημερών αντίστοιχα με βάση το χρόνο παραμονής των στερεών, όπως αυτός έχει επιλεγεί από τον **Πίνακα 14**. Οι αντίστοιχες εξισώσεις δίνονται στο **Σχήμα 25**.

$$\begin{aligned} (X_{VSS})(V) &= (P_{X, VSS}) \text{ SRT} \\ (X_{TSS})(V) &= (P_{X, TSS}) \text{ SRT} \end{aligned}$$

Σχήμα 25. Συγκεντρώσεις βιομάζας για πτητικά & ολικά αιωρούμενα στερεά [1]

Η ολική ποσότητα της παραγόμενης ιλύος συμπεριλαμβανομένων και των μη βιοαποικοδομήσιμων πτητικών στερεών της εισροής εντός του βιοαντιδραστήρα δίνεται ως εξής:

$$\text{➤ } P_{X,VSS} = P_X + Q * nbVSS = 5.64 \text{ kg/day}$$

Επομένως, η μάζα των πτητικών αιωρούμενων στερεών εντός του βιοαντιδραστήρα στις 15 ημέρες είναι:

$$\text{➤ } VSS = P_{X,VSS} * SRT = 84.62 \text{ kg}$$

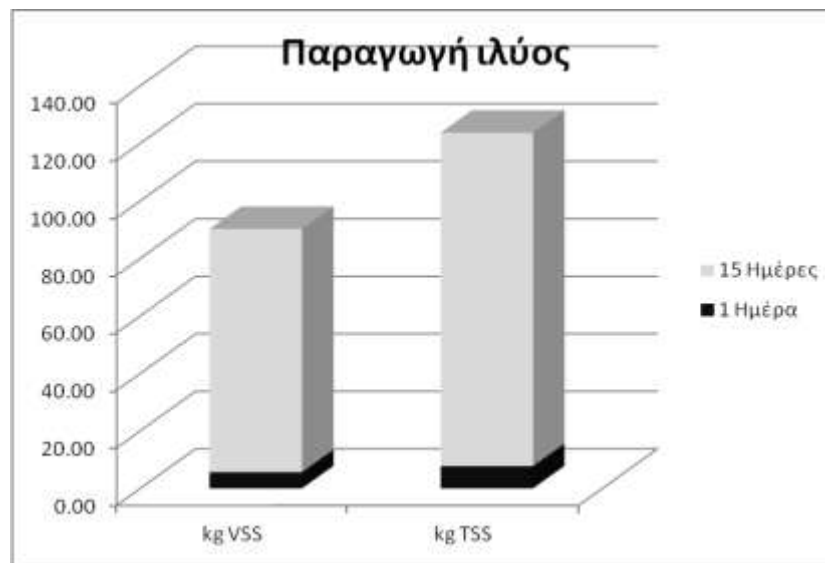
Η ποσότητα των ολικών αιωρούμενων στερεών εντός του βιοαντιδραστήρα είναι:

$$\text{➤ } P_{X,TSS} = P_{X,VSS} + Q*(TSS_o - VSS_o) = 7.73 \text{ kg/day}$$

Επομένως, η μάζα των TSS εντός του βιοαντιδραστήρα στις 15 ημέρες είναι:

$$\text{➤ } TSS = P_{X,TSS} * SRT = 115.98 \text{ kg}$$

Τα αποτελέσματα της συνολικής παραγωγής ιλύος παρουσιάζονται στο παρακάτω **Σχήμα 26**.



Σχήμα 26. Παραγωγή ιλύος σε πτητικά & ολικά αιωρούμενα στερεά

Σε περίπτωση που τα στερεά συνεχίζουν να αυξάνονται και ο SRT γίνεται μεγαλύτερος, τότε η δυναμική της διεργασίας εντός του αντιδραστήρα αλλάζει τελείως. Ο ρυθμός του αερισμού επηρεάζεται άμεσα από το ποσοστό των στερεών εντός, καθώς και από τυχόν νιτρικοποίηση που συμβαίνει παράλληλα και για την οποία δεν έχει γίνει ειδικός σχεδιασμός. Σε μεγαλύτερους SRT συμβαίνει απώλεια βιομάζας λόγω της ενδογενούς αποσύνθεσης η οποία επηρεάζει άμεσα τον αερισμό. Όταν η συνολική μάζα των αιωρούμενων στερεών αυξηθεί αρκετά στο ανάμικτο υγρό ώστε να διαπιστώνεται αλλοίωση της ποιότητας του ανακτημένου νερού, τότε προληπτικά θα πρέπει να γίνεται καθαρισμός των μεμβρανών και απόρριψη της επιπρόσθετης ιλύος. Ο όγκος της απαιτούμενης δεξαμενής αερισμού θα είναι:

$$\text{➤ } V = \text{TSS} / \text{MLSS} = 11.60 \text{ m}^3$$

Μια παράμετρος διεργασίας που χρησιμοποιείται συνήθως για να χαρακτηρίσει τον σχεδιασμό τις λειτουργικές συνθήκες είναι ο λόγος τροφής (βιομάζας) προς μικροοργανισμούς (F/M). Τυπικές τιμές για την αναλογία COD προς MLSS έχουν δοθεί στον **Πίνακα 14**. Η σχέση που χρησιμοποιείται περισσότερο βρίσκεται στο παρακάτω **Σχήμα 27**.

$$F/M = \frac{QS_o}{VX}$$

Σχήμα 27. Λόγος τροφής προς μικροοργανισμούς [2]

Ακολούθως, γίνεται έλεγχος της απαίτησης του **Πίνακα 14**:

$$\text{➤ } F/M = Q * \text{bCOD} / (V * \text{MLSS}) = 0.2 \text{ g/g.day}$$

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής εντός του αντιδραστήρα είναι:

$$\text{➤ } t = V / Q = 8.07 \text{ h}$$

Η απαιτούμενη επιφάνεια για τον αερισμό είναι:

➤ $A = V / d = 3.31 \text{ m}^2$

Η απαιτούμενη επιφάνεια για τις μεμβράνες (περίπου 35% μικρότερη από την επιφάνεια αερισμού) είναι:

➤ $A_{\text{MBR}} = 0.35 * A = 1.16 \text{ m}^2$

Η ολική απαίτηση σε αέρα εντός της δεξαμενής δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$E_a = 0.02 Q_a / J A_m, \text{ for } Q_a > 25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

Σχήμα 28. Ελάχιστη απαίτηση σε αέρα [19]

Επομένως, η κατανάλωση ανά κυβικό μέτρο της επιφάνειας των μεμβρανών θα είναι:

➤ $E_a = 0.02 * Q_a / (J * A_{\text{MBR}}) = 1.11 \text{ kWh/m}^3$

Όπου:

- J = ρυθμός ροής από τον **Πίνακα 13** = $600 \text{ l/m}^2 \cdot \text{day}$
- Q_a = ελάχιστη παροχή αέρα = $25 \text{ m}^3/\text{h}$

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, η αντίσταση στην ροή υφίσταται μόνο από τις μεμβράνες. Για μεμβράνες με πόρους ο ρυθμός ροής προκύπτει από την παρακάτω σχέση.

$$J = \frac{\Delta p}{\mu R_m}$$

Σχήμα 29. Ρυθμός ροής σε σχέση με την αντίσταση μεμβράνης και την πτώση πίεσης [19]

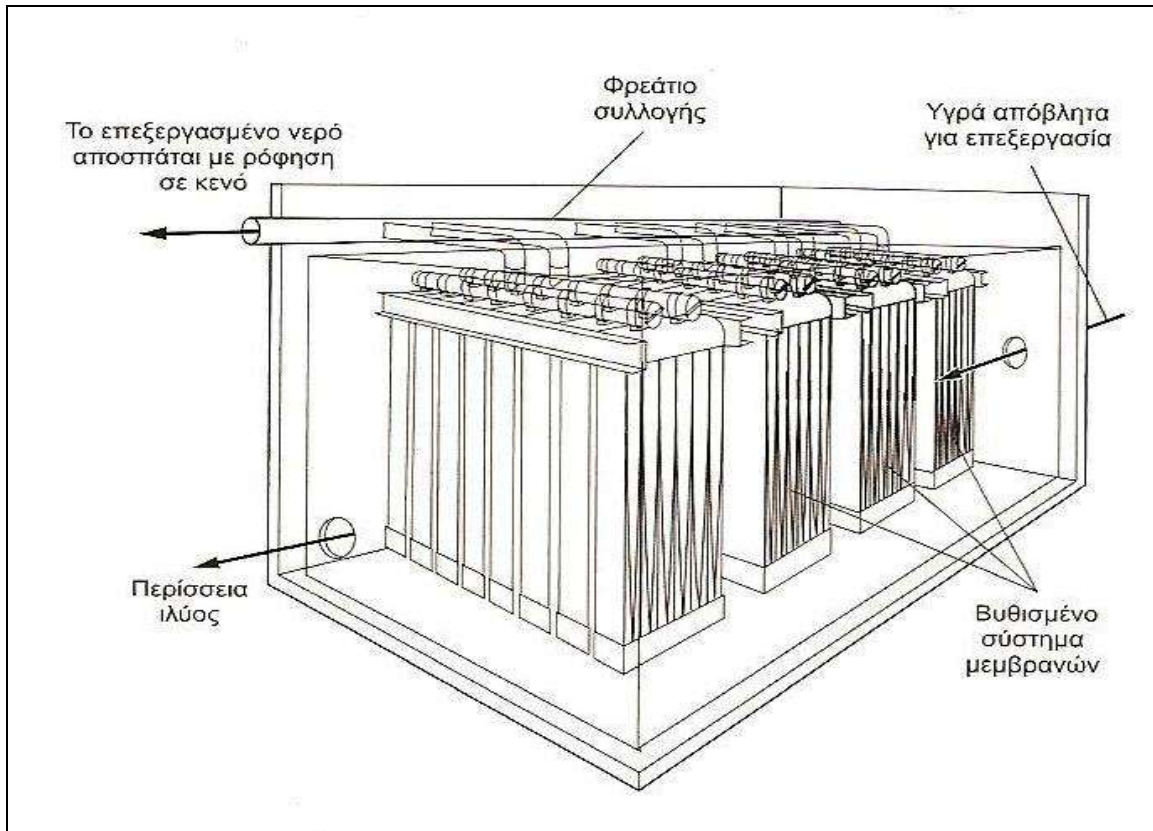
Επομένως, η αντίσταση της μεμβράνης δίνεται από τον τύπο:

$$\text{➤ } R_m = \Delta P / (\mu \cdot J) = 3.79 \cdot 10^{12} \text{ m}^{-1}$$

Όπου:

- ΔP = μέση πτώση πίεσης της μεμβράνης από τον **Πίνακα 14** σε κανονική λειτουργία = 30 kPa = 30000 N/m²
- μ = δυναμικό ιξώδες του νερού για τους 15 °C = 1.139 * 10⁻³ N.s/m²

Το μέγεθος πόρων των μεμβρανών κυμαίνεται από 0.04-0.4 μm και χρησιμοποιείται είτε μικροδιήθηση είτε υπερδιήθηση. Η μικροδιήθηση όπως έχει προαναφερθεί έχει μεγαλύτερο μέγεθος πόρων. Γενικά η υπερδιήθηση έχει καλύτερα αποτελέσματα στην απομάκρυνση βακτηρίων και ιών. Ένας ικανοποιητικός ρυθμός ροής είναι γύρω στα 600 l/m².day, ενώ χαμηλότεροι ρυθμοί αναμένονται όταν αυξάνεται η συγκέντρωση των MLSS και μειώνεται η θερμοκρασία. Μέχρι στιγμής υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα για το χρόνο ζωής των μεμβρανών. Ουσιαστικά ο χρόνος ζωής των μεμβρανών επηρεάζεται από το είδος των υγρών που διαχειρίζονται και τη συχνότητα καθαρισμού τον οποίο υφίστανται. Στο **Σχήμα 30** παρουσιάζεται ένα βυθιζόμενο σύστημα μεμβρανών από την εταιρεία Zenon, το οποίο μας δείχνει την είσοδο-έξοδο και την αποβολή της περίσσειας ιλύος. Στο συγκεκριμένο σύστημα δεν φαίνεται ο τρόπος αερισμού, ο οποίος συνήθως συνίσταται από διαχυτήρες χονδρής φυσαλίδας που είναι τοποθετημένοι στο κάτω μέρος της δεξαμενής.



Σχήμα 30. Βυθιζόμενος αντιδραστήρας μεμβρανών (κασέτες) [1]

Στον αντιδραστήρα ενεργού ιλύος η βιομάζα σκεπάζει το εξωτερικό επίπεδο των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στο MBR κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης της εκροής. Τα λεπτά σωματίδια μπορεί να διεισδύσουν στους εσωτερικούς πόρους της μεμβράνης προκαλώντας αύξηση της απώλειας πίεσεως. Συνεχείς μέθοδοι ελέγχου της απόφραξης των μεμβρανών πρέπει να πραγματοποιούνται με περιοδικά έντονο καθάρισμα για να διατηρηθεί η ικανότητα διήθησης μέσω τριών βημάτων. Πρώτον, παρέχεται αερισμός με χονδρές φυσαλίδες στον πυθμένα της δεξαμενής, οι οποίες ρέουν προς τα πάνω ανάμεσα στις κάθετες ίνες προκαλώντας μηχανικό τρίψιμο. Δεύτερον, η διήθηση διακόπτεται κάθε 15-30 min και οι ίνες των μεμβρανών πλένονται με ανάστροφη ροή για 30-45 sec. Ο ολικός χρόνος αντίστροφης έκπλυσης διαρκεί περίπου 45 min ανά ημέρα και παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διάλυμα χλωρίου με περιεκτικότητα 5 mg/l. Τρίτον, τρεις φορές την εβδομάδα χρησιμοποιείται αντίστροφη έκπλυση με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου περιεκτικότητας 100 mg/l για περίπου 45 min. Ο ολικός χρόνος της έκπλυσης αυτής ανέρχεται σε 75 min μαζί με το ξέπλυμα.

Οι κασέτες (μεμβράνες) μπορούν να αφαιρεθούν εύκολα από τη δεξαμενή αερισμού από ένα ανυψωτικό μηχανισμό για τον περιοδικό χημικό καθαρισμό. Όταν απομακρύνονται από τον αντιδραστήρα βυθίζονται σε λουτρό το οποίο περιέχει διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης χλωρίου και αυτό συμβαίνει συνήθως κάθε τρεις μήνες. Ο συνδυασμός του τριψίματος με αέρα και αντίστροφη έκπλυση δεν είναι απόλυτα αποτελεσματικός για την αποφυγή έμφραξης των μεμβρανών και έτσι η μέση πτώση πίεσης πέφτει σε συνάρτηση με το χρόνο. Στη μέγιστη πτώση πίεσης (περίπου 60 kPa) οι μεμβράνες πρέπει να απομακρύνονται για τον περιοδικό καθαρισμό. Κατά τη διάρκεια του καθαρισμού, η κάθε κασέτα μουλιάζει σε διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου περιεκτικότητας 1500-2000 mg/l για μια ημέρα.

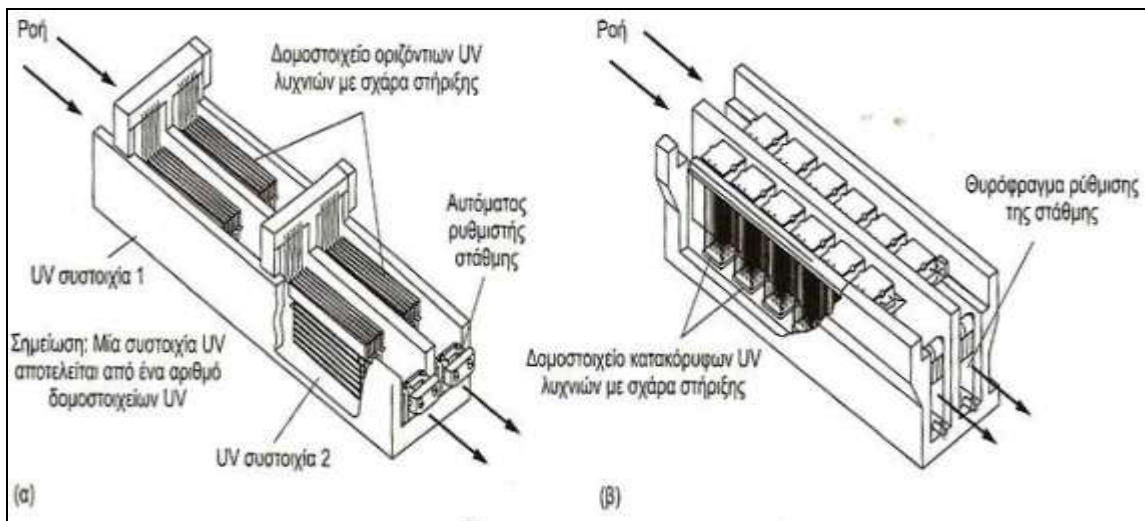
5.5 ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ UV

Η διήθηση με μεμβράνες είναι αποτελεσματική για την απομάκρυνση των μεγαλύτερων παθογόνων όπως τα πρωτόζωα, τα βακτήρια και οι ιοί, λόγω του μεγέθους των πόρων της. Έχουν αναφερθεί μειώσεις 4-5 log των βακτηρίων *Enterococci* και *E.coli* και πλήρης απομάκρυνση των *Giardia* και *Cryptosporidium* σε μικροδιήθηση. Στην υπερδιήθηση η απομάκρυνση σε ολικά κολοβακτηρίδια είναι περίπου 4-4.3 log. Παρόλα αυτά, ορισμένα βακτήρια και ιοί έχουν τη δυνατότητα να διαπερνούν τις μεμβράνες κυρίως λόγω του μικρού μεγέθους τους. Οι τεχνολογίες MBR μπορούν να προσφέρουν υψηλές λογαριθμικές μειώσεις σε βακτήρια, αλλά ολόένα εμφανίζονται στο διηθημένο νερό κολοβακτηρίδια και βακτηριοφάγα. Πιο συγκεκριμένα, η ανάπτυξη ετεροτρόφων βακτηρίων κατά 0.8 log και κοπρανωδών κολοβακτηριδίων κατά 0.3 log μετά από 7 ημέρες, έχει παρατηρηθεί σε αποθηκευμένο διηθημένο νερό μετά από επεξεργασία γκρίζου νερού. Λόγω του γεγονότος αυτού, επιβάλλεται μετά από την επεξεργασία με μεμβράνες η τριτοβάθμια απολύμανση όταν το ανακτημένο νερό πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθεί. [7]

Στην εν λόγω περίπτωση χρησιμοποιείται η υπεριώδης ακτινοβολία UV κατά την οποία λαμβάνει χώρα ακτινοβολία μεταξύ 100-400 nm είτε σε σύστημα ανοιχτού καναλιού, είτε σε σύστημα απολύμανσης κλειστού καναλιού. Το μικροβιοκτόνο μήκος κύματος της UV είναι περίπου 220-320 nm, κυρίως στην περιοχή της UV-C (βραχύ κύμα). Η παραγωγή της ακτινοβολίας αυτής γίνεται με λυχνίες που περιέχουν ατμούς υδραργύρου και φορτίζονται

μέσω ενός ηλεκτρικού τόξου. Η ενέργεια που παράγεται από τη διέγερση των ατμών αυτών που περιέχονται στη λυχνία, έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή UV φωτός. Η ωφέλιμη ζωή των λυχνιών UV χαμηλής πίεσης και έντασης κυμαίνεται από 9000-13000 h και η ισχύς τους είναι περίπου 25-27 W στα 254 nm. Τα κυριότερα στοιχεία των συστημάτων UV ανοιχτού και καναλιού παρουσιάζονται στα δύο επόμενα σχήματα.

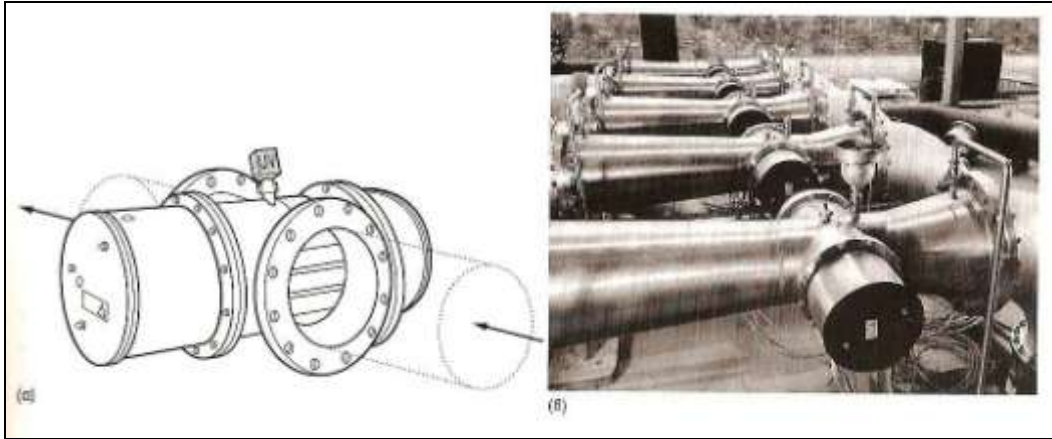
Στο **Σχήμα 31**, η λυχνία μπορεί να τοποθετηθεί οριζόντια παράλληλα με τη ροή και κατακόρυφα κάθετα στη ροή. Κάθε κανάλι τυπικά περιέχει δύο ή περισσότερες συστοιχίες UV λυχνιών σε σειρά και κάθε συστοιχία αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό λυχνιών μέσα σε περίβλημα από χαλαζία. Ο αριθμός των λυχνιών αυτών είναι συνήθως από 2-16. Η πιο συνηθισμένη διαμόρφωση από τους κατασκευαστές περιλαμβάνει ένα κενό 75 mm ανάμεσα στις λυχνίες. Όταν συμβαίνει έμφραξη η οποία μειώνει την ένταση του φωτός στο υγρό μέσο, οι λυχνίες απομακρύνονται από το κανάλι ροής και καθαρίζονται.



Σχήμα 31. Οριζόντιο & κατακόρυφο σύστημα απολύμανσης UV ανοιχτού τύπου [1]

Στο **Σχήμα 32** η κατεύθυνση της ροής είναι κάθετη προς τις λυχνίες. Τα συστήματα κλειστού καναλιού διαθέτουν ενσωματωμένη διάταξη μηχανικού καθαρισμού των περιβλημάτων χαλαζία ώστε να διατηρηθεί η απόδοση. Η απόδοση της διεργασίας απολύμανσης UV εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η υδραυλική του συστήματος, η παρουσία σωματιδίων, τα χαρακτηριστικά των μικροοργανισμών και τα χημικά χαρακτηριστικά του

γκρίζου νερού. Ουσιαστικά, η ακτινοβολία διαπερνά το κυτταρικό τοίχωμα των μικροοργανισμών και απορροφάται από τα νουκλεϊκά οξέα με αποτέλεσμα τη διακοπή της αναπαραγωγής και το θάνατο του κυττάρου.



Σχήμα 32. Σύστημα απολύμανσης UV κλειστού τύπου [1]

Οι ακόλουθοι υπολογισμοί βασίζονται στις παρακάτω παραδοχές για σύστημα UV οριζόντιας τοποθέτησης ανοικτού καναλιού:

- Διάμετρος λυχνίας = 20 mm
- Απόσταση λυχνιών = 75 mm
- Ρυθμός ροής = 20-80 l/min.λυχνία
- Δόση UV = 40-110 mW.s/cm²

Υπολογισμοί

Καταρχήν, υπολογίζουμε την εισροή σε l/min:

- $Q = 34.50 \text{ m}^3/\text{day} = 23.96 \text{ l/min}$

Οι απαιτούμενες λυχνίες για την εισροή είναι:

➤ $Λυχνίες = Q / \text{ρυθμός ροής} = 1.2$

Επομένως, πρέπει να τοποθετηθούν ένα δομοστοιχείο το οποίο αποτελείται από 2 λυχνίες εντός του καναλιού. Για 2 λυχνίες εντός του καναλιού ο ρυθμός ροής γίνεται:

➤ $\text{Ρυθμός ροής} = Q / 2 = 17.25 \text{ l/min/λυχνία}$

Ο ρυθμός ροής αυτός θεωρείται ικανοποιητικός αν και μικρότερος από τα όρια του κατασκευαστή. Η επιφάνεια εγκάρσιας διατομής του καναλιού του καναλιού είναι:

➤ $\text{Επιφάνεια διατομής} = (2 * 75 \text{ mm}) = 0.15 \text{ m}^2$

Η μέγιστη ταχύτητα του καναλιού δίνεται:

➤ $v = Q / A = 0.0027 \text{ m/s}$

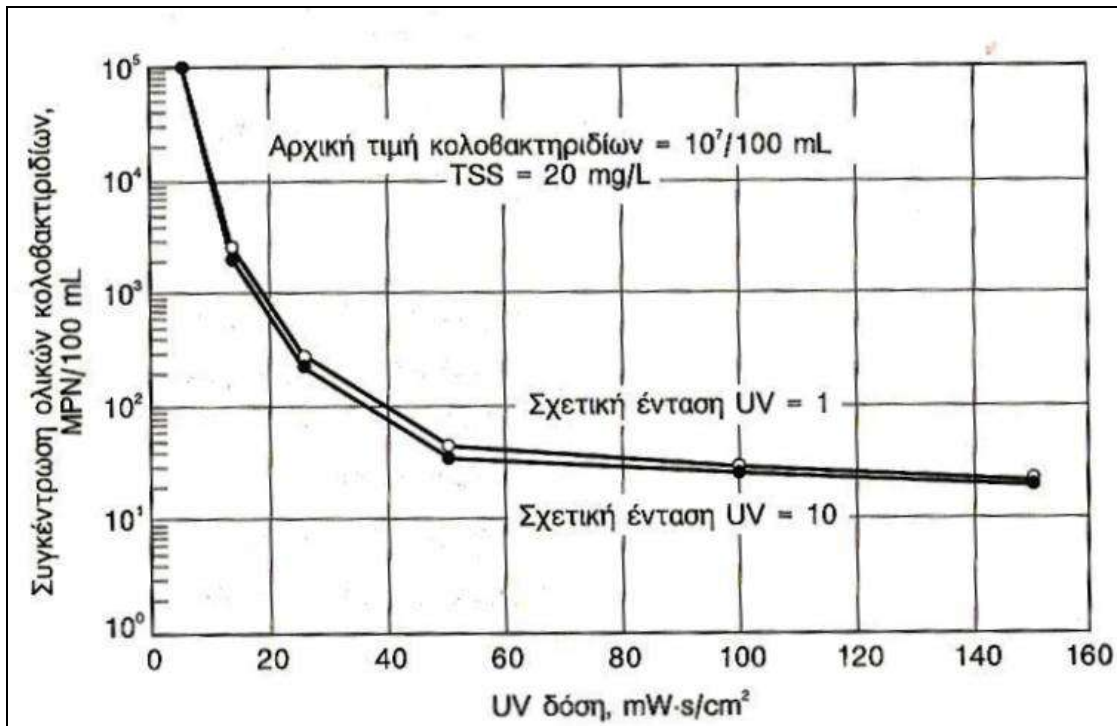
Η απόδοση της απολύμανσης UV βασίζεται στη δόση UV στην οποία εκτίθενται οι μικροοργανισμοί. Στο **Παράρτημα IV** αναφέρεται ότι η τυπική αρχική δόση UV για δευτεροβάθμιες εκροές για ολικά κολοβακτηρίδια με περιεκτικότητα μικρότερη από 2.2 MPN / 100 ml είναι περίπου:

➤ $D = 100 \text{ mW.s/cm}^2$

Ο συνήθης χρόνος έκθεσης των βακτηρίων στην απολύμανση ανέρχεται από 10-60 s έως και αρκετές ώρες, άρα η τυπική ένταση UV για μικρό χρόνο έκθεσης θα είναι:

➤ $I = D / t = D / 30s = 3.33 \text{ mW / cm}^2$

Τα προβλήματα της εφαρμογής της τελευταίας εξίσωσης σχετίζονται με τη μη ακριβή γνώση της έντασης UV και το χρόνο έκθεσης κατά τη διέλευση όλων των παθογόνων μικροοργανισμών. Η δόση μπορεί να μεταβάλλεται με αλλαγή της έντασης και του χρόνου έκθεσης. Επειδή η ένταση εξασθενεί με την απόσταση από το περίβλημα χαλαζία με βάση το νόμο του Beer, η μέση ένταση μέσα σε ένα σύστημα απολύμανσης συνήθως υπολογίζεται με μαθηματικό τρόπο. [1] Στο **Σχήμα 33** αναφέρεται η απαιτούμενη δόση UV ανά τη συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηριδίων και η μεταβολή της σε σχέση με την αυξομείωση της έντασης UV.



Σχήμα 33. Δόση UV σε σχέση με τη συγκέντρωση των βακτηριδίων [1]

Η αύξηση της σχετικής έντασης στο παραπάνω **Σχήμα 33** αντιπροσωπεύει την αύξηση της ισχύος της λυχνίας ανά επιφάνεια απολύμανσης. Όπως φαίνεται η αύξηση της σχετικής έντασης UV κατά 10 φορές έχει μικρή επίδραση στη μείωση του αριθμού των επιζώντων κολοβακτηριδίων που συνδέονται με σωματίδια, επειδή η απορρόφηση της UV ακτινοβολίας από τα σωματίδια των υγρών αποβλήτων είναι τυπικά 10000 φορές μεγαλύτερη από αυτή του κυρίου ρευστού. Τα σωματίδια ουσιαστικά παρεμποδίζουν τη μετάδοση του UV φωτός, αφού σωματίδια μεγαλύτερα από ένα κρίσιμο μέγεθος προστατεύουν αποτελεσματικά τους εγκλωβισμένους μικροοργανισμούς.

Κεφάλαιο 6ο. Επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού

6.1 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΝΑΚΤΗΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Θεωρείται ότι η μέθοδος που ακολουθείται στο **Κεφάλαιο 5** παράγει πλήρως διαυγασμένο νερό απαλλαγμένο από παθογόνους οργανισμούς και σύμφωνα με τον **Πίνακα 9** οι συνολικές αποδόσεις της μεθόδου μπορούν να φθάσουν και το 99%. Η αποθήκευση του ανακτημένου νερού είναι εξίσου ένα σημαντικό θέμα όσο αφορά την επαναχρησιμοποίηση. Οι δεξαμενές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι ανοικτές ή κλειστές. Για την άρδευση χώρων πρασίνου το ανακτημένο γκρίζο νερό χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της νύχτας ή κατά τις πρώτες πρωινές ώρες. Λόγω της χαμηλής ροής κατά τη διάρκεια αυτών των χρονικών περιόδων, το ανακτημένο νερό που παράγεται στη διάρκεια της ημέρας πρέπει να αποθηκεύεται για την ικανοποίηση των αναγκών άρδευσης. Λόγω των αυξανόμενων περιορισμών στις προδιαγραφές ποιότητας εκρών σε υδάτινους αποδέκτες, υπάρχει η τάση να απορρίπτεται αυτό στο έδαφος. Σε μερικές περιοχές οι απολυμασμένες εκροές αφού αποθηκεύονται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, απορρίπτονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα και όταν υπάρχει υψηλή ροή σε υδάτινους αποδέκτες.

Όταν χρησιμοποιείται αποθήκευση πρέπει να απαιτούνται οι απαιτήσεις του **Παραρτήματος Ι** και όταν αντλείται νερό από τη δεξαμενή. Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει ανάγκη περαιτέρω απολύμανσης κατόπιν ώστε να τηρούνται τα όρια αυτά. Για την αποφυγή διπλής απολύμανσης η δεξαμενή αυτή πρέπει να θεωρείται μέρος της επεξεργασίας και η απολύμανση να υφίσταται μετά από αυτή. Αν η απολύμανση συμβεί πριν από αυτή τη δεξαμενή, τότε οι μικροοργανισμοί ενδέχεται να μειωθούν μέσω της φυσικής καθίζησης και φθοράς κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Για αυτούς τους λόγους επιλέγονται οι παρακάτω λειτουργίες:

- ❖ Ασυνεχή αποθήκευση των αυξημένων ροών κατά τη διάρκεια της ημέρας και νυχτερινή χρήση.
- ❖ Συνεχόμενη αποθήκευση και χρήση.

- ❖ Αποθήκευση για μεγάλη χρονική περίοδο των χειμερινών ροών και επαναχρησιμοποίηση τον χειμώνα.

Η ασυνεχής αποθήκευση επιβάλλεται αρκετές φορές για να καλυφθούν οι απαιτήσεις άρδευσης κατά τις νυχτερινές ώρες και για να μειωθεί το κόστος άντλησης που σχετίζεται με την κάλυψη των αυξημένων αναγκών χρήσης νερού στις ώρες αιχμής. Η αποθήκευση για μεγάλη χρονική περίοδο των καλοκαιρινών ροών για την απόρριψή τους το χειμώνα, πρέπει να εφαρμόζεται όπου υπάρχουν περιορισμένες τοπικές ευκαιρίες για την επαναχρησιμοποίηση του νερού και οι χαμηλές ροές των υδάτινων αποδεκτών ευνοούν αυτή τη διαδικασία. Ο τύπος των απαιτούμενων εγκαταστάσεων εξαρτάται από την ποσότητα που χρειάζεται να αποθηκευθεί για την κάλυψη του ρυθμού και της διάρκειας της εφαρμογής, καθώς και την πλήρωση της δεξαμενής. Στον **Πίνακα 16** παρουσιάζονται τα πιο κοινά προβλήματα βάσει φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών προέλευσης, τα οποία σχετίζονται με την αποθήκευση του ανακτημένου νερού σε ανοικτές δεξαμενές.

Πίνακας 16. Προβλήματα στη λειτουργία ανοικτών δεξαμενών νερού [2]

| Χαρακτηριστικά | Περιγραφή |
|-----------------|---|
| Φυσικά: | |
| Χρώμα | Η παρουσία χρώματος επηρεάζει την αποδοχή του νερού αισθητικά. Οφείλεται κυρίως σε χουμικά υλικά τα οποία έχουν παρασυρθεί από το βρόχινο νερό. |
| Οσμές | Οι οσμές οφείλονται στην παρουσία υδρόθειου το οποίο έχει απαιτήσεις σε χλώριο. |
| Θερμοκρασία | Αδύνατη η χρησιμοποίηση σε ορισμένες περιόδους. |
| Θολότητα | Η παρουσία θολότητας επηρεάζει την αποδοχή του νερού αισθητικά. Οφείλεται στα νερά της βροχής και στην ανάπτυξη φυκών. |
| Χημικά : | |

| | |
|---------------------|---|
| Χλωρίο | Η παρουσία χλωρίου μπορεί να είναι τοξική για την υδρόβια ζωή. |
| DO | Χαμηλά επίπεδα DO προκαλούν θανάτωση ψαριών και την απελευθέρωση οσμών. |
| Άζωτο & φώσφορος | Θρεπτικά συστατικά τα οποία προκαλούν την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν. |
| Βιολογικά: | |
| Φύκη | Παρουσία υπερβολικών φυκών προκαλούν οσμές, αύξηση θολότητας και έμφραξη στα φίλτρα. |
| Υδρόβιες ακαθαρσίες | Μεγάλος αριθμός υδρόβιων πουλιών προκαλεί αλλοίωση της ποιότητας του νερού της δεξαμενής. |
| Βακτήρια | Η ανάπτυξη μικροοργανισμών είναι ένα κοινό φαινόμενο στις ανοικτές δεξαμενές αποθήκευσης. |
| Χλωροφύλλη | Παρουσία υπερβολικών φυκών και φυτικής ύλης. |
| Έντομα | Χρειάζεται επιπρόσθετος ψεκασμός με εντομοκτόνα. |
| Φυτοπλαγκτόν | Παρουσία υπερβολικών φυκών προκαλεί οσμές, αύξηση θολότητας και έμφραξη φίλτρων. |
| Πρωτόζωα | Επηρεάζουν ενδεχόμενες εφαρμογές. |
| Ιοί | Επηρεάζουν ενδεχόμενες εφαρμογές. |

Πολλά από τα παραπάνω προβλήματα αλληλοσχετίζονται. Για παράδειγμα, η δημιουργία οσμών λόγω υδρόθειου σχετίζεται με τη θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση του νερού της δεξαμενής που προκαλείται από τη διαφορά θερμοκρασίας. Η παραγωγή του υδρόθειου σχετίζεται επίσης με τη συγκέντρωση του θείου στο τροφοδοτούμενο νερό και τις ποσότητες του θείου που προστίθενται κατά τη διάρκεια της χρήσης του νερού. Όταν τα επίπεδα συγκέντρωσης του θείου στο ανακτημένο νερό είναι μεγαλύτερα από 50 mg/l, τότε

προκαλείται παραγωγή υδρόθειου σε διαστρωμάτωση νερού εντός της δεξαμενής. Επίσης, ποσότητες υπολειμματικού αζώτου και φωσφόρου στα περισσότερα ανακτημένα νερά δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες για ανάπτυξη φυκών και φυτοπλαγκτού. Στον **Πίνακα 17** παρουσιάζονται τα πιο κοινά προβλήματα βάσει φυσικών, χημικών και βιολογικών χαρακτηριστικών προέλευσης, που σχετίζονται με την αποθήκευση του ανακτημένου νερού σε κλειστές δεξαμενές αποθήκευσης.

Πίνακας 17. Προβλήματα στη λειτουργία κλειστών δεξαμενών νερού [2]

| Χαρακτηριστικά | Περιγραφή |
|-----------------------|---|
| Φυσικά: | |
| Χρώμα | Οφείλεται κυρίως σε χουμικά υλικά τα οποία έχουν παρασυρθεί από το βρόχινο νερό. |
| Οσμές | Οι οσμές οφείλονται στην παρουσία υδρόθειου το οποίο έχει απαιτήσεις σε χλώριο. |
| Θολότητα | Η παρουσία θολότητας επηρεάζει την αποδοχή του νερού αισθητικά. |
| Χημικά : | |
| Χλώριο | Η παρουσία χλωρίου και των παραγώγων του προκαλεί οσμές. |
| DO | Χαμηλά επίπεδα DO προκαλούν απελευθέρωση οσμών. |
| Βιολογικά: | |
| Βακτήρια | Η ανάπτυξη μικροοργανισμών είναι ένα κοινό φαινόμενο στις ανοικτές δεξαμενές αποθήκευσης. |
| Έντομα | Χρειάζεται επιπρόσθετος ψεκασμός με εντομοκτόνα, λόγω της εισόδου των κουνουπιών εντός της δεξαμενής. |
| Ιοί | Επηρεάζουν ενδεχόμενες εφαρμογές. |

Η πιο συνήθης τακτική αντιμετώπισης των παραπάνω προβλημάτων είναι η χρήση του αερισμού για την παροχή οξυγόνου και την αποφυγή διαστρωμάτωσης. Για την παροχή οξυγόνου και την εξάλειψη της διαστρωμάτωσης έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα συστήματα αερισμού. Η απαιτούμενη ενέργεια για τον αερισμό και την αποφυγή της διαστρωμάτωσης είναι περίπου 0.3-0.5 kW/1000m³. [2] Η πραγματική απαιτούμενη ενέργεια ποικίλλει ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής, περιλαμβάνοντας την έκταση της επιφάνειας, το λόγο των διαστάσεων μήκους/πλάτους, το βάθος της δεξαμενής και τη θερμοκρασία. Η ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν στις δεξαμενές ελέγχεται με τη χρήση αλγοκτόνων, όπως ο θειικός σίδηρος ή χαλκός.

Η αποτελεσματική χρήση αυτών των χημικών απαιτεί μικροσκοπική εξέταση του νερού για το καθορισμό του αριθμού και του τύπου των οργανισμών που υπάρχουν. Η επεξεργασία συνήθως χρειάζεται όταν ο αριθμός των οργανισμών ξεπερνά τις 500-1000 MPN/ml. Η ασφαλής δόση θειικού χαλκού για υδρόβιους οργανισμούς ανέρχεται περίπου 0.1-0.5 mg/l. [2] Για τις κλειστές δεξαμενές οι πιο αποτελεσματικές τακτικές περιλαμβάνουν την ανακυκλοφορία του νερού και την προσθήκη χλωρίου για τη διατήρηση της υπολειμματικής δόσης. Γενικά, η προσθήκη χλωρίου περιορίζεται σε μικρές ασυνεχούς λειτουργίας δεξαμενές για την άρδευση χώρων πρασίνου και σε βιομηχανικές εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης. Στον **Πίνακα 18** συνοψίζονται οι τακτικές διαχείρισης και αντιμετώπισης της αποθήκευσης του ανακτημένου νερού.

Πίνακας 18. Αντιμετώπιση προβλημάτων στην αποθήκευση ανακτημένου νερού [2]

| Τακτικές διαχείρισης | Περιγραφή |
|---------------------------|---|
| Ανοικτές δεξαμενές | |
| Αερισμός | Η εγκατάσταση συστημάτων αερισμού χρησιμοποιείται για τη διατήρηση αερόβιων συνθηκών και την εξάλειψη της διαστρωμάτωσης. |
| Καθίζηση | Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών και φωσφόρου. |

| | |
|---------------------------|---|
| Προσθήκη θειικού χαλκού | Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ανάπτυξης των φυκών. |
| Αποφυγή διαστρωμάτωσης | Υποβρύχιοι ή επιφανειακοί αναμικτήρες χρησιμοποιούνται για την εξάλειψη της διαστρωμάτωσης. Μπορεί να προκαλέσει απελευθέρωση φωσφόρου από τον πυθμένα. |
| Αραιώση | Συμβαίνει όταν νερό καλύτερης ποιότητας αναμιγνύεται με το νερό της δεξαμενής. |
| Καθαρισμός πυθμένα | Τα συσσωρευμένα ιζήματα απομακρύνονται μια φορά το χρόνο για την αποφυγή επικαθίσεων και υδρόθειου. |
| Διήθηση | Μπορεί να υπάρξει μέσω χαλικιών, αμμόφιλτρων χαμηλής ροής και τύπου δίσκων για την απομάκρυνση φυκών και τη βελτίωση της ποιότητας του νερού. |
| Απομάκρυνση θρεπτικών | Απομάκρυνση αζώτου & φωσφόρου για τον έλεγχο της ανάπτυξης υδρόβιων οργανισμών. |
| Φωτοξείδωση | Προκύπτει από την έκθεση του νερού στο φως του ηλίου. |
| Υγρότοποι | Διέλευση του νερού από τεχνητό υγρότοπο για τη βελτίωση της διαυγείας της εκροής. |
| Κλειστές δεξαμενές | |
| Αερισμός | Διατηρεί επαρκή επίπεδα DO για την εξάλειψη της δημιουργίας οσμών. |
| Χλωρίωση | Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ανάπτυξης των μικροοργανισμών. |
| Ανακυκλοφορία | Περιορίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και τη δημιουργία οσμών. |

6.2 ΑΡΔΕΥΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΚΤΑΣΕΩΝ

Η άρδευση είναι μια πρακτική που ακολουθείται σε όλο τον κόσμο εδώ και αρκετές χιλιετίες, παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια έχει αναγνωρισθεί η σπουδαιότητα της ποιότητας του νερού άρδευσης. Σε άγονες περιοχές το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση μειώνοντας έτσι την κατανάλωση νερού από επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η πρακτική αυτή βρίσκει εφαρμογή σε μέρη όπου οι κανονισμοί για απόρριψη στο περιβάλλον είναι αρκετά αυστηροί και όπου τα εδάφη δεν μπορούν να κατακρατούν νερό. Αρκετές καλλιέργειες μπορούν να αρδευτούν με ανακτημένο νερό. Οι τύποι των κυριότερων αγροτικών καλλιεργειών παρουσιάζονται στον **Πίνακα 19**.

Πίνακας 19. Τύποι κυριότερων αγροτικών καλλιεργειών για άρδευση με ανακτημένο νερό [2]

| Τύπος καλλιέργειας | Φυτικά προϊόντα | Επεξεργασία νερού |
|--|--|--|
| Φυτικές καλλιέργειες | Κριθάρι, καλαμπόκι, βρώμη | Δευτεροβάθμια + απολύμανση |
| Ελαιώδεις καρποί | Βαμβάκι, λινάρι | Δευτεροβάθμια + απολύμανση |
| Βρώσιμα, ανεπεξέργαστα λαχανικά και φυτά | Αβοκάντο, λάχανο, μαρούλι, φράουλες | Δευτεροβάθμια + φίλτρανση + απολύμανση |
| Βρώσιμα, επεξεργασμένα λαχανικά και φυτά | Αγκινάρα, ζαχαρότευτλο, ζαχαροκάλαμο | Δευτεροβάθμια + απολύμανση |
| Χορτονομές | Μηδική, κριθάρι, ζωοτροφές | Δευτεροβάθμια + απολύμανση |
| Οπωροκηπευτικά και αμπελώνες | Βερίκοκο, πορτοκάλι, ροδάκινο, κλήματα, σταφύλια | Δευτεροβάθμια + απολύμανση |
| Φυτώρια | Λουλούδια | Δευτεροβάθμια + απολύμανση |
| Δασώδεις περιοχές | Λεύκες | Δευτεροβάθμια + απολύμανση |

Τονίζεται ιδιαίτερα η ποιότητα του νερού στην απόδοση των καλλιεργειών, στην κατάσταση του εδάφους και στη διαχείριση των αγροκτημάτων. Οι τέσσερις κατηγορίες ενδεχόμενων προβλημάτων διαχείρισης που σχετίζονται με την ποιότητα του νερού στην άρδευση είναι η αλατότητα, η τοξικότητα των ιόντων, ο ρυθμός διείσδυσης του νερού και άλλα προβλήματα. Ο **Πίνακας 20** παρουσιάζει οδηγίες σχετικά με την ποιότητα του νερού άρδευσης.

Πίνακας 20. Οδηγίες για τον καθορισμό της ποιότητας άρδευσης [2]

| Χαρακτηριστικά | | Όριο | Μονάδες |
|------------------------|--------------|-------|---------|
| Ηλεκτρική αγωγιμότητα | | <3 | dS/m |
| Ολικά διαλυμένα στερεά | | <2000 | mg/l |
| Διαπερατότητα (SAR) | 0-3 | <0.2 | dS/m |
| | 3-6 | <0.3 | dS/m |
| | 6-12 | <0.5 | dS/m |
| | 12-20 | <1.3 | dS/m |
| | 20-40 | <2.9 | dS/m |
| Νάτριο | Άρδευση | <9 | mg/l |
| | Καταιονισμός | <70 | mg/l |
| Ιόντα χλωρίου | Άρδευση | <350 | mg/l |
| | Καταιονισμός | <100 | mg/l |
| Βόριο | | <3 | mg/l |
| Ολικό άζωτο | | <30 | mg/l |
| Όξινα ανθρακικά | | <500 | mg/l |

| | | |
|----------------------|----|------|
| Υπολειμματικό χλώριο | <5 | mg/l |
|----------------------|----|------|

Η αλατότητα του νερού προσδιορίζεται με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και είναι η πιο σημαντική παράμετρος για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας του νερού για άρδευση. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC, Electric Conductivity) χρησιμοποιείται ως υποκατάστατη μέτρηση της συγκεντρώσεως των TDS και εκφράζεται σε dS/m. Η παρουσία των αλάτων ευνοεί την ανάπτυξη φυκών με τρεις τρόπους. Πρώτον, με οσμωτικές επιδράσεις από τη συγκέντρωση των ολικών διαλυμένων στερεών στο νερό του εδάφους. Δεύτερον, με τοξικότητα ιόντων που προκαλείται από τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ιόντων. Τρίτον, από την υψηλή περιεκτικότητα νατρίου. Ο μόνος πρακτικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος της αλατότητας είναι η δημιουργία ενός δικτύου ροής νερού και αλάτων κάτω από τη ζώνη των ριζών. Χωρίς κατάλληλο σύστημα διοχέτευσης δεν είναι δυνατή η μακροχρόνια χρήση του ανακτημένου νερού για άρδευση.

Όταν η εξασθένηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών οφείλεται σε αυξημένες συγκεντρώσεις ιόντων παρά στις επιδράσεις της οσμωτικής πίεσης, τότε συμβαίνει τοξικότητα των ιόντων. Η κυριότερη τοξικότητα από τη χρήση του ανακτημένου γκρίζου νερού προέρχεται από το βόριο, λόγω των οικιακών απορρυπαντικών. Επίσης, οι ποσότητες των χλωριόντων και του νατρίου αυξάνονται ως αποτέλεσμα των οικιακών χρήσεων. Για ευαίσθητες καλλιέργειες η τοξικότητα των ιόντων είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί όταν δεν υπάρχει δυνατότητα εναλλαγής της καλλιέργειας. Το πρόβλημα εντείνεται σε ξηρές κλιματολογικές συνθήκες λόγω του υψηλού ρυθμού εξατμισοδιαπνοής. Σε δυσμενείς συνθήκες τα στοιχεία αυτά τείνουν να συσσωρεύονται στα φυτά και στο έδαφος, όπου προκαλούν κίνδυνο για την υγεία ανθρώπων και ζώων.

Εκτός από την τοξικότητα του νατρίου που αναφέρθηκε παραπάνω, μια άλλη έμμεση επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης του νατρίου είναι η χειροτέρευση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους (διαπερατότητα, κ.α.). Επίσης, τα συστήματα άρδευσης με ανακτημένο νερό βρίσκονται συχνά σε όχι και τόσο επιθυμητά εδάφη ή σε εδάφη που έχουν ήδη προβλήματα διαπερατότητας και διαχείρισης. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητο να τροποποιηθεί το στρώμα του υπεδάφους με εκσκαφές. Τα προβλήματα διείσδυσης του νερού συμβαίνουν σε ένα πάχος ολίγων εκατοστών στο επάνω μέρος του εδάφους και σχετίζονται με τη σταθερότητα

της δομής της εδαφικής επιφάνειας. Για την πρόβλεψη του ενδεχόμενου προβλήματος διείσδυσης χρησιμοποιείται συνήθως η σχέση προσροφημένου νατρίου (SAR, Sodium Adsorption Rate).

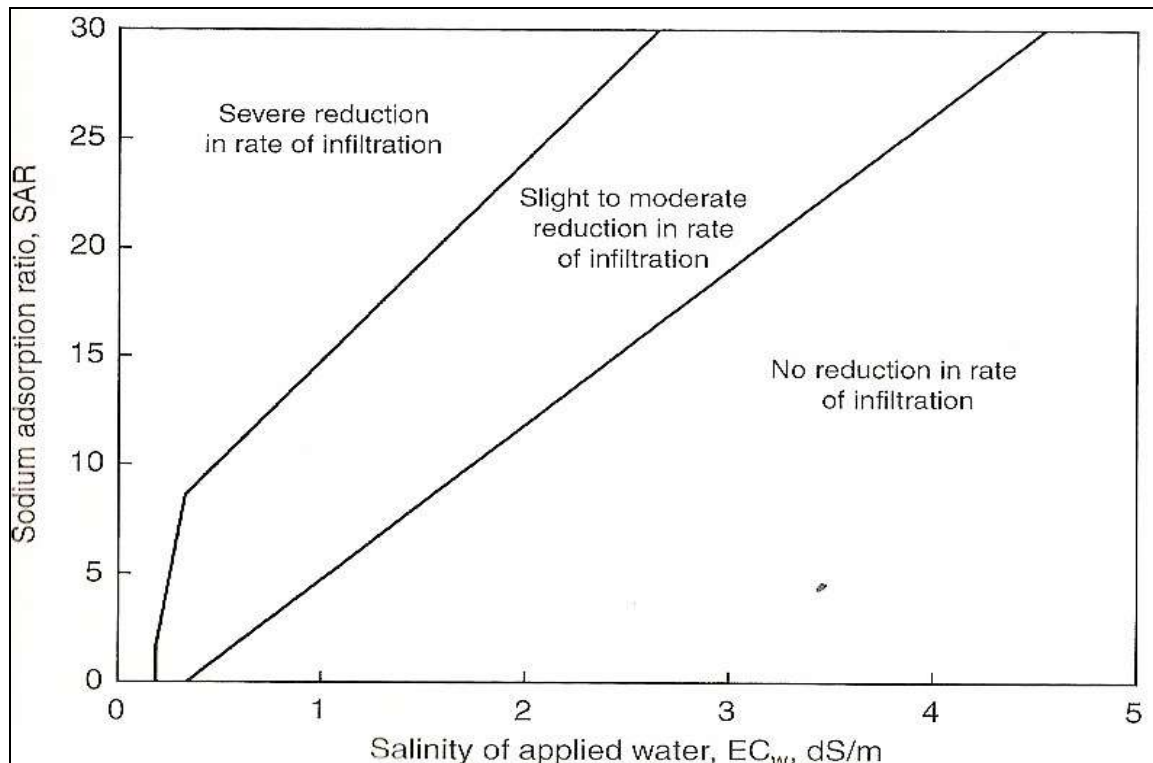
$$SAR_{adj} = \frac{[Na^+]}{\sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])/2}}$$

Σχήμα 34. Σχέση προσρόφησης νατρίου - SAR [2]

Για μια δεδομένη σχέση προσροφημένου νατρίου ο ρυθμός διείσδυσης αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας ή μειώνεται με τη μείωση της αλατότητας. Συνεπώς, η SAR και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του νερού άρδευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό για την εκτίμηση ενδεχόμενου προβλήματος διαπερατότητας. Οι επιδράσεις τους αναφέρονται στο αντίστοιχο διάγραμμα του **Σχήματος 35**. Το ανακτημένο νερό στην περίπτωση του γκριζου νερού περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου με αποτέλεσμα την υψηλή σχέση SAR και ιδιαίτερα προβλήματα στην εφαρμογή της άρδευσης. Για την αντιμετώπιση της αλατότητας, συχνά χρησιμοποιείται θειικό ασβέστιο (γύψος) για την αποκατάσταση της διαπερατότητας σε αρδευόμενες εκτάσεις. Το ποσό της αναγκαίας γύψου το οποίο πρέπει να προστεθεί ώστε να μειώσει την σχέση SAR αρκετά, εξαρτάται από τη εναλλαγή ιόντων και κυρίως του νατρίου με ασβέστιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το νάτριο είναι μονοσθενές ιόν και προκαλεί χαλάρωση στη συνοχή του εδάφους. Το ασβέστιο επειδή είναι δισθενές και έχει την ικανότητα να προκαλεί καλύτερη συνοχή στο έδαφος αφού ενώνεται πιο δύσκολα με το νερό από ότι το νάτριο. Η γύψος μπορεί να εφαρμοσθεί απευθείας στο έδαφος ή υπό διάλυση στο νερό άρδευσης. [2]

Τα αποτελέσματα υψηλής ποσότητας νατρίου προκαλούν κάψιμο των φύλλων, χλώρωση (κιτρίνισμα) και μαρασμό. Η τοξικότητα του νατρίου έχει ήδη παρατηρηθεί σε οπωροφόρα δέντρα όπως το ροδάκινο, το κεράσι, το βερίκοκο και το δαμάσκηνο από αρδευόμενο ανακτημένο νερό στις Η.Π.Α.. Τα χλωριόντα μπορούν να προκαλέσουν αντίστοιχα φαινόμενα σε οπωροφόρα. Λαχανικά, σιτηρά, κτηνοτροφικές εκτάσεις και καλλιέργειες ελαιωδών καρπών (σόγια) δεν πλήττονται από μέτριες συγκεντρώσεις νατρίου και χλωριόντων, με την προϋπόθεση ότι είναι μικρές οι τιμές της SAR. Το βόριο είναι τοξικό σε επίπεδα λίγο πάνω από

την αντίστοιχη νομοθεσία. Προκαλεί και αυτό τα ίδια συμπτώματα με το νάτριο και επιπλέον κυάνωση και κηλίδωση των ανθών. Η ανεκτικότητα του βορίου ποικίλλει ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες και τον τύπο της καλλιέργειας.



Σχήμα 35. Επίδραση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και SAR στη διήθηση εδάφους [2]

Τα θρεπτικά συστατικά στο ανακτημένο νερό αποτελούν λίπασμα για τις καλλιέργειες και την ανάπτυξη πρασίνου. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν τα θρεπτικά συστατικά είναι σε ποσότητες πάνω από αυτές που χρειάζονται τα φυτά, προκαλούν προβλήματα. Τα θρεπτικά που είναι αναγκαία στη γεωργία και στην άρδευση πρασίνου περιλαμβάνουν άζωτο, φώσφορο και μερικές φορές κάλιο, ψευδάργυρο και θείο. Το άζωτο είναι το πιο χρήσιμο θρεπτικό στο ανακτημένο νερό και βρίσκεται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα από τα άλλα. Επίσης, μπορεί να αντικαταστήσει αντίστοιχες ποσότητες εμπορικών λιπασμάτων κατά τη διάρκεια της αρχικής έως την ενδιάμεση περίοδο ανάπτυξης των φυτών. Υψηλά επίπεδα αζώτου στο τελικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών μπορεί να είναι επιζήμια για πολλές καλλιέργειες, προκαλώντας υπερβολική ανάπτυξη της βλάστησης, καθυστερημένη ή ανομοιόμορφη ωρίμανση και μείωση

της ποιότητας των καλλιεργειών. Ο παρακάτω **Πίνακας 21** μας δίνει τις μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων στα νερά άρδευσης. Αποτελέσματα σχετικά την παρουσία κολοβακτηριδίων σε ανακτημένο γκρίζο νερό βρίσκονται στη μελέτη των Sara Finley et al. [18]

Πίνακας 21. Μέγιστες συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων σε ανακτημένο νερό άρδευσης [2]

| Στοιχείο | Μέγιστη Συγκέντρωση (mg/l) | Περιγραφή |
|----------|----------------------------|---|
| Al | 5 | Προκαλεί διακοπή της αναπαραγωγής σε όξινα εδάφη και κατακρήμνιση ιόντων σε βασικά. |
| As | 0.1 | Η τοξικότητά του στα φυτά ποικίλει από 0.05 mg/l στο ρύζι έως 12 mg/l στο γρασίδι. |
| Be | 0.1 | Η τοξικότητά του στα φυτά ποικίλει από 0.5 mg/l στο φασόλι έως 5 mg/l στο λάχανο. |
| Cd | 0.01 | Τοξικό στα λαχανικά για συγκεντρώσεις μικρότερες από 0.1 mg/l. Πρέπει να τηρούνται αυστηρά όρια λόγω της ιδιαίτερης τοξικότητάς του για τους ανθρώπους. |
| Co | 0.05 | Τοξικό για καλλιέργειες τομάτας και ανενεργό σε ουδέτερα ή βασικά εδάφη. |
| Cr | 0.1 | Ιδιαίτερη τοξικότητα για τα φυτά. |
| Cu | 0.2 | Τοξικό για ένα μεγάλο αριθμό φυτών. |
| F | 1 | Ανενεργό σε ουδέτερα και αλκαλικά εδάφη. |
| Fe | 5 | Μη τοξικό στα φυτά σε αεριζόμενα εδάφη, αλλά προκαλεί οξίνιση του εδάφους. Υψηλή διαβροχή προκαλεί δυσμενείς αποθέσεις στα φυτά, στον εξοπλισμό και στα κτίρια. |
| Li | 2.5 | Ανεκτικό στα περισσότερα φυτά σε συγκέντρωση έως και 5 |

| | | |
|----|------|---|
| | | mg/l. Τοξικό στα εσπεριδοειδή σε χαμηλά επίπεδα. Δρα παρόμοια με το βόριο. |
| Mn | 0.2 | Τοξικό στα φυτά μόνο στα όξινα εδάφη. |
| Mo | 0.01 | Μη τοξικό στα φυτά σε φυσιολογικές συγκεντρώσεις στο έδαφος και στο νερό. Μπορεί να είναι τοξικό στα ζώα αν οι ζωοτροφές αναπτύσσονται σε εδάφη με υψηλά επίπεδα μολυβδαινίου. |
| Ni | 0.2 | Τοξικό στα φυτά μόνο στα όξινα εδάφη. |
| Pb | 5 | Αναστέλλει την ανάπτυξη των κυττάρων των φυτών σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις. |
| Se | 0.02 | Τοξικό στα φυτά σε συγκεντρώσεις 0.025 mg/l και τοξικό στα ζώα αν οι ζωοτροφές αναπτύσσονται σε εδάφη με υψηλά επίπεδα προστιθέμενου σεληνίου. Βασικό στοιχείο για τα ζώα σε χαμηλές συγκεντρώσεις. |
| V | 0.1 | Τοξικό στα φυτά σε χαμηλές συγκεντρώσεις. |
| Zn | 2 | Τοξικό στα φυτά σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Μειωμένη τοξικότητα σε αλκαλικά και σε οργανικά εδάφη. |

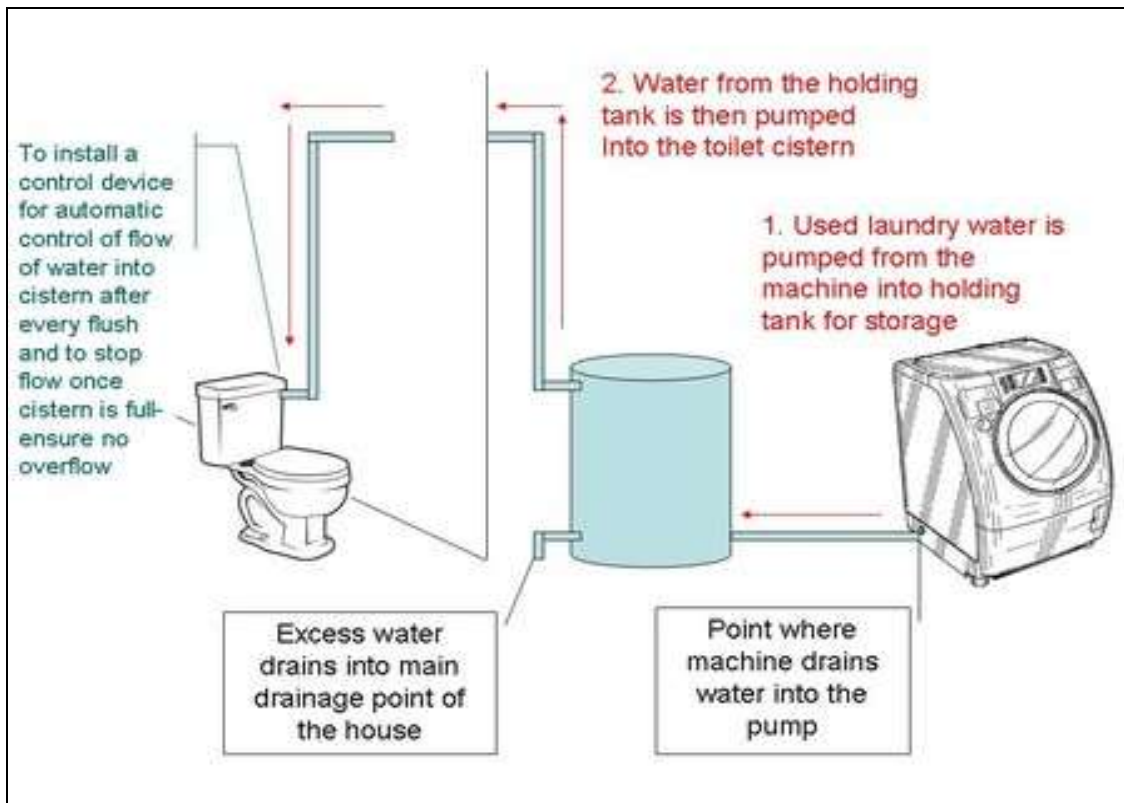
6.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Τα πλεονεκτήματα της επαναχρησιμοποίησης του γκριζου νερού περιλαμβάνουν:

- Η επαναχρησιμοποίηση του γκριζου νερού μειώνει την απαιτούμενη κατανάλωση του πόσιμου νερού για χρήσεις εκτός της κατάποσης.

- Η επί τόπου επεξεργασία του γκρίζου νερού μειώνει τις ποσότητες των υγρών λυμάτων τα οποία θα πρέπει να υποβληθούν σε δαπανηρές επεξεργασίες.
- Το γκρίζο νερό περιέχει το ένα δέκατο του αζώτου που υπάρχει στο μαύρο νερό. Από αυτό το μισό είναι οργανικό και μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα με διήθηση.
- Επίσης, είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών και των καλλιεργειών.
- Η χρήση του γκρίζου νερού για άρδευση περιέχει θρεπτικά τα οποία απορρίπτονται απευθείας σε αντίθεση με την απόρριψη σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες από μια κοινή σηπτική δεξαμενή.
- Ο διαχωρισμός του γκρίζου νερού ειδικά σε μικρές αποκεντρωμένες μονάδες ευνοεί την οικονομία και την ανάπτυξη της περιοχής αυτής.

Η επεξεργασία γκρίζου νερού *in situ* περιλαμβάνει εγκαταστάσεις οι οποίες διαχωρίζουν στερεά από υγρά χωρίς να τροφοδοτούν μεγάλες ποσότητες στο ρεύμα που οδεύει προς την αποχέτευση. Επίσης, διαχωρισμός μπορεί να λάβει χώρα σε υγρά απόβλητα διαχωρίζοντας την ουρία και το γκρίζο νερό από τα άλλα ρεύματα. Εξαιτίας της υψηλής θρεπτικής αξίας της ουρίας, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές ώστε να κατακρατείται αυτή σε δεξαμενές και να χρησιμοποιείται απευθείας για άρδευση. Χαρακτηριστικό ανακύκλωσης εντός του σπιτιού αποτελεί το **Σχήμα 36**. Το νερό έκπλυσης από το πλυντήριο τροφοδοτεί μέσω μιας δεξαμενής τη λεκάνη του αποχωρητηρίου, ενώ η περίσσεια οδεύει προς την αποχέτευση. Συχνά απαιτείται αυτοματισμός στη διαχείριση αυτού του νερού και άντληση του νερού από τη δεξαμενή αποθήκευσης του.



Σχήμα 36. Εναλλακτικό σύστημα διαχείρισης γκρίζου νερού [6]

Εναλλακτικά, το γκρίζο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε άλλες χρήσεις εντός του σπιτιού αφού δεν περιέχει υψηλές ποσότητες οργανικού υλικού και παθογόνους οργανισμούς. Ο παράγοντας συντήρηση από τον χρήστη μια τέτοιας εγκατάστασης, είναι σημαντικός όταν επιλέγονται τέτοιου είδους συστήματα αφού αρκετές φορές βγαίνουν εκτός λειτουργίας. Παρόλα αυτά, σε αποκεντρωμένες περιοχές και όταν υφίσταται ανάγκη για εξοικονόμηση νερού τέτοια συστήματα βρίσκουν άριστη εφαρμογή. Στο **Σχήμα 37** φαίνεται ότι το νερό που απορρίπτεται από το νιπτήρα χρησιμοποιείται απευθείας για τη λεκάνη του αποχωρητηρίου, ενώ η περίσσεια οδεύει προς την κεντρική αποχέτευση. Το **Σχήμα 38** δείχνει το φίλτρο που χρησιμοποιείται για την κατακράτηση των μη βιοαποικοδομήσιμων ινών που προέρχονται από το νερό έκπλυσης των ρούχων. Τα φίλτρα αυτά (σακόφιλτρα ή φυσιγγίου) συνήθως έχουν ποσοστό απομάκρυνσης ινών 95-99% στο γκρίζο νερό που προέρχεται από τα πλυντήρια.



Σχήμα 37. Λεκάνη συνδεδεμένη με νιπτήρα [8]



Σχήμα 38. Φίλτρο απομάκρυνσης ιών σε πλυντήρια [6]

Η προεπεξεργασία του γκριζου νερού εντός των κτιρίων χρησιμοποιείται για να ομογενοποιήσει την ποιότητα του πριν την διαχείριση σε μονάδα επεξεργασίας. Παραδείγματα της διαχείρισης αυτής αποτελούν διαχωριστές στερεού-υγρού, λιποσυλλέκτες και φίλτρα απομάκρυνσης συγκεκριμένων ρύπων. Οι διαχωριστές στερεού-υγρού χρησιμοποιούνται σε

υπόγεια και βασίζονται είτε στη φυγόκεντρο δύναμη είτε στη βαρύτητα για το διαχωρισμό αυτό. Τα απορριπτόμενα στερεά συχνά χρησιμοποιούνται για κομποστοποίηση, ενώ το διαχωριζόμενο υγρό οδεύει για περαιτέρω επεξεργασία. Οι ελαιοσυλλέκτες βρίσκουν έδαφος σε συστήματα που έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε λίπη και έλαια, όπως τα εστιατόρια. Η χρήση μαγειρικών ελαίων και γαλακτωδών απορρυπαντικών εμποδίζει συνήθως τη χρήση των ελαιοσυλλεκτών. Οι μηχανικές εσχάρες και τα φίλτρα χρησιμοποιούνται για το γκρίζο νερό που προέρχεται από τα πλυντήρια ρούχων, όπως στο **Σχήμα 38**. Μικρές συσκευές προεπεξεργασίας μπορούν να παρατείνουν την λειτουργία της προεπεξεργασίας, να επηρεάσουν θετικά τα οικονομικά και τις απαιτήσεις συντήρησης, καθώς και την αποδοτικότητα των επακόλουθων σταδίων επεξεργασίας του γκρίζου νερού.

Κεφάλαιο 7°. Συμπεράσματα

Το γκρίζο νερό δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται μόνο με οικονομικά κριτήρια, αλλά επίσης και με τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο στην αιεφόρο ανάπτυξη. Για ιδιωτική οικιακή χρήση του γκρίζου νερού, οι πιο απλές και αποτελεσματικές τεχνολογίες περιλαμβάνουν εναλλακτική διαχείριση και φίλτραυση για την επιφανειακή διάθεση ή την άρδευση των χώρων πρασίνου. Τα πιο αποτελεσματικά συστήματα περιλαμβάνουν αποθήκευση, βιολογική επεξεργασία, διήθηση με MBR και απολύμανση με UV. Τα συστήματα αυτά δίδουν επιπρόσθετη αξία, όταν το ανακτημένο γκρίζο νερό χρησιμοποιείται για τις λεκάνες των αποχωρητηρίων, για το πλύσιμο των ρούχων (πλυντήρια) και για την άρδευση των χώρων πρασίνου. Το κόστος εγκατάστασης αυτών των μονάδων εξαρτάται από το μέγεθος αυτής της εγκατάστασης. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της τεχνολογίας των MBR αποτελεί το υψηλό κόστος επένδυσης. Όσο ο ρυθμός ροής παραμένει μικρός, τόσο η αναγκαία επιφάνεια διήθησης και η ανάγκη των επιπρόσθετων κοστών θα παραμένουν υψηλά. Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει αναγκαίος χώρος ή σε αποκεντρωμένες περιοχές, η τεχνολογία των MBR πρέπει να προτιμάται αφού προσφέρει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες τεχνικές. Συνήθως για μικρές μονάδες επεξεργασίας και για 15 άτομα, το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται περίπου σε 300 € ανά άτομο χωρίς όμως τον διαχωρισμό του γκρίζου νερού από το μαύρο νερό. [6] Για μεγαλύτερους πληθυσμούς το κόστος ποικίλλει ανάλογα με την εγκατάσταση και τις παραμέτρους που διέπουν αυτή τη διαδικασία.

Το σημαντικό στοιχείο είναι ότι το κόστος των διαθέσιμων τεχνικών επεξεργασίας είναι αρκετά μεγάλο σε σχέση με το κόστος του νερού που παρέχεται αυτή τη στιγμή από τις εταιρείες ύδρευσης και αποχέτευσης. Αυτή τη στιγμή και σύμφωνα με την ΕΥΔΑΠ, το κόστος του νερού κυμαίνεται 0.41-3.23 €/m³ για οικιακές καταναλώσεις που αφορούν από 0-35 m³. [22] Η τιμολόγηση της κατανάλωσης του νερού με διαβάθμιση ανάλογα με την κατανάλωση (δηλαδή μικρότερη τιμή για μικρή οικιακή κατανάλωση και αύξηση του τιμολογίου ανά κυβικό μέτρο νερού ανάλογα με το όριο κατανάλωσης), μια λογική δηλαδή «πληρώνω ανάλογα με το πώς καταναλώνω», θεωρείται κοινωνικά δίκαιη και περιβαλλοντικά αποτελεσματική.

Ο καθορισμός της τιμής του παρεχόμενου νερού από το δίκτυο σε χαμηλά επίπεδα, προς το παρόν, δεν αποτελεί κίνητρο για την επαναχρησιμοποίηση του γκριζου νερού. Από τη στιγμή που τα νοικοκυριά πληρώνουν ένα μηνιαίο κόστος για τη χρήση του νερού και δεν υπάρχει κάποια οικονομική επιδότηση για την επαναχρησιμοποίηση του γκριζου νερού, τότε είναι λογικό να μην υπάρχει το κίνητρο αυτό. Επιπρόσθετα η χαμηλή τιμή του νερού από το δίκτυο δεν ωφελεί την εγκατάσταση της ανάκτησης του νερού, αφού αυτή αποσβένεται σε χρονικό διάστημα που φτάνει και τα 20 χρόνια. Η ανάγκη όμως για αειφόρο ανάπτυξη και η αύξηση του κόστους του νερού από τις εταιρείες παροχής με βάση την κρίση που πλήττει τον ανεπτυγμένο κόσμο, κάνει επιτακτική την επαναχρησιμοποίηση του γκριζου νερού είτε σε μικρή είτε σε μεγάλη κλίμακα.

Συντομογραφίες

- AWWA = American Water Works Association
- bCOD = biodegradable COD
- BNR = Biological Nutrient Removal
- BOD₅ = Biochemical Oxygen Demand
- CA = Cellulose Acetate
- COD = Chemical Oxygen Demand
- DO = Dissolved Oxygen
- EPA = Environmental Protection Agency
- F/M = Food per Microorganisms
- FBR = Fachvereinigung Betriebs und Regenwassernutzung = Association for Rainwater Harvesting and Water Utilization
- f_d = fraction of cell mass remaining
- k_d = endogenous decay coefficient
- MBR = Membrane Biological Reactor
- MF = Micro Filtration
- MLSS = Mixed Liquor Suspended Solids
- MLVSS = Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
- MPN = Most Probable Number
- N = Nitrogen
- NDMA = N-NitrosoDiMethylAmine
- NF = Nano Filtration
- NTU = Nephelometric Units
- P = Phosphorus

- PA = Polyamide
- PAC = Poly-Aluminum Chloride
- PAN = Poly Acrylo Nitrile
- PE = Population Equivalent
- PEI = Poly Ether Imide
- PES = Poly Ether Sulphone
- PP = Poly Propylene
- PSU = Poly Sulphone
- PTFE = Poly Tetra Fluoro Ethane
- PVC = Poly-Vinyl Chloride
- PVDF = Poly Vinyl Dene Fluoride
- RBC = Rotated Biological Contactors
- rbCOD = readily biodegradable COD
- RO = Reverse Osmosis
- SAR = Sodium Adsorption Ratio
- sBOD = soluble BOD
- SBR = Sequencing Batch Reactor
- sCOD = soluble COD
- SRT = Sludge Retention Time
- TDS = Total Dissolved Solids
- TFC = Thin Film Composite
- TN = Total Nitrogen
- TOC = Total Organic Carbon
- TP = Total Phosphorus
- TSS = Total Suspended Solids

- UF = Ultra Filtration
- UV = Ultra Violet
- VSS = Volatile Suspended Solids
- WHO = World Health Organization
- θ = temperature activity coefficient
- K_s = half-velocity constant
- μ_m = maximum specific growth rate
- Y = sludge production

Βιβλιογραφία

- [1] Metcalf & Eddy, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ, 4TH EDITION, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ 2003
- [2] Metcalf & Eddy, WATER REUSE, ISSUES, TECHNOLOGIES & APPLICATIONS, 2007
- [3] Shun Dar Lin, WATER AND WASTEWATER CALCULATIONS MANUAL, 2007
- [4] McCabe, Smith & Harriott, ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, 2008
- [5] World Health Organization, SAFE USE OF WASTEWATER, EXCRETA & GREYWATER, 2006
- [6] Association for Rainwater Harvesting and Water Utilization, GREYWATER RECYCLING PLANNING FUNDAMENTALS AND OPERATION INFORMATION, FBR 2005
- [7] Gideon Paul Winward, DISINFECTION OF GREYWATER, Cranfield University 2007
- [8] Lucy Allen et al. OVERVIEW OF GREYWATER REUSE: THE POTENTIAL OF GREYWATER SYSTEMS TO AID SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT, PACIFIC INSTITUTE 2010
- [9] World Health Organization, GUIDELINES OF DRINKING-WATER QUALITY, 4TH EDITION, 2011
- [10] Boris Lesjean & Regina Gnirss, GREY WATER TREATMENT WITH A MEMBRANE BIOREACTOR OPERATED AT LOW SRT AND LOW HRT, Elsevier - Desalination 199 (2006) 432–434
- [11] Yael Gilboa, Eran Friedler, UV DISINFECTION OF RBC-TREATED LIGHT GREYWATER EFFLUENT: KINETICS, SURVIVAL AND REGROWTH OF SELECTED MICROORGANISMS, Elsevier - Water Research 42 (2008) 1043-1050
- [12] Cornelia Merz, René Scheumann, Bouchaib El Hamouri & Matthias Kraume, MEMBRANE BIOREACTOR TECHNOLOGY FOR THE TREATMENT OF GREYWATER FROM A SPORTS AND LEISURE CLUB, Elsevier - Desalination (2007) 37–43
- [13] Amit Grossa, Drora Kaplana & Katherine Baker, REMOVAL OF CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CONTAMINANTS FROM DOMESTIC GREYWATER USING A RECYCLED VERTICAL FLOW BIOREACTOR (RVFB), Elsevier – Ecological Engineering 31 (2007) 107-114
- [14] M. Lamine, L. Bousselmi & A. Ghrabi, BIOLOGICAL TREATMENT OF GREY WATER USING SEQUENCING BATCH REACTOR, Elsevier - Desalination 215 (2007) 127–132

- [15] Marc Pidou et al. CHEMICAL SOLUTIONS FOR GREYWATER RECYCLING, Elsevier - Chemosphere 71 (2008) 147–155
- [16] Jakob Ottoson & Thor Axel Stenstrom, FAECAL CONTAMINATION OF GREYWATER AND ASSOCIATED MICROBIAL, Elsevier - Water Research 37 (2003) 645–655
- [17] Katell Chaillou et al. BATHROOM GREYWATER CHARACTERIZATION AND POTENTIAL TREATMENTS FOR REUSE, Springer - Water Air Soil Pollut (2011) 215:31–42
- [18] Sara Finley et al. REUSE OF DOMESTIC GREYWATER FOR THE IRRIGATION OF FOOD CROPS – Water Air Soil Pollut (2009) 199:235-245
- [19] Simon Judd & Bruce Jefferson, MEMBRANES FOR INDUSTRIAL WASTEWATER RECOVERY & REUSE, 2003
- [20] <http://www.greywater.com/>
- [21] <http://www.watersave.gr/site/content/view/14/29/>
- [22] http://www.eydap.gr/media/clientservice/timologio_2008.pdf
- [23] <http://www.biofilters.com/webfilt.htm>
- [24] <http://www.fao.org/DOCREP/003/V9922E/V9922E06.htm>
- [25] <http://www.gewater.com/products/>
- [26] <http://www.premiertechaqua.com/en/products/EcoprocessMBR.asp>

Παράρτημα Ι

- Κ.Υ.Α. ΔΥΓ2/38295/2007 της 26^{ης} Απριλίου 2007 για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς την οδηγία 1998/83/ΕΚ.

11566

ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ (ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

ΜΕΡΟΣ Α

Μικροβιολογικές παράμετροι

| Παράμετρος | Παραμετρική τιμή (αριθμός/100 ml) |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Escherichia coli (E. coli) | 0 |
| Εντερό | 0 |

Για το νερό που πωλείται σε φιάλες ή δοχεία, ισχύουν τα ακόλουθα:

| Παράμετρος | Παραμετρική τιμή |
|----------------------------|------------------|
| Escherichia coli (E. coli) | 0/250 ml |
| Εντερό | 0/250 ml |
| Pseudomonas aeruginosa | 0/250 ml |
| Αριθμός αποικιών σε 22 °C | 100/ml |
| Αριθμός αποικιών σε 37 °C | 20/ml |

ΜΕΡΟΣ Β

Χημικές παράμετροι

| Παράμετρος | Παραμετρική τιμή | Μονάδα | Σημειώσεις |
|---|------------------|--------|--|
| Ακρυλαμίδιο | 0,10 | μg/l | Σημείωση 1 |
| Αντιμόνιο | 5,0 | μg/l | |
| Αρσενικό | 10 | μg/l | |
| Βενζόλιο | 1,0 | μg/l | |
| Βενζο-α-πυρένιο | 0,010 | μg/l | |
| Βόριο | 1,0 | mg/l | |
| Βρωμικά | 10 | μg/l | Σημείωση 2 |
| Κάδμιο | 5,0 | μg/l | |
| Χρόμιο | 50 | μg/l | Σημείωση 3 |
| Χαλκός | 2,0 | mg/l | Σημείωση 3 |
| Κυανούρα | 50 | μg/l | |
| 1,2-διγλωρααιθέριο | 3,0 | μg/l | |
| Επιγλωραιδρίνη | 0,10 | μg/l | Σημείωση 1 |
| Φθοριούρα | 1,5 | mg/l | |
| Μόλυβδος | 10 | μg/l | Σημειώσεις 3 και 4 |
| Υδράργυρος | 1,0 | μg/l | |
| Νικέλιο | 20 | μg/l | Σημείωση 3 |
| Νιτρικά | 50 | mg/l | Σημείωση 5 |
| Νιτρώδη | 0,50 | mg/l | Σημείωση 5 |
| Παρασιτοκτόνα | 0,10 | μg/l | Σημειώσεις 6 και 7 |
| Σύνολο παρασιτοκτόνων | 0,50 | μg/l | Σημειώσεις 6 και 8 |
| Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες | 0,10 | μg/l | Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ενώσεων σημείωση 9 |
| Σελήνιο | 10 | μg/l | |
| Τετραγλωρααιθέριο και Τριγλωρααιθέριο | 10 | μg/l | Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων παραμέτρων |
| Ολικά τριαλογονομεθάνια | 100 | μg/l | Άθροισμα συγκεντρώσεων συγκεκριμένων ενώσεων σημείωση 10 |
| Βινυλοχλωρίδιο | 0,50 | μg/l | Σημείωση 1 |

Μέρος Γ
Ενδεικτικές παράμετροι

| Παράμετρος | Παραμετρική τιμή | Μονάδα | Σημειώσεις |
|--|--|--------------------------------|--------------------|
| Αργόλιο | 200 | μg/l | |
| Αμμώνιο | 0,50 | mg/l | |
| Χλωριούχα | 250 | mg/l | Σημείωση 1 |
| <i>Clostridium perfringens</i> (συμπεριλαμβανομένων των σπόρων) | 0 | Αριθμός / 100 ml | Σημείωση 2 |
| Χρώμα | Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής | | |
| Αγωγιμότητα | 2500 | μS cm ⁻¹ στους 20°C | Σημείωση 1 |
| Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου | ≥ 6,3 και ≤ 9,5 | Μονάδες pH | Σημειώσεις 1 και 3 |
| Σίδηρος | 200 | μg/l | |
| Μαγγάνιο | 50 | μg/l | |
| Οσμή | Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής | | |
| Οξειδωσιμότητα | 5,0 | mg/l O ₂ | Σημείωση 4 |
| Θειικά | 250 | mg/l | Σημείωση 1 |
| Νάτριο | 200 | mg/l | |
| Γεύση | Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής | | |
| Αριθμός αποικιών σε 22 °C και 37 °C | Άνευ ασυνήθους μεταβολής | | |
| Κολοβακτηριαειδή | 0 | Αριθμός / 100 ml | Σημείωση 5 |
| Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) | Άνευ ασυνήθους μεταβολής | | Σημείωση 6 |
| Υπολειμματικό γλάριο | | mg/l | Σημείωση 11 |
| Θολότητα | Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής | | Σημείωση 7 |

Παράρτημα II

- Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater Volume 4, WHO 2006

| Location | Greywater production (litres per person per day) | Reference |
|--|---|---|
| China, ecological sanitation project | 80 | EcoSanRes (2005b) |
| Belgium | 85 | Bertagial et al. (2005) |
| Germany | 35–65 | Panesar & Lange (2001) |
| Germany, Eco-village Flintenbreite | 60 | Ridderstolpe (2004) |
| Germany, Norway and Sweden, new built house area, water conservation | <100 | Ridderstolpe (2004); Winblad & Simpson-Hébert (2004) |
| Norway, ecovillage | 81 | Kristiansen & Skaarer (1979) |
| Norway, student dormitories, water conservation | 112 | Jenssen (2001) |
| Sweden, range for ecovillages | 66–110 | Vinnerås et al. (2006) |
| Sweden, proposed norm | 100 | Vinnerås et al. (2006) |
| Sweden, existing norm | 150 | Vinnerås et al. (2006) |
| Europe, northern part | 110 | Lens, Zeeman & Lettinga (2001) |
| Australia, western part | 112 | Department of Health (2002) |
| USA | 200 | Crites & Tchobanoglous (1998); Bertagial et al. (2005) |
| Developing regions | 20–30 | Ridderstolpe (2004); Winblad & Simpson-Hébert (2004) |
| Range | 70–275 | Otterpohl (2002) |

Table 1.6 Concentrations of some water quality parameters found in untreated or primary treated (septic tank effluent) greywater

| Country/reference | Parameters | | | | | | | |
|--|----------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|
| | BOD ₅ (mg/l) | COD (mg/l) | Suspended solids (mg/l) | Total N (mg/l) | NH ₄ (mg/l) | Kjeldahl N (mg/l) | Total P (mg/l) | Faecal coliforms (log numbers/ 100 ml) |
| Canada / Brandes (1978) | 149 | 366 | 162 | 11.5 | 1.7 | 11.3 | 1.4 ^a | 6.2 |
| Norway / Kristiansen & Skaarer (1979) | 130 | 341 | 35 | 19 | 11.5 | | 1.3 (0.42 ^b) | 5.1 |
| USA ^c / Siegrist & Boyle (1981) | 178 | 456 | 45 | | | 15.9 | 4.4 | 6.2 |
| Sweden norm / Naturvårds- verket (1995) | 187 | | 107 | 6.7 | | | 4 (1.0 ^b) | |
| Norway ^c / Rasmussen, Jenssen & Westlie (1996) | 116 | | 39 | 42.2 | 36.1 | | 3.97 | |
| Australia / Department of Health (2002) | 160 | | 115 | | 5.3 | 12 | 8 | 5.2 |
| Norway ^c / Jenssen (2001) | 88 | 277 | – | 8.8 | 3.8 | 4.9 | 1.0 ^b | 4–6 |
| Sweden proposed norm / Vinnerås et al. (2006) | 260 ^c | 520 | | 13.6 | | | 5.2 | |
| Germany / Li et al. (2004) | 73– 142 | | | 8.7– 13.1 | 2.5 | | 6.8– 9.2 | 4–6 |
| Malaysia ^d / Jenssen et al. (2005) | 128 | 212 | 75 | 37 | 12.6 | 22.2 | 2.4 | 5.8 |

BOD₅, five-day biological oxygen demand

^a Excluding laundry.

^b Phosphorus-free detergents.

^c BOD₇, seven-day biological oxygen demand, for the Swedish proposed norm.

^d Septic tank effluent.

Table 3.4 Reported numbers of indicator bacteria in greywater

| Excreta and greywater origin | Numbers of indicator bacteria (log numbers/100 ml) | | | | Reference |
|------------------------------|--|--------------------------|----------------|-------------|---|
| | Total coliforms | Thermotolerant coliforms | <i>E. coli</i> | Enterococci | |
| Bath, hand basin | | | 4.4 | 1.0–5.4 | Albrechtsen (1998) |
| Laundry | 3.4–5.5 | 2.0–3.0 | | 1.4–3.4 | Christova-Boal, Eden & McFarlane (1996) |
| Shower, hand basin | 2.7–7.4 | 2.2–3.5 | | 1.9–3.4 | Christova-Boal, Eden & McFarlane (1996) |
| Greywater | 7.9 | 5.8 | | 2.4 | Casanova, Gerba & Karpiscak (2001) |
| Shower, bath | 1.8–3.9 | 0–3.7 | | 0–4.8 | Feachem et al. (1983) |
| Laundry, wash | 1.9–5.9 | 1.0–4.2 | | 1.5–3.9 | Feachem et al. (1983) |
| Laundry, rinse | 2.3–5.2 | 0–5.4 | | 0–6.1 | Feachem et al. (1983) |
| Greywater | 7.2–8.8 | | | | Gerba et al. (1995) |
| Hand basin, kitchen sink | | 5.0 | | 4.6 | Gunther (2000) |
| Greywater, 79% shower | 7.4 | 4.3–6.9 | | | Rose et al. (1991) |
| Kitchen sink | | 7.6 | 7.4 | 7.7 | Naturvårdsverket (1995) |
| Greywater | | 5.8 | 5.4 | 4.6 | Naturvårdsverket (1995) |

Source: Ottosson (2003).

Παράρτημα III

- Guidelines for drinking-water quality 4th Edition, WHO 2011

| Chemical | Guideline value | | Remarks |
|--|-------------------------|-----------------------|--|
| | mg/l | µg/l | |
| Acrylamide | 0.000 5 ^a | 0.5 ^a | |
| Alachlor | 0.02 ^a | 20 ^a | |
| Aldicarb | 0.01 | 10 | Applies to aldicarb sulfoxide and aldicarb sulfone |
| Aldrin and dieldrin | 0.000 03 | 0.03 | For combined aldrin plus dieldrin |
| Antimony | 0.02 | 20 | |
| Arsenic | 0.01 (A,T) | 10 (A,T) | |
| Atrazine and its chloro-s-triazine metabolites | 0.1 | 100 | |
| Barium | 0.7 | 700 | |
| Benzene | 0.01 ^a | 10 ^a | |
| Benzo[<i>a</i>]pyrene | 0.000 7 ^a | 0.7 ^a | |
| Boron | 2.4 | 2 400 | |
| Bromate | 0.01 ^a (A,T) | 10 ^a (A,T) | |
| Bromodichloromethane | 0.06 ^a | 60 ^a | |
| Bromoform | 0.1 | 100 | |
| Cadmium | 0.003 | 3 | |
| Carbofuran | 0.007 | 7 | |
| Carbon tetrachloride | 0.004 | 4 | |

Table A3.3 (continued)

| Chemical | Guideline value | | Remarks |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------|---|
| | mg/l | µg/l | |
| Chlorate | 0.7 (D) | 700 (D) | |
| Chlordane | 0.000 2 | 0.2 | |
| Chlorine | 5 (C) | 5 000 (C) | For effective disinfection, there should be a residual concentration of free chlorine of ≥ 0.5 mg/l after at least 30 min contact time at pH < 8.0. A chlorine residual should be maintained throughout the distribution system. At the point of delivery, the minimum residual concentration of free chlorine should be 0.2 mg/l. |
| Chlorite | 0.7 (D) | 700 (D) | |
| Chloroform | 0.3 | 300 | |
| Chlorotoluron | 0.03 | 30 | |
| Chlorpyrifos | 0.03 | 30 | |
| Chromium | 0.05 (P) | 50 (P) | For total chromium |
| Copper | 2 | 2 000 | Staining of laundry and sanitary ware may occur below guideline value |
| Cyanazine | 0.000 6 | 0.6 | |
| 2,4-D ^a | 0.03 | 30 | Applies to free acid |
| 2,4-DB ^a | 0.09 | 90 | |
| DDT ^a and metabolites | 0.001 | 1 | |
| Dibromoacetonitrile | 0.07 | 70 | |
| Dibromochloromethane | 0.1 | 100 | |
| 1,2-Dibromo-3-chloropropane | 0.001 ^a | 1 ^a | |
| 1,2-Dibromoethane | 0.000 4 ^a (P) | 0.4 ^a (P) | |
| Dichloroacetate | 0.05 ^a (D) | 50 ^a (D) | |
| Dichloroacetonitrile | 0.02 (P) | 20 (P) | |
| 1,2-Dichlorobenzene | 1 (C) | 1 000 (C) | |
| 1,4-Dichlorobenzene | 0.3 (C) | 300 (C) | |
| 1,2-Dichloroethane | 0.03 ^a | 30 ^a | |
| 1,2-Dichloroethene | 0.05 | 50 | |
| Dichloromethane | 0.02 | 20 | |
| 1,2-Dichloropropane | 0.04 (P) | 40 (P) | |

| Chemical | Guideline value | | Remarks |
|--|-----------------|----------|---|
| | mg/l | µg/l | |
| Edetic acid | 0.6 | 600 | Applies to the free acid |
| Endrin | 0.000 6 | 0.6 | |
| Epichlorohydrin | 0.000 4 (P) | 0.4 (P) | |
| Ethylbenzene | 0.3 (C) | 300 (C) | |
| Fenoprop | 0.009 | 9 | |
| Fluoride | 1.5 | 1 500 | Volume of water consumed and intake from other sources should be considered when setting national standards |
| Hexachlorobutadiene | 0.000 6 | 0.6 | |
| Hydroxyatrazine | 0.2 | 200 | Atrazine metabolite |
| Isoproturon | 0.009 | 9 | |
| Lead | 0.01 (A,T) | 10 (A,T) | |
| Lindane | 0.002 | 2 | |
| MCPA* | 0.002 | 2 | |
| Mecoprop | 0.01 | 10 | |
| Mercury | 0.006 | 6 | For inorganic mercury |
| Methoxychlor | 0.02 | 20 | |
| Metolachlor | 0.01 | 10 | |
| Microcystin-LR | 0.001 (P) | 1 (P) | For total microcystin-LR (free plus cell-bound) |
| Mollinate | 0.006 | 6 | |
| Monochloramine | 3 | 3 000 | |
| Monochloroacetate | 0.02 | 20 | |
| Nickel | 0.07 | 70 | |
| Nitrate (as NO ₃ ⁻) | 50 | 50 000 | Short-term exposure |
| Nitrioltriacetic acid | 0.2 | 200 | |
| Nitrite (as NO ₂ ⁻) | 3 | 3 000 | Short-term exposure |
| N-Nitrosodimethylamine | 0.000 1 | 0.1 | |
| Pendimethalin | 0.02 | 20 | |
| Pentachlorophenol | 0.009* (P) | 9* (P) | |
| Selenium | 0.04 (P) | 40 (P) | |
| Simazine | 0.002 | 2 | |
| Sodium | 50 | 50 000 | As sodium dichloroisocyanurate |

Παράρτημα IV

- Disinfection of greywater, G.P. Winward, Cranfield University 2007

Table 2.1. *Water quality of urban waters.*

| Water quality parameter | Grey water (light) | Grey water (dark) | Rain water | Black water | Untreated wastewater | Treated wastewater |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|------------|-------------|----------------------|--------------------|
| BOD (mg.L ⁻¹) | 59 - 424 | 48 - 890 | 1.4 - 3.7 | - | 110 - 350 | 10 - 30 |
| COD (mg.L ⁻¹) | 100 - 645 | 361 - 1815 | - | 1094 | 250 - 800 | - |
| TOC (mg.L ⁻¹) | 40 - 120 | 84 - 582 | - | - | - | - |
| TSS (mg.L ⁻¹) | 30 - 303 | 35 - 625 | 1 - 153 | 548 | 120 - 400 | <1 - 30 |
| Ammonia (mg.L ⁻¹) | <0.1 - 15.0 | <0.1 - 4.6 | 0.01 - 0.1 | 23 | 12 - 25 | - |
| Turbidity (NTU) | 23 - 240 | 103 - 148 | 0.6 - 56 | - | - | 1 - 30 |
| pH | 6.4 - 8.1 | 5.2 - 10.0 | 6.4 - 8.3 | - | - | - |

References:

Grey water: Christova-Boal et al. (1996); Fittschen and Niemczynowicz (1997); Surendran and Wheatley (1998); Almeida et al. (1999); Nolde (1999); Casanova et al. (2001b); Jefferson et al. (2004); Ramon et al. (2004); Dallas and Ho (2005); Friedler (2004); Friedler et al. (2006); Grant et al. (2006); Merz et al. (2007).
Rain water: Yaziz et al. (1989); Simmons et al. (2001); Adeniyi and Olabanji (2005); May and Prado (2006); Sazakli et al. (2007).
Black water: Almeida et al. (1999).
Municipal wastewater: Tchobanoglous et al. (2003)
Treated wastewater: Asano (1998).

Table 2.2. Indicator bacteria in different grey water streams.

| Grey water source | Total coliforms (\log_{10} -100mL ⁻¹) | Faecal coliforms / Thermostable coliforms (\log_{10} -100mL ⁻¹) | Escherichia coli (\log_{10} -100mL ⁻¹) | Enterococci / Faecal Streptococci (\log_{10} -100mL ⁻¹) | Heterotrophic bacteria (\log_{10} -mL ⁻¹) | References |
|---|--|--|---|--|--|--|
| Wash Basin (WB) | 4.7 – 5.8 | 1.5 – 3.5 | 3.8 | >2.3 | >5.5 | Surendran and Wheatley (1998); Birks <i>et al.</i> (2004); Friedler (2004) |
| Shower (SH) | 3.0 – 5.0 | 1.0 – 6.6 | 2.8 – 3.2 | 1.5 – 3.3 | 5.0 – 8.4 | Rose <i>et al.</i> (1991); Nolde (1999); Friedler (2004); Jefferson <i>et al.</i> (2004) |
| Bath (BA) | 1.7 – 4.4 | 6.6 | 1.9 – 4.3 | 1.0 – 1.6 | ND | Dixon <i>et al.</i> (1999); Friedler (2004); Jefferson <i>et al.</i> (2004) |
| Light grey water - Mixed (WB, SH, or BA) | 2.7 – 7.4 | 1.0 – 5.7 | 0.5 – 4.4 | 1.9 – 3.4 | 5.0 – 7.4 | Christova-Boal <i>et al.</i> (1996); Surendran and Wheatley (1998); Nolde (1999); Casanova <i>et al.</i> (2001a); Eriksson <i>et al.</i> (2003); Jefferson <i>et al.</i> (2004); Friedler <i>et al.</i> (2005, 2006); Grant <i>et al.</i> (2006) |
| Laundry (LA) | 1.7 – 5.8 | 1.4 – 6.6 | ND | 1.4 – 3.4 | 7.6 – 8.3 | Rose <i>et al.</i> (1991); Christova-Boal <i>et al.</i> (1996); Surendran and Wheatley (1998); Dixon <i>et al.</i> (1999); Friedler (2004) |
| Kitchen sink (KS) | ND | 6.1 | ND | ND | ND | Friedler (2004) |
| Dishwasher (DW) | ND | 4.8 | ND | ND | ND | Friedler (2004) |
| Dark grey water - Mixed (WB, SH, BA, LA, KS, or DW) | 7.2 – 8.8 | 4.9 – 7.9 | 2.0 – 6.0 | 2.4 – 4.6 | ND | Gerba <i>et al.</i> (1995); Fimschen and Niemczynowicz (1997); Günther (2000); Casanova <i>et al.</i> (2001a, 2001b); Ottoson and Stenström (2003a); Dallas and Ho (2005); Gross <i>et al.</i> (2005) |

Key: Greywater sources: BA=Bath, DW=Dishwasher, KS=Kitchen sink, LA=Laundry washing, SH=Shower, WB=Wash basin
 ND = no data

Table 2.4. Overview of disinfection processes.

| Disinfection process | Chemical | | | Physical - Energy | | Physical - Filtration | |
|---|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| | Chlorine | Ozone | Essential oils | UV | Ultrasound | Media | Membrane |
| Units | mg.min.L ⁻¹ | mg.min.L ⁻¹ | μL.L ⁻¹ | mJ.cm ⁻² | J.L ⁻¹ | n/a | n/a |
| Target for microbial inactivation | Bacterial membrane, viral capsid | Bacterial membrane, DNA, viral capsid | Bacterial membrane | DNA | Bacterial membrane, DNA | Whole microorganism | Whole microorganism |
| Organic sensitivity | Yes | Yes | Yes | Yes | No | Yes | No |
| Particle sensitivity | Yes | Yes | Unknown | Yes | No | No | No |
| Residual disinfection | Yes | No | Yes | No | No | No | No |
| Typical disinfectant dose for 2-log inactivation of: | Bacteria | 0.4 - 0.6 | 3 - 4 | . | 30 - 60 | . | . |
| | Protozoa | 60 - 70 | 0.9 - 1.2 | . | 10 - 20 | . | . |
| | Viruses | 1 - 4 | 0.4 - 0.6 | . | 30 - 40 | . | . |
| Typical total coliform log removal for secondary wastewater effluent | . | . | . | . | . | 0 - 1 | 2 - >4 |
| Typical initial dosage for secondary activated sludge effluent to achieve total coliform (100mL ⁻¹) levels: | 1000 | 60 - 300 | 60 - 120 | . | 40 - 50 | . | . |
| | 200 | 150 - 450 | 60 - 150 | . | 50 - 70 | . | . |
| | 23 | 300 - 900 | 240 - 450 | . | 70 - 90 | . | . |
| | ≤2.2 | . | 450 - 600 | . | 90 - 110 | . | . |
| Typical initial concentration for potable water disinfection | 1 - 6 mg.L ⁻¹ | 1 - 5 mg.L ⁻¹ | . | 20 - 100 | . | . | . |

Adapted from Tchobanoglous et al. (2003); Crittenden et al. (2005); Asano et al. (2007).