

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ
ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ Δ.ΧΑΝΙΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

ΣΑΜΙΩΤΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Γκίκας Πέτρος



Χανιά Απρίλιος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή της μεταπτυχιακής μου διατριβής κ. Πέτρο Γκίκα, για την καθοδήγηση του καθώς και την υπομονή του, για την δημιουργία και ολοκλήρωση της διατριβής αυτής. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καλό μου φίλο, συνάδελφο και υποψήφιο διδάκτορα Ιωάννη Παλόγο για τις συμβουλές του και την πολύτιμη βοήθεια του για την εκπόνηση της διατριβής αυτής.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς μου, που με τη συμπαράσταση και την υποστήριξή τους, μου διαμορφώνουν το ασφαλές περιβάλλον μέσα στο οποίο μπορώ να εργαστώ και διευρύνω τις γνώσεις μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
2. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ:ΕΞΕΛΙΞΗ-ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ-ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ	6
2.1 Διεθνείς κανονισμοί για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων	8
2.1.1 Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.).....	8
2.1.2 Οι Οδηγίες του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών.....	13
2.1.3 Κανονισμοί της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA)	15
2.2 Ευρωπαϊκές Οδηγίες και οδηγίες χωρών της αλλοδαπής	18
2.3. Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο	22
3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ.....	27
3.1 Συστήματα κροκίδωσης	27
3.2 Συστήματα Διήθησης	28
3.2.1 Δύλιση (αμμοδυλιστήρια).....	29
3.2.2 Επιφανειακή διήθηση.....	29
3.2.3 Συστήματα μεμβρανών	30
3.2.3.1 Κατηγορίες Μεμβρανών	31
3.2.3.2 Υλικά Μεμβρανών	34
3.2.3.3 Διάταξη Μεμβρανών	34
3.2.3.4 Φράξιμο Μεμβρανών	36
3.2.3.5 Εφαρμογές Μεμβρανών	37
3.2.4 Συστήματα MBR.....	38
3.2.5 Υφασμάτινοι Ηθμοί	43
3.3 Συστήματα απολύμανσης	46
3.3.1 Χλωρίωση	47
3.3.2 Οζονισμός	47
3.3.3 Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)	49
4. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ	52
4.1 Εισαγωγή	52
4.2 Κλιματικές συνθήκες	53

4.3 Χρήσεις νερού και υδατικό ισοζύγιο	54
4.4 Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων	55
4.4.1 Φράγματα-λιμνοδεξαμενές-ταμιευτήρες	55
4.4.2 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων	57
4.5 Ε.Ε.Λ. Χανίων και δυνατότητες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης	62
4.6 Προτεινόμενη περιοχή άρδευσης	65
5.ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΔΕΥΑ ΧΑΝΙΩΝ.....	67
5.1 Υφιστάμενη τριτοβάθμια επεξεργασία της ΕΕΛ των Χανίων	67
5.2 Διαγράμματα ροής των εναλλακτικών λύσεων	68
5.3 Προσδιορισμός της απαιτούμενης δόσης ακτινοβολίας.....	69
5.4 Προτεινόμενες τεχνολογίες.....	72
5.4.1 Υφασμάτινοι Ηθμοί	72
5.4.2 Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών MBR	73
5.4.3 Υπερδιήθηση UF	73
5.5 Εκτίμηση κόστους	74
5.6 Σκεπτικό επιλογής συστήματος ανάκτησης νερού	76
6.ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ	77
7. ΑΠΟΔΟΧΗ ΑΠΟ ΤΟ ΚΟΙΝΟ	80
7.1 Παράγοντες αποδοχής από την τοπική κοινωνία	80
7.2 Στρατηγικές υλοποίησης νέων έργων ανάκτησης νερού	82
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	84

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διατριβή γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης των δυνατοτήτων ανάκτησης νερού από αστικά υγρά απόβλητα με σκοπό την και επαναχρησιμοποίηση, στο Δ. Χανίων. Παρουσιάζονται οι σύγχρονες τάσεις που υπάρχουν στην επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, οι διεθνείς και εγχώριες πρακτικές καθώς και η νομοθεσία που υπάρχει τόσο από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, όσο και από την Ελλάδα, την Ευρωπαϊκή Ένωση, τις Ηνωμένες πολιτείες, και άλλες χώρες του εξωτερικού, καθώς και παραδείγματα επαναχρησιμοποίησης από μονάδες επεξεργασίας αυτών των χωρών. Παρουσιάζονται διάφορα συστήματα ανάκτησης που χρησιμοποιούνται στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και γίνεται σύντομη ανάλυσή τους.

Στη συνέχεια αφού γίνει εκτενής αναφορά στη διαχείριση του υδατικού ισοζυγίου της Κρήτη, με αναφορά όλων των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και των τεχνικών έργων που αξιοποιούν τους υδατικούς πόρους του νησιού, (φράγματα, λιμνοδεξαμενές), καθώς επίσης και τις περιοχές που θα μπορούσαν να αρδευτούν από τα ανακτώμενα ύδατα, εκμεταλλευόμενοι το πολύ καλό δίκτυο άρδευσης και τις δεξαμενές άρδευσης του Ο.Α.Δ.Υ.Κ., παρουσιάζονται οι 3 προτεινόμενες λύσεις τριτοβάθμιας επεξεργασίας, i.συνδυασμός μεμβρανών υπέρ-διήθησης (Ultra-Filtration, UF) και απολύμανσης με χρήση ακτινοβολίας UV και χλωρίωση, ii.συνδυασμός βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) και απολύμανσης με χρήση ακτινοβολίας UV και χλωρίωση, iii.συνδυασμός υφασμάτων ηθμών (cloth media filters) και απολύμανσης με χρήση ακτινοβολίας UV και χλωρίωση, και επιλέγεται η ενδεδειγμένη πρόταση μεθόδου για την ανάκτηση λυμάτων από την Ε.Ε.Λ. Χανίων, με το κόστος λειτουργίας και εξοπλισμού αναφερόμενο κατά προσέγγιση μετά από προσφορές που πάρθηκαν σε επικοινωνία με εταιρείες τεχνολογιών επαναχρησιμοποίησης.

Γίνεται αναφορά στα τεχνικά έργα πολιτικού και μηχανολόγου μηχανικού που θα απαιτηθούν για την επίτευξη της ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης και τέλος παρουσιάζονται παράγοντες που επηρεάζουν τις απόψεις του κοινού και τρόπους αποδοχής των μεθόδων αυτών και παρουσιάζονται και στρατηγικές υλοποίησης νέων έργων ανάκτησης νερού που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν και να βοηθήσουν το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής.

Abstract

The potential for water reclamation and reuse at the municipality of Chania are presented in this dissertation. Modern influences that currently apply in the re-use of wastewater, Greek and international methods and practices, alongside the relevant legislation that is currently applied by the World's Health Organization and by the Greek state, EU, USA, and other nations around the world are presented, analysed and discussed. Various methods for wastewater re-possession that are currently applied by relevant processing units have also been briefly analysed and presented in the following pages.

Furthermore, the recommended method for wastewater re-possession for EEL Chania is presented with operational and equipment costs calculated with the use of an experimental approximation method. This has been achieved by carrying out detailed analysis of the current water balance management process in Crete with respect to the existing facilities and current projects that make use of the island's water resources (dams, water tanks), as well as the specific regions, which could benefit from the re-possessed and processed wastewater, taking advantage of the particularly good existing irrigation system and the water tanks owned by the OADYK (Development Organisation of Western Crete).

Additionally, the required input from the civil and mechanical engineering disciplines for both processes (re-possession and re-use) is outlined. Finally, the factors that influence people's minds and methods of accepting the aforementioned methods are discussed, as well as implementation techniques for new water re-possession projects that could be launched to improve the water balance in the region.

2. ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ: ΕΞΕΛΙΞΗ - ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ- ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ - ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΟΔΗΓΙΕΣ

Όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο αντιλαμβάνονται ότι προσεγγίζουν τα όρια των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού τους, κάνοντας την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων να μοιάζει ως μία ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή για την διατήρηση αλλά και την επέκταση των υπαρχόντων πηγών νερού.

Η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση του νερού αποτελούν σημαντικές δράσεις ενίσχυσης του υδατικού ισοζυγίου, συμβάλλοντας στην αειφορική διαχείριση των υδατικών πόρων. Σήμερα οι προχωρημένες τεχνικές επεξεργασίας λυμάτων και καθαρισμού νερού παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής νερού οποιασδήποτε επιθυμητής ποιότητας. Το σκεπτικό της χρησιμοποίησης ανακτώμενων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει πλεονεκτήματα και οφέλη τόσο στην διατήρηση υψηλής ποιότητας υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος, όσο και σε οικονομικά μεγέθη.

Ωστόσο, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό. Πρέπει να δίνετε προσοχή σε τομείς όπως η ορθολογική διαχείριση των οικονομικών του νερού, η δημόσια υγεία, τα περιβαλλοντικά και οικολογικά θέματα, τα κοινωνικά- πολιτιστικά θέματα, η αποθήκευση του νερού, η συνδυασμένη διαχείριση επιφανειακών και υπογείων υδάτων, η διαμάχη μεταξύ καθημερινής πρακτικής και τελικών αποφάσεων, η ευελιξία στην επιτυχή αντιμετώπιση κλιματικών αλλαγών, η περιφερειακή αντί της τοπικής αντιμετώπισης των προβλημάτων, η κοινή γνώμη και η αειφορία. (Πασχαλινός, 2009)

Άρα, οποιαδήποτε σύγχρονη μελέτη συνολικής διαχείρισης των υδατικών πόρων μιας περιοχής, δεν είναι πλέον δυνατό να μην περιλαμβάνει και την αξιοποίηση των υγρών αποβλήτων. Για τη σωστή αξιοποίηση των αποβλήτων και την αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην υγεία των κατοίκων της περιοχής επιβάλλεται η τήρηση αυστηρών κριτηρίων ποιότητας. (Gikas & Tchobanoglous, 2008).

Η υπέρμετρη ανάγκη για κατανάλωση νερού καθιστά επιτακτική και την προστασία του. Είναι απαραίτητο για το νερό να υφίσταται κάθε είδους επεξεργασία είτε για να παραχθεί νερό για γενική χρήση ή για ειδικές βιομηχανικές εφαρμογές ή για να περιοριστεί η ρύπανση του περιβάλλοντος από τη συνεχή και αλόγιστη απόρριψη λυμάτων. Από την άλλη πλευρά, η σημαντική αύξηση του πληθυσμού και η

υπέρμετρη αύξηση των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, αλλά και η εντατική και αλόγιστη γεωργική καλλιέργεια, έχουν προκαλέσει γεγονότα ρύπανσης σε μεγάλο μέρος των υδατικών αποδεκτών και των ταμιευτήρων.

Η δραματική εξέλιξη του προβλήματος με το πέρασμα του χρόνου ήταν εκείνη που δημιούργησε την ανάγκη λήψης αποτελεσματικών μέτρων. Το σημαντικό πλεονέκτημα της εποχής μας είναι πως υπάρχει η απαραίτητη τεχνογνωσία και τεχνολογία για την πλήρη επεξεργασία σχεδόν κάθε μορφής υγρού αποβλήτου και μάλιστα εξελίσσονται συνεχώς. Όμως, το υψηλό κόστος αυτής της τεχνολογίας εμποδίζει την πλήρη και καθολική επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με αποτέλεσμα το επίπεδο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μιας χώρας, αλλά και κάθε μορφής αποβλήτων της γενικότερα, είναι ανάλογο με το επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης της χώρας αυτής. Πέραν του πολύ μεγάλου κόστους για την κατασκευή και εγκατάσταση των συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, ιδιαίτερα σημαντικό και ίσως σημαντικότερο είναι το κόστος λειτουργίας τους. Αυτό συμβαίνει επειδή απαιτούνται ιδιαίτερα μεγάλα ποσά για την ενέργεια που καταναλώνεται, για τα χημικά που προστίθενται, αλλά και για το εξειδικευμένο προσωπικό που είναι απαραίτητο για τη σωστή λειτουργία αυτών των συστημάτων. Καθώς οι περιβαλλοντικές πιέσεις αυξάνονται όσον αφορά τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων και παράλληλα, πολλές κοινότητες σε όλο τον κόσμο προσεγγίζουν ή φθάνουν τα όρια των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού τους, η επαναχρησιμοποίηση του νερού των επεξεργασμένων λυμάτων εμφανίζεται ως μια ελκυστική επιλογή για τη διατήρηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Το σκεπτικό της επαναχρησιμοποίησης κατάλληλα επεξεργασμένων αστικών ή βιομηχανικών λυμάτων παρουσιάζει πολλαπλά οφέλη, που σχετίζονται με την εξοικονόμηση υδατικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς επίσης και οικονομικά οφέλη. Ωστόσο, η επαναχρησιμοποίηση νερού από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα απαιτεί έναν ολοκληρωμένο και ορθολογικό σχεδιασμό, που λαμβάνει υπόψη τους ενδεχόμενους κινδύνους και περιορισμούς.

2.1 Διεθνείς κανονισμοί για την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων

Η θέσπιση και η ανάπτυξη κανονισμών και/ή οδηγιών που να διέπουν την επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων κρίνεται απαραίτητη για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας καθώς και για την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του ίδιου του προγράμματος επαναχρησιμοποίησης τους.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου έχει σημειωθεί, τα τελευταία χρόνια, μεγάλος αριθμός από έρευνες πιλοτικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, ώστε να καθορισθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και η βελτιστοποίηση των τεχνικών που μπορούν να εφαρμοσθούν. Ταυτόχρονα γίνεται η προσπάθεια, μέσα από τη διεξαγωγή επιδημιολογικών μελετών, καθορισμού των επιπτώσεων της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων στη δημόσια υγεία.

Κύριος στόχος όλων αυτών των ερευνών είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης τεχνικής καθώς και των κατάλληλων ποιοτικών χαρακτηριστικών ώστε επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων να γίνεται, παράλληλα, με το μικρότερο δυνατό κόστος. Σε κάθε περίπτωση προκύπτει η ανάγκη προσαρμογής των κανονισμών με την πραγματικότητα. Δηλαδή θα πρέπει να λάβουμε υπόψη παράγοντες όπως οι κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα των πόρων, το κλίμα, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, το είδος των καλλιεργειών κ.α.

Η κοινή βάση όλων των κανονισμών που διέπουν τα νομικά πλαίσια των περισσότερων χωρών, στηρίζεται κυρίως στις παρακάτω οδηγίες:

1. Οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO).
2. Οδηγίες του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO) για την ποιότητα του νερού άρδευσης.
3. Κανονισμοί της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA)
4. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/271

2.1.1 Οδηγία του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.)

Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 σε ορισμένες περιοχές της Νότιας Αμερικής παρατηρήθηκε αυξημένος αριθμός ασθενειών μεταδιδόμενων με το νερό. Στις περιοχές αυτές η χρήση αστικών αποβλήτων στην παρασκευή τροφίμων ήταν ευρέως διαδεδομένη. Έπειτα από αυτό ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) εξέδωσε

τέσσερις βασικές κατηγορίες μέτρων για τη μείωση ή την εξάλειψη των κινδύνων μετάδοσης ασθενειών κατά την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων:

- Επεξεργασία των λυμάτων
- Περιορισμός των τύπων των αρδευόμενων καλλιεργειών
- Επιλογή μεθόδου άρδευσης
- Έλεγχος της ανθρώπινης έκθεσης στους παθογόνους οργανισμούς των λυμάτων, του εδάφους ή των αγροτικών προϊόντων.

Για την ικανοποίηση των πιο πάνω μέτρων ο Π.Ο.Υ. κατέληξε στα εξής:

α) Η άρδευση με ακατέργαστα λύματα και χωρίς λήψη προληπτικών μέτρων εγκυμονεί υψηλό κίνδυνο μετάδοσης ασθενειών.

β) Η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας των λυμάτων ή η λήψη μέτρων για την αποφυγή ανθρώπινης επαφής με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μειώνει τον κίνδυνο ο οποίος όμως, αν και χαμηλός, εξακολουθεί να υφίσταται.

γ) Αποτελεσματικό μέτρο, τουλάχιστον για τους καταναλωτές, αποτελεί η εφαρμογή της άρδευσης σε περιορισμένους τύπους καλλιεργειών και κυρίως σε καλλιέργειες που δεν παράγουν προϊόντα που τρώγονται ωμά (περιορισμένη άρδευση).

δ) Αποτελεσματικό μέτρο είναι η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εφαρμογής των λυμάτων και συγκεκριμένα η εφαρμογή τους στο υπέδαφος.

ε) Η πλήρης επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί το αποτελεσματικότερο εργαλείο για την πρόληψη μετάδοσης ασθενειών, χωρίς στην περίπτωση αυτήν να είναι αναγκαίος ο περιορισμός των καλλιεργειών (απεριόριστη άρδευση).

Στην περίπτωση περιορισμένης άρδευσης, η οποία αφορά καλλιέργειες προϊόντων που δεν καταναλώνονται ωμά, δεν τίθενται μικροβιολογικά κριτήρια. Συνιστάται όμως η εφαρμογή μερικής επεξεργασίας η οποία μπορεί να αποτελείται από πρωτοβάθμια επεξεργασία ή από επεξεργασία σε λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής 8-10 ημέρες (Πίνακας 1). Επισημαίνεται επίσης η αποφυγή άμεσης επαφής των καρπών με τους παθογόνους μικροοργανισμούς μέσω επιλογής κατάλληλης μεθόδου άρδευσης (επιφανειακή και όχι με καταιονισμό) καθώς και η αποφυγή συλλογής των καρπών από το έδαφος. Ακόμα ως πρόσθετο μέτρο ασφαλείας συνιστάται η διακοπή της άρδευσης 14 ημέρες πριν από τη συλλογή των καρπών.

Στην περίπτωση της απεριόριστης άρδευσης, η οποία αφορά όλα τα είδη καλλιέργειας καθώς και το πότισμα γηπέδων και πάρκων, συνιστάται η τήρηση

μικροβιολογικών κριτηρίων τόσο ως προς τους εντερικούς νηματώδεις οργανισμούς (<1 αυγό/l) όσο και ως προς τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια FC (<1000FC/100 ml). Σε περιπτώσεις περιοχών άμεσης πρόσβασης τα κριτήρια είναι αυστηρότερα (<200FC/100 ml).

Πίνακας 1 : Πρότυπα Engelberg (WHO 1989).

Κατηγορία	Είδος επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα πληθυσμού	Εντερικοί νηματώδεις (β)(μέση αριθμητική τιμή αυγών/λίτρο) (γ)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια, FC (μέση γεωμετρική τιμή /100 ml) (γ)	Επεξεργασία της εκροής
A	Άρδευση καλλιιεργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	≤1	≤1000 δ	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
(A1)	Άρδευση καλλιιεργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων, ξενοδοχεία και περιοχές άμεσης πρόσβασης	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	≤1	≤200	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
B	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, οπωροφόρα δέντρα (δ)	Εργαζόμενοι	≤1	Δεν τίθενται όρια	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης η. για 8-10 ημέρες, ή ισοδύναμη απομάκρυνση αυγών σκωλήκων και περιττωματικών κολοβακτηριδίων
C	Τοπική άρδευση καλλιιεργειών της κατηγορίας B χωρίς να υπάρχει έκθεση εργαζομένων και κοινού	Καμία	Δεν τίθενται όρια	Δεν τίθενται όρια	Επεξεργασία ανάλογη του συστήματος άρδευσης αλλά όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

(β) *Ascaris*, *Trichuris* και *Anchilostoma*

(γ) Κατά την αρδευτική περίοδο

(δ) Για τα οπωροφόρα δέντρα η άρδευση θα πρέπει να σταματά 14 ημέρες πριν τη συλλογή των φρούτων και κανένα φρούτο δε θα πρέπει να συλλέγεται από το έδαφος. Δεν επιτρέπεται άρδευση με ψεκασμό ή καταιονισμό.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα προτεινόμενα ποιοτικά κριτήρια σχετικά με τη χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων ως υδάτινο πόρο. Τα κριτήρια αυτά αποτέλεσαν οδηγό για ασφαλή και σωστή διαχείριση των επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων και κυρίως για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας.

Μετά τη δημοσίευση των προτύπων Engelberg διεξήχθησαν επιπλέον επιδημιολογικές μελέτες λοιμώξεων, που συνδέονταν με την κατανάλωση τροφίμων κατά την παραγωγή των οποίων είχε γίνει χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων. Οι μελέτες διενεργήθηκαν κυρίως στο Μεξικό και τη Χιλή, χώρες στις οποίες η επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων είναι ευρέως διαδεδομένη σε καλλιέργειες μικρής και μεγάλης κλίμακας.

Συγκεκριμένα σε μικρές κοινότητες χρησιμοποιούσαν τα λύματα στις καλλιέργειες χωρίς καμία επεξεργασία. Οι καλλιέργειες ραντίζονταν με τα λύματα αυτά κάθε αυτά ή έπειτα από μικρή παραμονή τους σε λίμνες. Μετά από την εκπόνηση των συγκεκριμένων μελετών ο Π.Ο.Υ. δημοσίευσε το 2000 αυστηρότερα και λεπτομερή πρότυπα από τα προηγούμενα, τα πρότυπα Blumenthal.

Μια νέα σειρά οδηγιών εκδόθηκε το 2006 όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για αγροτικούς σκοπούς. Οι κύριοι στόχοι των οδηγιών είναι η προστασία της υγείας των αγροτών και των καταναλωτών. Ο Π.Ο.Υ. ορίζει ένα γενικώς αποδεκτό επίπεδο προστασίας της δημόσιας υγείας ανάλογα με το βαθμό έκθεσης. Έπειτα από τον καθορισμό του αποδεκτού επιπέδου προστασίας ορίζεται μία σειρά από μέτρα τα οποία εάν ακολουθούνται μπορεί να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο προστασίας της δημόσιας υγείας.

Ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και την κατανάλωση προτείνονται τρόποι και μέθοδοι άρδευσης και επεξεργασίας των λυμάτων, καθώς και τα ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών. Ο Π.Ο.Υ. εκτός από τα όρια που προτείνει για τους διάφορους παθογόνους μικροοργανισμούς που ενδεχομένως να περιέχονται στα λύματα, προτείνει επιπρόσθετα και επιτρεπτές συγκεντρώσεις χημικών ενώσεων στο έδαφος.

Πίνακας 2 : Πρότυπα Blumenthal (WHO 2000)

Κατηγορία	Είδος επαναχρησιμοποίησης	Εκτιθέμενη ομάδα πληθυσμού	Μέθοδος άρδευσης	Εντερικοί νηματώδεις (β) (μέση αριθμητική τιμή αυγών/λίτρο)(γ)	Περιττωματικά κολοβακτηρίδια, FC (μέση γεωμετρική τιμή /100 ml) (γ)	Επεξεργασία της εκροής
A1 μη περιοριστική	Άρδευση καλλιεργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	Όλες	$\leq 0,1$	$\leq 1000 \delta$	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
(A2)	Άρδευση καλλιεργειών με τρόφιμα που προορίζονται για ωμή κατανάλωση, άρδευση γηπέδων, πάρκων, ξενοδοχεία και περιοχές άμεσης πρόσβασης	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	Όλες	$\leq 0,1$	≤ 200	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
(A3)	Όπως Α και Α1 αλλά σε περιοχές με ξηρό και θερμό κλίμα και/ή όπου έχει εφαρμοσθεί χημική θεραπεία κατά της ελμιντίαςης	Εργαζόμενοι, καταναλωτές, κοινό	Όλες	$\leq 0,1$	≤ 1000 (Α1) ≤ 200 (Α2)	Δευτεροβάθμια προηγμένη επεξεργασία με σειρά λεκανών σταθεροποίησης
B1	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, οπωροφόρα δέντρα (δ)	Εργαζόμενοι εκτός από ανήλικους κάτω των 15 ετών και γειτονικές κοινότητες	Ψεκάσμος ή καταιονισμός	≤ 1	≤ 100000	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης συμπεριλαμβανομένης δεξαμενής ωρίμανσης ή ισοδύναμη επεξεργασία (ε)
B2	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, οπωροφόρα δέντρα (δ)	Όπως B1	Ροή ή βύθιση	≤ 1	≤ 1000	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης συμπεριλαμβανομένης δεξαμενής ωρίμανσης ή ισοδύναμη επεξεργασία (ε)
B3	Δημητριακά, καλλιέργειες που προορίζονται για βιομηχανική επεξεργασία, βοσκότοποι, οπωροφόρα δέντρα (δ)	Εργαζόμενοι συμπεριλαμβανομένων ανηλίκων κάτω των 15 ετών και γειτονικών κοινοτήτων	Όλες	$\leq 0,1$	≤ 1000	Παραμονή σε δεξαμενές σταθεροποίησης συμπεριλαμβανομένης δεξαμενής ωρίμανσης ή ισοδύναμη επεξεργασία (ε)
C	Τοπική άρδευση καλλιεργειών της κατηγορίας Β χωρίς να υπάρχει έκθεση εργαζομένων και κοινού	Καμία	Μικρο-άρδευση	Δεν τίθενται όρια	Δεν τίθενται όρια	Επεξεργασία ανάλογη του συστήματος άρδευσης αλλά όχι μικρότερη από πρωτοβάθμια

- (β) *Ascaris*, *Trichuris* και *Anchilostoma*, οι οδηγίες έχουν συνταχθεί και για τον κίνδυνο μόλυνσης από πρωτόζωα
- (γ) Κατά την αρδευτική περίοδο (εάν τα επεξεργασμένα λύματα προέρχονται από εγκαταστάσεις σχεδιασμένες για την επίτευξη καθορισμένων ορίων δεν είναι απαραίτητη η καταγραφή και παρακολούθηση)
- (δ) Για τα οπωροφόρα δέντρα η άρδευση θα πρέπει να σταματά 14 ημέρες πριν τη συλλογή των φρούτων και κανένα φρούτο δε θα πρέπει να συλλέγεται από το έδαφος. Δεν επιτρέπεται άρδευση με ψεκασμό ή καταιονισμό.
- (ε) π.χ. δευτεροβάθμια ακολουθούμενη από καθίζηση ή φιλτράρισμα.

Πίνακας 3:Μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις στο έδαφος διαφόρων τοξικών χημικών βασισμένα στην προστασία της ανθρώπινης υγείας (WHO 2006)

Χημικό στοιχείο	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg)
Αντιμόνιο	36
Αρσενικό	8
Βάριο*	302
Βηρύλλιο*	0,2
Βόριο*	1,7
Κάδμιο	4
Φθόριο	635
Μόλυβδος	84
Υδράργυρος	7
Μολυβδένιο*	0,6
Νικέλιο	107
Σελήνιο	6
Άργυρος	3
Θάλλιο*	0,3
Βανάδιο*	47

* Τα όρια για αυτά τα στοιχεία βρίσκονται μέσα στις τυπικές τιμές των εδαφών

Οργανικές ενώσεις	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg)
Aldrin	0,48
Βενζένιο	0,14
Chlordane	3
Χλωροβενζένιο	211
Χλωροφόρμιο	0,47
2,4-D	0,25
DDT	1,54
Διχλωροβενζένιο	15
Dieldrin	0,17
Διοξίνες	0,00012
Επταχλωρίδιο	0,18
Εξαχλωροβενζένιο	1,40
Λιντάνιο	12
Methoxychlor	4,27
PAHs (βενζοπυρένιο)	16
PCBs	0,89
Πενταχλωροφαινόλη	14
Πυρένιο	41
Στυρένιο	0,68
2,4,5-T	3,82
Τετραχλωροαιθάνιο	1,25
Τετραχλωροαιθυλένιο	0,54
Τολουένιο	12
Toxaphen	0,0013
Τριχλωροαιθάνιο	0,68

2.1.2 Οι Οδηγίες του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών

Οι οδηγίες για την ποιότητα του νερού άρδευσης της FAO ξεκίνησαν με στόχο να προτείνουν λύσεις και περιορισμούς στη χρήση των υδατικών πόρων για αρδευτικούς σκοπούς, σε συνδυασμό με την προστασία των εδαφών και των καλλιεργειών. Επίσης στοχεύουν στον περιορισμό των επιπτώσεων από την αλατότητα και την περιεκτικότητα σε νάτριο των υδάτων.

Σύμφωνα με το ID29 της FAO το νερό για άρδευση κατατάσσεται σε κατηγορίες προκειμένου οι ενδιαφερόμενοι να μπορούν να αναγνωρίσουν τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν από τη χρήση του. Εξετάζονται :

1. Η διαπερατότητα: Υψηλά επίπεδα νατρίου ή χαμηλά επίπεδα ασβεστίου στο έδαφος ή στο νερό μειώνουν το ρυθμό διήθησης με αποτέλεσμα μη επαρκή τροφοδότηση των καλλιεργειών με νερό μεταξύ των αρδεύσεων.
2. Η αλατότητα: Τα άλατα στο έδαφος ή στο νερό μπορούν να μειώσουν τη διαθέσιμη για τις καλλιέργειες ποσότητα νερού με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η απόδοσή τους.
3. Η τοξικότητα: Συγκεντρώσεις ιόντων (νατρίου, χλωρίου, βορίου) που βρίσκονται στο έδαφος ή στο νερό μπορούν να καταστρέψουν ή να μειώσουν την παραγωγή.
4. Άλλοι κίνδυνοι: Υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών όπως π.χ. νιτρικών, μειώνουν την ποιότητα των καλλιεργειών. Υψηλές περιεκτικότητες του νερού σε σίδηρο ή γύψο συνδέονται με ασυνήθιστες τιμές του pH. Αιωρούμενα οργανικά ή ανόργανα στερεά προκαλούν διάβρωση του εξοπλισμού γεγονός το οποίο αυξάνει τις ανάγκες συντήρησης και επιδιόρθωσης.

Στον Πίνακα 4, ξεκινάμε από το πιθανό πρόβλημα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε (διαπερατότητα, αλατότητα, τοξικότητα και pH), στη συνέχεια καθορίζεται το διάστημα τιμών της πρώτης παραμέτρου και τέλος προσδιορίζεται η τιμή αναφοράς της δεύτερης παραμέτρου, στη στήλη με την κατηγοριοποίηση του επιπέδου κινδύνου.

Πίνακας 4: Οδηγίες FAO για την ποιότητα του νερού άρδευσης (FAO 1985)

Ενδεχόμενο πρόβλημα				Κανένα	Μέτριο	Σοβαρό
				Επιπτώσεις στο έδαφος		
Διαπερατότητα	SAR=	0-3,0	E ECw=	>0,7	0,7-0,2	<0,2
		3,0-6,0		>1,2	1,2-0,3	<0,3
		6,0-12,0		>1,9	1,9-0,5	<0,5
		12,0-20,0		>2,9	2,9-1,3	<1,3
		20,0-40,0		>5,0	5,0-2,9	<2,9
				Επιπτώσεις στις καλλιέργειες		
Αλατότητα			ECw (dS/m)	<0,7	0,7-3,0	>3,0
			TDS (mg/l)	<450	450-2000	>2000
Ειδική Τοξικότητα Ιόντων		Νάτριο	SAR	<3,0	3,0-9,0	>9,0
		Χλώριο	meq/l	>4,0	4,0-10,0	>10,0
		Βόριο	mg/l	<0,7	0,7-3,0	>3,0
NO3-N		Βέλτιστο διάστημα τιμών	mg/l	<5	5-30	>30
HCO3			meq/l	<1,5	1,5-8,5	>8,5
pH				6,5-8,4		

Για παράδειγμα αν το ενδεχόμενο πρόβλημα είναι η διήθηση, θεωρώντας το SAR (βαθμός απορρόφησης νατρίου) του νερού 6-12, θα παρουσιαστούν περιορισμένες επιπτώσεις διήθησης του νερού στο έδαφος εάν η αντίστοιχη ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι 1,9-5 dS/m. Οι οδηγίες του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών είναι κατάλληλες για την αποτίμηση των ανακτημένων λυμάτων ως προς τα χημικά συστατικά τους όπως η περιεκτικότητά τους σε νάτριο, τα τοξικά ιόντα κ.α.

2.1.3 Κανονισμοί της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (USEPA)

Οι οδηγίες της USEPA όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων για άρδευση, περιοχές πρασίνου και αναψυχής προβλέπουν οκτώ κατηγορίες πιθανής χρήσης σε κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχούν καθορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ανακτημένων λυμάτων. Οι κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης είναι οι παρακάτω:

1. Αστική χρήση
2. Αστική χρήση σε περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση
3. Αγροτική χρήση- βρώσιμες καλλιέργειες
4. Αγροτική χρήση- βρώσιμες καλλιέργειες οπωροφόρα δέντρα, αμπελώνες
5. Αγροτική χρήση-μη βρώσιμες καλλιέργειες
6. Τεχνητές λίμνες αναψυχής
7. Τεχνητές λίμνες διακοσμητικού χαρακτήρα
8. Περιβαλλοντική χρήση

Τα βασικά χαρακτηριστικά των οδηγιών αυτών είναι τα εξής:

- Καθορίζεται το απαιτούμενο ελάχιστο επίπεδο επεξεργασίας με τον ορισμό ελάχιστων επιπέδων αποτελεσματικότητας.
- Προβλέπονται έλεγχοι παρακολούθησης και η συχνότητά τους.
- Καθορίζονται αποστάσεις ασφαλείας από περιοχές διέλευσης και ελεύθερης εισόδου σε συνάρτηση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών.
- Οι μικροβιολογικές παράμετροι (περιττωματικά κολοβακτηρίδια) έχουν καθορισθεί σε πολύ αυστηρό επίπεδο, (από 0 έως ≤ 200), επίπεδο που αντιστοιχεί στα πρότυπα Blumenthal της WHO.
- Η τιμή του BOD5 κυμαίνεται από ≥ 10 έως ≤ 30 παράλληλα με το επιτρεπόμενο μικροβιολογικό φορτίο.

- Το pH έχει τιμές μεγαλύτερες κατά 0,5 logH τόσο στις ελάχιστες όσο και στις μέγιστες τιμές, σε σύγκριση με τα προτεινόμενα όρια από τη FAO.
- Οι τιμές για τα ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS), όπου καθορίζονται, είναι καθορισμένοι για να μην προκαλέσουν προβλήματα στις αρδευτικές εγκαταστάσεις καθώς και στις διηθητικές ικανότητες των εδαφών.
- Για ορισμένες χρήσεις τα ανακτημένα λύματα πρέπει να παρουσιάζονται διαυγή (θολότητα <2,0 NTU).
- Τα όρια των χημικών παραμέτρων είναι τα προτεινόμενα από την FAO.

Αναλυτικότερα ο κανονισμός της USEPA συστήνει ένα ελάχιστο επίπεδο απολύμανσης ανεξάρτητα από τη χρήση των ανακτημένων λυμάτων. Για εφαρμογές όπου δεν αναμένεται άμεση ανθρώπινη επαφή με το νερό, το επίπεδο της απολύμανσης θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η συγκέντρωση των περιττωματικών κολοβακτηριδίων να μην υπερβαίνει τα 200/100ml. Για εφαρμογές όπου αναμένεται άμεση ή έμμεση ανθρώπινη επαφή συνίσταται επίπεδο απολύμανσης τέτοιο ώστε τα περιττωματικά κολοβακτηρίδια να είναι μη ανιχνεύσιμα στα 100ml. Όσον αφορά τη θολότητα καθορίζεται μικρότερη των 2 NTU, γεγονός που σχετίζεται με την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης ενάντια στους ιούς και τα βακτήρια.

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούμε στο παράδειγμα της Πολιτείας της Καλιφόρνια, η οποία και θεσμοθέτησε το 1918 τον πρώτο κανονισμό σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Ο κανονισμός αυτός αναθεωρήθηκε πολλές φορές και τα κριτήριά του συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 5, για την κατηγορία της περιορισμένης άρδευσης γίνονται περαιτέρω διαφοροποιήσεις που αφορούν βοσκοτόπους, επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών, πότισμα γηπέδων, γκολφ, νεκροταφείων κλπ, καθώς και ορισμένες κατηγορίες τεχνητών λιμνών, όπου αναγνωρίζεται μία έστω και σχετικά περιορισμένη πιθανότητα επαφής με παθογόνους μικροοργανισμούς. Στις περιπτώσεις αυτές τα μικροβιολογικά όρια, εκφρασμένα σε όρους διάμεσων τιμών ολικών κολοβακτηριδίων, κυμαίνονται από 2.2/100 ml έως 23/100 ml και οι προτεινόμενες επεξεργασίες βασίζονται στη βιολογική επεξεργασία με λιγότερο ή περισσότερο έντονη απολύμανση (συνήθως με χλώριο). Στην περίπτωση της απεριόριστης επαναχρησιμοποίησης ο κανονισμός προβλέπει ότι τα λύματα που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή με απόλυτη μέγιστη τα 23 TC/100ml).

Πίνακας 5: Μικροβιολογικά κριτήρια της πολιτείας της Καλιφόρνια για χρήση λυμάτων στη γεωργία (State of California Title 22 Water Recycling Criteria, 2000)

Είδος χρήσης	Ολικά κολοβακτηρίδια, TC /100 ml (5)	Απαιτούμενη επεξεργασία
Ζωοτροφές, μη βρώσιμες καλλιέργειες, άρδευση οπωρώνων, αμπελώνων (1)	Δεν τίθενται όρια	Δευτεροβάθμια
Βοσκότοποι για γαλακτοπαραγωγή ζώα, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2), πότισμα γηπέδων γκολφ, νεκροταφείων κ.λ.π.	<23 (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Επιφανειακή άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών (3), τεχνητές λίμνες αναψυχής (2α)	<2,2 (διάμεση τιμή)	Οξείδωση και απολύμανση
Άρδευση βρώσιμων καλλιεργειών με καταιονισμό, πάρκων, παιδικών χαρών, τεχνητές λίμνες αναψυχής (2β)	<2,2 (διάμεση τιμή με απόλυτο μέγιστο τα 23) (6)	Οξείδωση, κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση

(1) Για τους οπωρώνες και τους αμπελώνες τίθεται ως προϋπόθεση ότι οι καρποί δεν έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης ή το έδαφος

(2) Λίμνες για αισθητική απόλαυση, χωρίς το κοινό να έρχεται σε επαφή με το νερό.

(2α) Λίμνες για αλιεία, ιστιοπλοΐα και άλλες ψυχαγωγικές χρήσεις που δεν προϋποθέτουν επαφή του νερού με το ανθρώπινο σώμα.

(2β) Λίμνες για χρήσεις χωρίς περιορισμό επαφής του νερού με το ανθρώπινο σώμα.

(3) Εξαίρεσεις μπορούν να γίνουν σε βρώσιμες καλλιέργειες που υφίστανται επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους.

(4) Η θολρότητα του διυλισμένου νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 2 μονάδες θολρότητας κατά την διάρκεια του 24ώρου.

(5) Η διάμεση τιμή προκύπτει από τα αποτελέσματα των πιο πρόσφατων αναλύσεων των 7 ημερών που αυτές πραγματοποιήθηκαν.

(6) Η μέγιστη τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνεται σε περισσότερα του ενός δείγματα για οποιαδήποτε περίοδο 30 ημερών.

Εκ πρώτης όψεως τα όρια αυτά δεν φαίνεται να διαφέρουν ουσιαστικά από αυτά που τίθενται για την αμέσως προηγούμενη κατηγορία (2,2 TC/100ml ως διάμεση τιμή). Στην πραγματικότητα όμως η ποιότητα του παραγόμενου νερού είναι σημαντικά βελτιωμένη, καθώς το προτεινόμενο σχήμα επεξεργασίας, το οποίο εκτός της βιολογικής επεξεργασίας περιλαμβάνει πλήρη τριτοβάθμια επεξεργασία με κροκίδωση, καθίζηση, διύλιση και απολύμανση υποδηλώνει σαφώς πιο προχωρημένη επεξεργασία η οποία στοχεύει στην απομάκρυνση και όλων σχεδόν των ιών. Επιπλέον, στην περίπτωση πιθανής άμεσης επαφής των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων με τον άνθρωπο, τίθεται και όριο θολρότητας, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2NTU. Η αυξημένη θολρότητα σχετίζεται με αυξημένο αριθμό σωματιδίων, που λειτουργούν ως προστατευτικό κάλυμμα των μικροοργανισμών κατά τις διεργασίες απολύμανσης και έχει άμεση συνέπεια να μειώνεται η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης και δεν μπορεί να διασφαλισθεί η μικροβιολογική ποιότητα του νερού.

2.2 Ευρωπαϊκές Οδηγίες και οδηγίες χωρών της αλλοδαπής

Η Ευρωπαϊκή νομοθεσία στερείται νομοθετικών ρυθμίσεων σχετικά με την απαιτούμενη ποιότητα των προς επαναχρησιμοποίηση λυμάτων. Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης οφείλουν να ακολουθούν την οδηγία 91/271/EC η οποία αναφέρει ότι: « τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται όποτε είναι σκόπιμο ». Πολλές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν θεσπίσει τα δικά τους κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων στηριζόμενες κυρίως στις Οδηγίες του Π.Ο.Υ. και της Πολιτείας της Καλιφόρνια. Ενδεικτικά παρατίθενται τα παραδείγματα ορισμένων μεσογειακών χωρών που έχουν θεσπίσει όρια για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων.

Στην Ιταλία, για παράδειγμα, η επαναχρησιμοποίηση αστικών λυμάτων ρυθμίζεται σε εθνικό επίπεδο με τον κανονισμό « D.M. 12 giugno 2003, n.185». Επίσης, κάθε περιφέρεια έχει το δικαίωμα να θεσπίσει δικούς της κανόνες οι οποίοι όμως θα σέβονται τα ελάχιστα ποιοτικά όρια που καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο. Σύμφωνα με την Ιταλική νομοθεσία οι επιτρεπόμενες χρήσεις των επεξεργασμένων λυμάτων διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: αρδευτική, αστική και βιομηχανική. Η αρδευτική χρήση αναφέρεται για άρδευση καλλιεργειών που προορίζονται για ανθρώπινη ή ζωική κατανάλωση καθώς και άρδευση περιοχών αστικού πρασίνου. Η αστική χρήση αναφέρεται σε τροφοδοσία συστημάτων ψύξης, θέρμανσης, πλύσιμο δρόμων, παράλληλο δίκτυο ύδρευσης για τροφοδοσία σε καζανάκια τουαλετών κ.α. Τα επεξεργασμένα αστικά λύματα στη βιομηχανική χρήση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λόγους πυρόσβεσης, σαν νερό ψύξης στη διαδικασία παραγωγής με εξαίρεση χρήσεις που τα ανακτημένα λύματα έρχονται σε άμεση επαφή με τρόφιμα, φάρμακα ή καλλυντικά.

Όσον αφορά την επαναχρησιμοποίηση για άρδευση θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η εξοικονόμηση υδατικών πόρων και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να ξεπεράσει τις ανάγκες σε άρδευση της περιοχής. Η επαναχρησιμοποίηση για άρδευση υπόκειται στους νόμους περί καλής εξάσκησης της γεωργίας. Ειδικότερα το άζωτο που προέρχεται από τα ανακτημένα λύματα θα πρέπει να βρίσκεται μέσα σε συγκεκριμένα όρια, ανάλογα με την καλλιέργεια, ώστε να μην ξεπερασθούν τα μέγιστα επιτρεπόμενα φορτία αζώτου.

Τα ποιοτικά κριτήρια που παρουσιάζονται είναι ιδιαίτερα αυστηρά καθώς σε πολλές παραμέτρους οι τιμές ταυτίζονται με αυτές του πόσιμου νερού. Επίσης, ο αριθμός των

παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη είναι αρκετά μεγάλος (περίπου 55). Καθορίζονται τιμές για χημικές, φυσικές και μικροβιολογικές παραμέτρους όπως παρουσιάζονται ορισμένες από αυτές στον πίνακα 6.

Πίνακας 6: Κριτήρια της σύμφωνα με την Ιταλική νομοθεσία για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων (D.M. 185/2003)

Παράμετρος	Όριο	Παράμετρος	Όριο
pH	6-9,5	Θάλλιο	0,001 mg/l
SAR	10	Βανάδιο	0,1 mg/l
TSS	10 mg/l	Ψευδάργυρος	0,5 mg/l
BOD5	20 mgO ₂ /l	Ολικά κυανίδια (CN)	0,05 mg/l
COD	100 mgO ₂ /l	Σουλφίδια	0,5 mgH ₂ S/l
Ολικός Φώσφορος	2 mgP/l	Θειώδη	0,5 mgSO ₃ /l
Ολικό Άζωτο	15 mgN/l	Θειικά	500 mgSO ₄ /l
Αμμωνιακό άζωτο	2 mgNH ₄ /l	Χλωριούχα	250 mgCl/l
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	3000iS/cm	Φθοριούχα	1,5 mgF/l
Αλουμίνιο	1 mg/l	Έλαια και λίπη φυτικά/ ζωικά	10 mg/l
Αρσενικό	0,02 mg/l	Ολικές φαινόλες	0,1 mg/l
Βάριο	10 mg/l	Τριαλομεθάνια	0,03 mg/l
Βηρύλλιο	0,1 mg/l	Οργανικοί αρωματικοί διαλύτες	0,01 mg/l
Βόριο	1 mg/l	Βενζένιο	0,001 mg/l
Κάδμιο	0,005 mg/l	Βενζοπυρένιο	0,00001 mg/l
Κοβάλτιο	0,05 mg/l	Χλωριομένα βιοκτόνα	0,0001 mg/l
Ολικό χρώμιο	0,1 mg/l	Φωσφοριομένα βιοκτόνα	0,0001 mg/l
Εξασθενές χρώμιο	0,005 mg/l	Άλλα βιοκτόνα ολικά	0,05 mg/l
Σίδηρος	2 mg/l	E. Coli	100 UFC/100ml
Μαγγάνιο	0,2 mg/l	Σαλμονέλα	Απουσία UFC/100ml
Υδράργυρος	0,001 mg/l		
Νικέλιο	0,2 mg/l		
Μόλυβδος	0,1 mg/l		
Χαλκός	1 mg/l		

- 1) Για όλες τις χημικές και φυσικές παραμέτρους οι οριακές τιμές αναφέρονται σε μέσες ετήσιες τιμές. Η επαναχρησιμοποίηση διακόπτεται εάν η σημειακή τιμή οποιασδήποτε παραμέτρου υπερβεί το 100% της οριακής τιμής.
- 2) Η τιμή της παραμέτρου E.Coli του πίνακα αναφέρεται στο 80% των δειγμάτων με μέγιστη τιμή τα 100 UFC/100ml. Η επαναχρησιμοποίηση διακόπτεται εάν κατά τους ελέγχους η σημειακή τιμή της παραμέτρου υπερβεί τα 100 UFC/100ml.
- 3) Για την παράμετρο σαλμονέλα η τιμή του πίνακα αναφέρεται στο 100% των δειγμάτων. Η επαναχρησιμοποίηση διακόπτεται εάν κατά τους ελέγχους ανιχνευθεί σαλμονέλα.
- 4) Η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να συνεχισθεί μόνο εάν η σημειακή τιμή της παραμέτρου, εξαιτίας της οποίας έγινε η διακοπή, επανέλθει στα επιτρεπτά όρια έπειτα από τρεις συνεχής και επαναλαμβανόμενους ελέγχους.

Η Κύπρος επίσης έχει θεσπίσει αυστηρές οδηγίες σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση των ανακτημένων λυμάτων. Ορίζονται μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ορισμένων στοιχείων καθώς και όρια μικροβιολογικών παραμέτρων

με στόχο τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ορισμένα από τα κριτήρια που ισχύουν για ανακτημένα λύματα για αρδευτική χρήση. Παρατηρούμε ότι στα ποιοτικά κριτήρια περιλαμβάνονται όρια για το BOD5 και τα SS. Χαμηλές τιμές των συγκεκριμένων παραμέτρων στην εκροή εξασφαλίζουν αποτελεσματικότερη απολύμανση και κατά συνέπεια μεγαλύτερη προστασία κατά των μικροοργανισμών.

Πίνακας 7: Κριτήρια σύμφωνα με την Κυπριακή για επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση (Dodou, 2000)

Άρδευση	BOD5 mg/l	SS mg/l	FC/100ml	Εντερικοί σκώληκες/l	Απαιτούμενη επεξεργασία
Απεριόριστη άρδευση (α)	(A) 10*	10*	5* 15**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια απολύμανση
Χώροι αναψυχής ελεύθερης πρόσβασης- Άρδευση καλλιέργειών που τρώγονται μαγειρεμένες ή μετά από επεξεργασία (β)	(A) 10* 15**	10* 15**	50* 100**	Μηδέν	
Περιορισμένη άρδευση- χώροι αναψυχής περιορισμένης πρόσβασης	(A) 20* 30**	30* 45**	200* 1000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες και απολύμανση, ή τριτοβάθμια απολύμανση
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	(A) 20* 30**	30* 45**	1000* 5000**	Μηδέν	Δευτεροβάθμια και αποθήκευση για πάνω από 7 ημέρες και απολύμανση, ή τριτοβάθμια απολύμανση
Βιομηχανικές καλλιέργειες	(A) 50* 70**	-	3000* 10000**	-	Δευτεροβάθμια και απολύμανση

Η Γαλλία έχει θεσπίσει και αυτή με τη σειρά της όρια ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων, παρά το γεγονός ότι δεν αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας όπως η Κύπρος. Η Γαλλία αριθμεί τριάντα έργα ανάκτησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αγροτική χρήση, για ψυχαγωγία (γήπεδα γκολφ) και για λοιπές αστικές χρήσεις.

Το νομικό πλαίσιο που διέπει τα ποιοτικά όρια επαναχρησιμοποίησης, στη Γαλλία είναι η απόφαση του γαλλικού συμβουλίου δημόσιας υγείας, CSHPF, το 1991, σχετικά με «Συστάσεις για την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων, έπειτα από επεξεργασία, για την άρδευση καλλιέργειών και χώρων πρασίνου». Η βάση των ορίων του συμβουλίου είναι τα όρια του WHO, ενισχυμένα με περιορισμούς ως προς τις μεθόδους άρδευσης και τις αποστάσεις μεταξύ των αρδευόμενων και κατοικημένων περιοχών.

Πίνακας 8 : κριτήρια ποιότητας σύμφωνα με το Γαλλικό συμβούλιο δημόσιας υγείας για επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων, (CSHPF 1991).

Ποιότητα νερού	Κριτήρια	Μέθοδος άρδευσης	Είδος αρδευόμενων καλλιεργειών	Επεξεργασία
A	• $\leq$ εντερικό νηματώδες αυγό/l • ≤ 1000 FC/100ml	• Μέθοδοι άρδευσης που εξασφαλίζουν ελάχιστη επαφή καλλιεργειών και ανακτημένου νερού: μικρής πίεσης καταιονιστήρες, επιφανειακή άρδευση, αυλάκια • Απόσταση από κατοικημένες περιοχές $>100m$	• Οπωροφόρα δέντρα, βοσκότοποι, βρώσιμες καλλιέργειες που καταναλώνονται ωμές κτλ. • Γήπεδα αθλητισμού, γήπεδα γκολφ, και χώροι πρασίνου απεριόριστης πρόσβασης	Λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής >30 ημέρες ή κάτι ισοδύναμο
B	• $\leq$ εντερικό νηματώδες αυγό/l	• Επιφανειακή ή άρδευση μέσω αυλακιών • Καταιονισμός όταν η περίπτωση διασποράς είναι μικρή: απόσταση από κατοικημένες περιοχές $>100m$, φράχτες κτλ.	• Οπωροφόρα δέντρα, δημητριακά, ζωοτροφές, φυτώρια και βρώσιμες καλλιέργειες που δεν καταναλώνονται ωμές. • Γήπεδα εφόσον η άρδευση διακόπτεται αρκετές βδομάδες πριν από την πρόσβαση	Λίμνες σταθεροποίησης με χρόνο παραμονής >10 ημέρες ή κάτι ισοδύναμο
C	Κανένα	Επιφανειακή ή υπόγεια στάγδην άρδευση	• Δημητριακά, βιομηχανικές καλλιέργειες, ζωοτροφές, οπωροφόρα δέντρα. • Δάση και χώροι πρασίνου περιορισμένης πρόσβασης	-

Να σημειωθεί ότι τα κριτήρια αυτά είναι σε καθεστώς αναθεώρησης και αντικατάστασης από αυστηρότερα, οι πρώτες σημαντικές αλλαγές έγιναν το 2000.

Πολλές χώρες έχουν ενσωματώσει αντίστοιχα κριτήρια ποιότητας και εφαρμόζουν προγράμματα επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων. Η Ισπανία, η Πορτογαλία, το Ισραήλ, η Τυνησία, η Ιορδανία, κ.α. περιλαμβάνουν αντίστοιχα νομικά πλαίσια.

2.3. Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο

Η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων, για την Ελλάδα, διέπεται από την ευρωπαϊκή οδηγία 91/271/EEC με την οποία η ελληνική νομοθεσία εναρμονίστηκε με την Κ.Υ.Α 5673/400/14.3.97 «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων». Μέχρι σήμερα όμως υπήρχε έλλειψη ενός ξεκάθαρα θεσμικού πλαισίου το οποίο να ρυθμίζει και να καθορίζει την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων.

Με την Κ.Υ.Α 145116/2011 (Φ.Ε.Κ. 354Β/8-3-2011) «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις», γίνεται η πρώτη προσπάθεια θεσμικής ρύθμισης των όρων και των διαδικασιών με τις οποίες θα μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα λύματα.

Σκοπός της συγκεκριμένης απόφασης είναι η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων καθώς και η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων. Όπως αναφέρεται στην Κ.Υ.Α. απαραίτητη προϋπόθεση για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας. Οι επιτρεπόμενες χρήσεις που καθορίζονται είναι οι εξής:

1. Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση: Διακρίνονται δύο τύποι άρδευσης με βάση το είδος των καλλιεργειών, το σύστημα άρδευσης και την προσβασιμότητα του κοινού στις αρδευόμενες περιοχές.

α) περιορισμένη άρδευση η οποία αφορά μόνο σε καλλιέργειες που τα προϊόντα τους δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Ως προς το σύστημα άρδευσης, δεν επιτρέπεται η μέθοδος του καταιονισμού. Η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη περιοχή δεν επιτρέπεται και σε περίπτωση που υπάρχει προσβασιμότητα, πλην των χρηστών, θα πρέπει να λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα.

β) απεριόριστη άρδευση η οποία αφορά σε όλα τα είδη καλλιεργειών όπως λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, ανθοκομικά. Κατά την απεριόριστη άρδευση επιτρέπονται διάφορες μέθοδοι χρήσης του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού και δεν απαιτούνται περιορισμοί στην πρόσβαση.

Για την επαναχρησιμοποίηση για άρδευση (περιορισμένη και απεριόριστη) απαιτείται η εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του συστήματος της άρδευσης ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας και την περιοχή. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει:

α) το υδατικό ισοζύγιο σε συνάρτηση και με τις αρδευόμενες καλλιέργειες και το ισοζύγιο οργανικού φορτίου και θρεπτικών καθώς και κρίσιμων ιχνοστοιχείων, προκειμένου να προσδιορισθεί η ανά μονάδα αρδευόμενης επιφάνειας επιτρεπόμενη φόρτιση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα,

β) τον υπολογισμό της συνολικά απαιτούμενης εδαφικής έκτασης,

γ) τα προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων και κατά περίπτωση, τα απαιτούμενα προγράμματα παρακολούθησης των χαρακτηριστικών του εδάφους και των αρδευόμενων καλλιεργειών,

δ) τα τυχόν απαιτούμενα πρόσθετα μέτρα και όρια για την συγκεκριμένη εφαρμογή (ενδεχόμενη περίφραξη της αρδευόμενης έκτασης, τρόπος άρδευσης, κλπ), καθώς και

ε) τα απαιτούμενα μέτρα ενημέρωσης και προστασίας για τους χρήστες και τους καταναλωτές, που πρέπει να λαμβάνονται, με ευθύνη του φορέα υλοποίησης της άρδευσης, ο οποίος μπορεί να είναι ο φορέας διαχείρισης ή ο άμεσος χρήστης του ανακτημένου νερού. Μεταξύ των μέτρων αυτών μπορεί να υιοθετούνται αυτόματα ή ημιαυτόματα αρδευτικά συστήματα για ελαχιστοποίηση της επαφής των χειριστών με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα,

στ) τον προσδιορισμό των τυχόν ελάχιστων απαιτούμενων αποστάσεων της συγκεκριμένης εφαρμογής από υφιστάμενες ή μελλοντικές υδροληψίες ή άλλες χρήσεις.

2. Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων: Στις περιπτώσεις άμεσου εμπλουτισμού μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα απαιτείται επαρκής βαθμός επεξεργασίας για την απομάκρυνση οργανικών. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει, εκτός από δευτεροβάθμια βιολογική και ενδεχόμενη τριτοβάθμια επεξεργασία, προχωρημένες μεθόδους κατάλληλες για την απομάκρυνση διαλυτού οργανικού υλικού, όπως μέσω μεμβρανών τουλάχιστον υπερδιήθησης ή ισοδύναμης αποτελεσματικότητας εναλλακτικής μεθόδου προχωρημένης επεξεργασίας.

Στις περιπτώσεις εμπλουτισμού με μέθοδο διήθησης δια μέσου στρώματος εδάφους με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος μπορεί να αποφευχθεί πρόσθετη επεξεργασία εάν τεκμηριώνεται επαρκής κατακράτηση οργανικών από το έδαφος.

Επίσης απαιτείται και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις η εκπόνηση ειδικής υδρογεωλογικής μελέτης, η οποία θα εξετάζει το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα, την ύπαρξη ή μη πολλαπλών γεωλογικών στρωμάτων καθώς και το βάθος που θα πραγματοποιείται ο εμπλουτισμός. Παράλληλα με την υδρογεωλογική μελέτη απαιτείται η εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του εμπλουτισμού, η οποία θα εξετάζει την ποιότητα και την ποσότητα του ανακτημένου ύδατος καθώς και την κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα. Θα περιγράφεται το προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων και των χαρακτηριστικών των υπογείων υδάτων.

Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποβλέπει κυρίως:

- α) στη δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων,
- β) στην αποθήκευση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης όπως για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή,
- γ) στην ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσης και επειδή η φυσική ανανέωση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό,
- δ) στον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους.

3. Αστική και περί αστική επαναχρησιμοποίηση: Η επαναχρησιμοποίηση με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα για αστικές και περιαστικές δραστηριότητες

αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών, εκτός των χρήσεων για πόση, την κολύμβηση και τις οικιακές δραστηριότητες. Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης περιλαμβάνουν κυρίως το πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου, όπως δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές οικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων αναψυχής. Επίσης αφορούν νερό για την κατάσβεση πυρκαγιών, για τη συμπύκνωση εδαφών,

για διακοσμητικά συντριβάνια, για τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών ή υδροβιότοπων, για την ενίσχυση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

4. Επαναχρησιμοποίηση για βιομηχανική χρήση: Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στη βιομηχανία περιλαμβάνει εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης, αναπλήρωση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Η συγκεκριμένη επαναχρησιμοποίηση δεν εφαρμόζεται στις βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Στην Κ.Υ.Α. παρατίθενται πίνακες που αναφέρουν τα όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και την τουλάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων ανάλογα με το είδος επαναχρησιμοποίησης. Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται οι όροι που αφορούν την περιορισμένη και την απεριόριστη άρδευση.

Πίνακας 9 : Απαιτήσεις ποιότητας σύμφωνα με την Κ.Υ.Α.145116/2011

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100ml)	BOD5(mg/l)	SS(mg/l)	Θολότητα (NTU)	Απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών
Περιορισμένη άρδευση	≤ 200 διάμεση τιμή	≤ 10	≤ 10	-	Δευτεροβάθμια βιολογική(α), Απολύμανση(β)	EC: μία ανά εβδομάδα Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται) χλωρίωση BOD: μία ανά εβδομάδα SS: μία ανά τρεις ημέρες
Απεριόριστη άρδευση	≤ 5 για 80% των δειγμάτων	≤ 10 για 80% των δειγμάτων	≤ 10 για 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική, ακολουθούμενη από Τριτοβάθμια επεξεργασία(γ) και Απολύμανση (δ)	EC: (ε) Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται) χλωρίωση BOD: μία ανά εβδομάδα SS: μία ανά τρεις ημέρες Θολότητα και διαπερατότητα (ζ)

α) Οι προτεινόμενες μέθοδοι δευτεροβάθμιας επεξεργασίας περιλαμβάνουν διάφορους τύπους του συστήματος ενεργού ιλύος, βιολογικά φίλτρα και περιστρεφόμενους βιολογικούς δίσκους. Οι συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή πρέπει να διατηρούνται χαμηλότερα από 45 mg/l, με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλης διάρκειας αποθήκευση των υγρών αποβλήτων σε ταμειυτήρες, γίνεται άρδευση ευπρόσβλητων στη νιτρορρύπανση ζωνών ή γίνεται εμπλουτισμός του υπόγειου υδροφορέα. Στις περιπτώσεις αυτές οι μέσες συγκεντρώσεις αζώτου πρέπει να μην υπερβαίνουν τα 15 mg/l.

β) Χλωρίωση, οξόνωση, χρήση υπερϊώδους ακτινοβολίας (UV) ή άλλου είδους μέθοδοι καταστροφής ή συγκράτησης παθογόνων, που εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη διάμεση συγκέντρωση Escherichia coli. Σε κάθε περίπτωση και στο βαθμό που η επεξεργασία συνίσταται στην ελάχιστη απαιτούμενη κατά την εφαρμογή της χλωρίωσης θα εξασφαλίζεται γινόμενο υπολειμματικού χλωρίου επί χρόνο επαφής (C·t) μεγαλύτερο ή ίσο από 30 mg·min/l, εμβολοειδής ροή (λόγος μήκους ροής/πλάτος μεγαλύτερο ή ίσο από 40) και ελάχιστος χρόνος επαφής 30 min, ενώ για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 70 mWsec/cm² στο τέλος της ζωής της λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 50%.

γ) Κατάλληλο σύστημα που να επιτυγχάνει τα αναφερόμενα στον Πίνακα όρια για το BOD5, τα SS και τη θολότητα. Ενδεικτικά, κατ' ελάχιστον προσθήκη κατάλληλου κροκιδωτικού (π.χ.θειικού αργιλίου) σε δόση μεγαλύτερη από 10 mg/l

και απευθείας διύλιση σε διυλιστήριο άμμου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: βάθος διυλιστικού μέσου (L) $\geq 1,40$ m, ενεργή διάμετρο κόκκων άμμου (De) ≈ 1 mm, συντελεστή ομοιομορφίας κόκκων άμμου (u) 1,45–1,60 και επιφανειακή φόρτιση ≤ 8 m³/m²/hr για κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

δ) Όπως (β) εξασφαλίζουν στην εκροή την απαιτούμενη συγκέντρωση Escherichia coli για το 80% των δειγμάτων, συγκέντρωση υπολειμματικού χλωρίου ≥ 2 mg, ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min, ενώ η αναγκαιότητα αποχλωρίωσης πριν από την επαναχρησιμοποίηση θα εξετάζεται κατά περίπτωση. Για απολύμανση με UV θα εξασφαλίζεται ελάχιστη δόση 60 mWsec/cm² στο τέλος της ζωής των λαμπτήρων και για τον σχεδιασμό του συστήματος UV δεν θα λαμβάνεται τιμή διαπερατότητας μεγαλύτερη από 70%.

ε) Για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας ισοδύναμου πληθυσμού ≥ 50000 κατοίκων τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις

ζ) Όπως ε)

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ορισμένων μετάλλων και στοιχείων. Στην Κ.Υ.Α. συμπεριλαμβάνονται και επιθυμητά αγρονομικά χαρακτηριστικά των προς άρδευση επαναχρησιμοποιούμενων επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αντιστοιχούν στα πρότυπα για την ποιότητα του νερού άρδευσης του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών.

Πίνακας 10: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων, στοιχείων, ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας (Κ.Υ.Α.145116/2011)

Παράμετρος	Μέγιστη Συγκέντρωση
Αργίλιο	5 mg/l
Αρσενικό	0,1mg/l
Βηρύλλιο	0,1 mg/l
Κάδμιο	0,01 mg/l
Κοβάλτιο	0,05 mg/l
Ολικό χρώμιο	0,1 mg/l
Χαλκός	0,2 mg/l
Σίδηρος	3mg/l
Μαγγάνιο	0,2 mg/l
Υδράργυρος	0,002 mg/l
Νικέλιο	0,2 mg/l
Μόλυβδος	0,1 mg/l
Ψευδάργυρος	2 mg/l
Βενζόλιο	5 μg/l
Ανθρακένιο	1 μg/l
Isodrin	0,01 μg/l
1,2 Διχλωροαιθάνιο	20 μg/l
Διχλωρομεθάνιο	50 μg/l
Πενταχλωροφαινόλ η	1 μg/l
Βενζο(α)πυρένιο	0,1 μg/l

Όμως και στην Ελλάδα έχουμε κάποια παραδείγματα επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων. Η χώρα μας αντιμετωπίζει το πρόβλημα της έλλειψης νερού ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο, όπου οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες. Το νερό που ανακτάται τροφοδοτείται κυρίως για άρδευση αγροτικών εκτάσεων σε

καλλιέργειες κοντά στις μονάδες επεξεργασίας. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι περιπτώσεις επαναχρησιμοποίησης νερού, στον ελληνικό χώρο

Πίνακας 11 : Έργα επαναχρησιμοποίησης νερού στην Ελλάδα (ΕΡΑ, 2004)

Εγκατάσταση Επεξεργασίας Αποβλήτων	Δυναμικότητα (m ³ /day)	Χρήσεις
Λειβαδιά, Βοιωτία	3500	Άρδευση βαμβακιού
Αμφισσα, Φωκίδα	400	Άρδευση ελαιοδέντρων
Παλαιόκαστρο, Αρκαδία	280	Αποθήκευση, άρδευση ελαιοδέντρων
Χαλκίδα, Εύβοια	13000	Άρδευση τοπίου και δασικών εκτάσεων
Κάρυστος, Εύβοια	1450	Άρδευση τοπίου και δασικών εκτάσεων
Ιερισσός, Χαλκιδική	1200	Άρδευση τοπίου και δασικών εκτάσεων
Άγιος Κωνσταντίνος, Φθιώτιδα	200	Άρδευση τοπίου και δασικών εκτάσεων
Κένταρχος, Σέριφος	100	Άρδευση τοπίου και δασικών εκτάσεων

3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΥΓΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

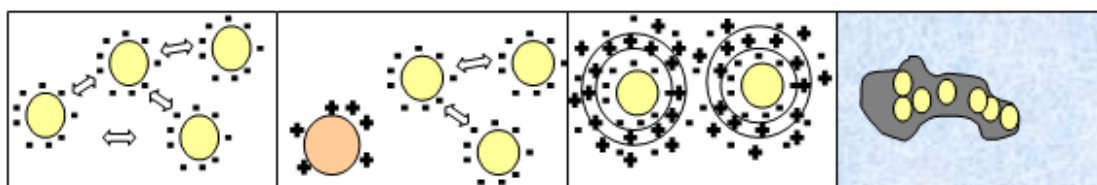
Τα συστήματα της τριτοβάθμιας επεξεργασίας που θα εγκατασταθούν πρέπει να έχουν την δυνατότητα να παράγουν σταθερά νερό ποιότητας ίσης ή καλύτερης από αυτή που προβλέπει η σχετική νομοθεσία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συνδυασμό διαφόρων τεχνολογιών. Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται διάφορες συμβατές τεχνολογίες. Οι τεχνολογίες αφορούν τόσο την παραγωγή ανακτημένου αγροτικού νερού απεριόριστης άρδευσης, όσο και την παραγωγή ανακτημένου νερού για αστικές και περιαστικές χρήσεις. Οι τεχνολογίες αυτές επιτυγχάνουν την περαιτέρω αφαίρεση στερεών, οργανικού φορτίου, χρώματος, αμμωνιακών, νιτρικών, φωσφορικών και άλλων ρυπαντών όπως τα βαριά μέταλλα, το αρσενικό (As), οι τοξικές οργανικές ενώσεις, τα θειούχα (S²⁻), τα κυανιούχα (CN⁻) κ.λπ. (μη συμβατικοί ρύποι του νερού).

3.1 Συστήματα κροκίδωσης

Η κροκίδωση συνίσταται στην χημική αποσταθεροποίηση του κολλοειδούς συστήματος με συνέπεια την θρόμβωση του συστήματος, η οποία είναι απόρροια της δημιουργίας ηλεκτρικά ουδέτερων συσσωματωμάτων. Κροκίδωση των

δευτεροβάθμιων εκροών μπορεί να γίνει με την προσθήκη διαφόρων ηλεκτρολυτών. Το θρομβωμένο σύστημα, μπορεί να συσσωματωθεί περαιτέρω με την προσθήκη, σε δεύτερο στάδιο, κατάλληλων πολυηλεκτρολυτών, οι οποίοι μετατρέπουν το μικρά συσσωματώματα σε συσσωματώματα μεγαλύτερου μεγέθους.

Η κροκίδωση μπορεί να λάβει χώρα σε ειδικά σχεδιασμένα δοχεία ταχείας ανάμειξης ή σε στατικούς αναμείκτες. Οι στατικοί αναμείκτες αποτελούνται από διάταξη με σωλήνα στον οποίο έχουν τοποθετηθεί ειδικού τύπου διαφράγματα, το κολλοειδές έρχεται σε επαφή με το κροκιδωτικό με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα η θρόμβωση. Οι στατικοί αναμείκτες είναι πιο οικονομικοί και έχουν σχετικά απλή λειτουργία, χωρίς, ωστόσο, να προσφέρουν την δυνατότητα ειδικών ρυθμίσεων. Στην εικόνα 1 αναπρίστανται η διαδικασία της κροκίδωσης, όπου με την προσθήκη κροκιδωτικού μέσου, το οποίο μπορεί να είναι άλατα του αργιλίου ή του σιδήρου, έχουμε την εξουδετέρωση του αρνητικού φορτίου των κολλοειδών σωματιδίων και στη συνέχεια τη δημιουργία κροκίδων που καθιζάνουν με μεγαλύτερη ευκολία.



Εικόνα 1. Σχηματική παράσταση της διεργασίας της κροκίδωσης.



Εικόνα 2. Στατικοί αναμείκτες

3.2 Συστήματα Διήθησης

Η διήθηση αποτελεί τεχνολογία επεξεργασίας των επεξεργασμένων λυμάτων και περιλαμβάνει διάφορες παραλλαγές, Μπορεί να γίνει κυρίως με διύλιση, επιφανειακά, με υφασμάτινους ηθμούς, με συστήματα μεμβρανών διήθησης ή και συστήματα

βιοαντιδραστήρων μεμβρανών (Membrane Bioreactors, MBR). Παρακάτω θα περιγράψουμε αναλυτικά τις προηγούμενες τεχνολογίες διήθησης.

3.2.1 Διύλιση (αμμοδιυλιστήρια)

Η διεργασία της διύλισης αφορά την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών από την υγρή φάση όταν αυτή διέρχεται από στρώμα άμμου ή άλλου λεπτόκοκκου στερεού. Πρόκειται για αρκετά δημοφιλή μέθοδο, κυρίως για την διύλιση νερού, αλλά τελευταία χρησιμοποιείται συχνά ως επιμέρους διεργασία της τριτοβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Με την διύλιση επιτυγχάνεται επίσης και απομάκρυνση μέρους του BOD καθώς και μικρού ποσοστού μικροοργανισμών.

Διάφοροι τύποι διυλιστηρίων, με άμμο ως υλικό διύλισης, εφαρμόζονται, οι τρεις κυριότεροι είναι:

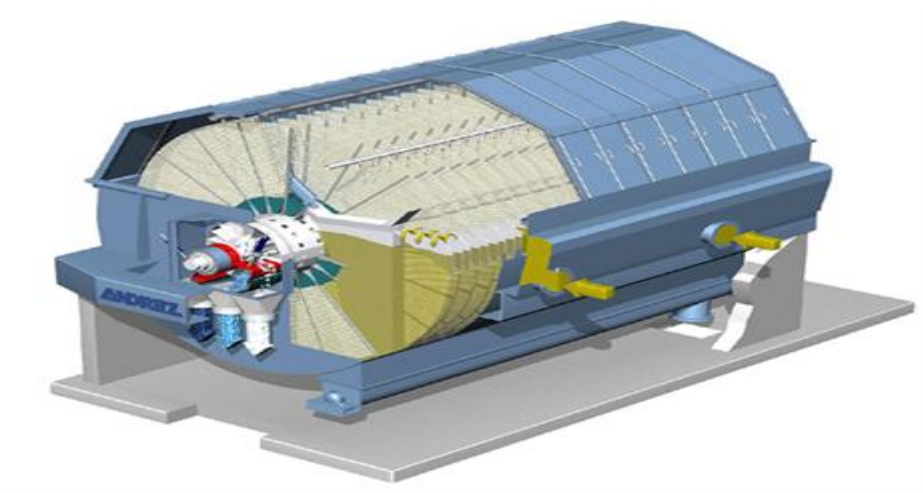
1. τα αμμοδιυλιστήρια καθοδικής ροής,
2. τα αμμοδιυλιστήρια πίεσεως και
3. τα αυτόκαθαιζόμενα αμμοδιυλιστήρια ανοδικής ροής.

3.2.2 Επιφανειακή διήθηση

Η επιφανειακή διήθηση συνίσταται την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών από την υδατική φάση μέσω διέλευσης σε επιφάνειας διήθησης. Ως επιφάνειες διήθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα υλικά, όπως: υφάσματα, μεταλλικά πλέγματα, καθώς και μια σειρά συνθετικών υλικών. Οι διαστάσεις των πόρων των υλικών που χρησιμοποιούνται στην επιφανειακή διήθηση έχουν εύρος μεγέθους 10 έως 30 μm . Ως διεργασίες επιφανειακής διήθησης, επίσης, μπορούμε να θεωρήσουμε την μικροδιήθηση και την υπερδιήθηση, αυτές εξετάζονται ξεχωριστά, λόγω του μικρότερου μεγέθους των πόρων που χρησιμοποιούνται για τη διήθηση.

Οι πιο διαδεδομένοι τύποι διατάξεων επιφανειακής διήθησης είναι:

- (1) οι δισκοειδείς ηθμοί
- (2) οι ηθμοί περιστρεφόμενου τύμπανου



Εικόνα 3. Διάταξη δισκοειδούς ηθμού



Εικόνα 4. Διάταξη ηθμού περιστρεφόμενου τυμπάνου

Κατά την επιφανειακή διήθηση παρατηρείται παρόμοιο ποσοστό απομάκρυνσης μικροοργανισμών όπως και στην αμμοδιύλιση. Είναι σημαντικό, εάν χρησιμοποιηθεί σύστημα επιφανειακής διήθησης, να επιλεγθεί κάποιο σύστημα που έχει αποδεδειγμένα εφαρμοστεί ευρέως και επιτυχώς στο παρελθόν και αυτό διότι είναι σχετικά νέα συστήματα και κατά συνέπεια δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα που να αφορούν τον χρόνο ζωής τους.

3.2.3 Συστήματα μεμβρανών

Οι συμβατικές διεργασίες διήθησης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία μέχρι τώρα, όπως η διύλιση πετρελαίου, χαρακτηρίζονται από υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις, απώλεια σημαντικών ποσοτήτων πρώτων υλών και αυξημένη παραγωγή αποβλήτων (Coutinho et al, 2009). Υπήρξε ανάγκη για ανάπτυξη διεργασιών που η εφαρμογή τους θα ελαττώσει τα προβλήματα που προκύπτουν από τις ήδη εφαρμοζόμενες διεργασίες.

Οι διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες ξεχωρίζουν ως εναλλακτικές στις συμβατικές διαδικασίες και έχουν ευρεία εφαρμογή στις χημικές, στη φαρμακευτικές, στις βιοτεχνολογικές και στις βιομηχανίες τροφίμων. Σε πολλές περιπτώσεις, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, η μείωση του αριθμού των σταδίων επεξεργασίας, η μεγαλύτερη ικανότητα διαχωρισμού και η βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος είναι τα πλεονεκτήματα της διεργασίας αυτής (Coutinho et al, 2009; Munir, 2006).

Με τον όρο μεμβράνες εννοούμε ορισμένα πορώδη στρώματα, τα οποία επιτρέπουν την διέλευση, διαμέσου των πόρων τους, μόνο ορισμένων ουσιών, ανάλογα με τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες (Munir, 2006). Ο διαχωρισμός των συστατικών ενός διαλύματος βασίζεται τόσο στη διαφορά τάξεως μεγέθους των μορίων όσο και σε άλλους παράγοντες όπως οι χημικές, μοριακές και ηλεκτροστατικές δυνάμεις (Munir, 2006). Οι μεμβράνες μπορούν να εφαρμοστούν για το διαχωρισμό ουσιών όπως διαλυτά ιόντα και μόρια, μόρια διαλύτη, μακρομόρια, κolloειδή και αιωρούμενα στερεά (Munir, 2006).

Σε γενικές γραμμές τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών είναι το πάχος, η διάμετρος των πόρων, η διαπερατότητα του και το πορώδες. Άλλες σημαντικές παράμετροι είναι η ταχύτητα ροής, η θερμότητα, η χημική και μηχανική αντοχή (Coutinho et al, 2009).

Η κατηγοριοποίηση των τύπων μεμβρανών γίνεται ανάλογα με το μέγεθος των πόρων οι οποίοι δεν επιτρέπουν συγκεκριμένου μεγέθους στερεό ή μόριο μιας ένωσης να περάσει. Έτσι προκύπτουν οι εξής κατηγορίες μεμβρανών: αντίστροφη όσμωση, νανοφίλτραση, μικροφίλτραση, υπερδιήθηση και η συμβατική διήθηση (Munir, 2006; Suthan et al, 1999). Η δρώσα δύναμη για τις παραπάνω κατηγορίες είναι η διαφορά υδροστατικής πίεσης, δηλαδή η εφαρμογή υδραυλικής πίεσης για να επιτευχθεί ο διαχωρισμός (Metcalf & Eddy, 2007).

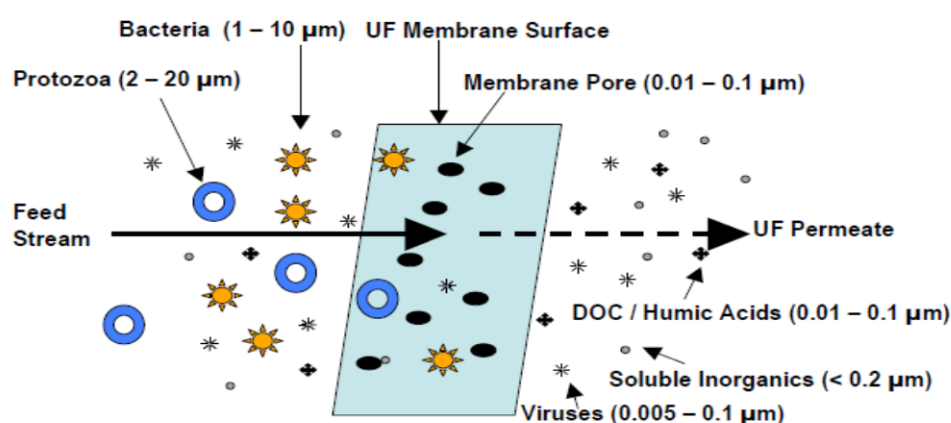
3.2.3.1 Κατηγορίες Μεμβρανών

Υπερδιήθηση (Ultrafiltration)

Η υπερδιήθηση διαχωρίζει σωματίδια και μόρια τα οποία διαφέρουν τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους. Υλικά μικρού μοριακού βάρους, άλατα και το νερό διαπερνούν τους πόρους των μεμβρανών όταν ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους (>1,000), αιωρούμενα στερεά και κolloειδή παραμένουν στη μεμβράνη (Munir, 2006). Οι πόροι των μεμβρανών κυμαίνονται από 0.001-0.1μm, εμποδίζοντας έτσι και την διέλευση

πρωτεϊνών, πρωτόζωων, βακτηρίων και ορισμένων ιών (Arnal et al, 2009; Walsh et al, 2006; Metcalf & Eddy, 2007).

Η υπερδιήθηση εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων της μεμβράνης και από το μέγεθος των μορίων των ουσιών του διαλύματος ή από το μέγεθος των σωματιδίων. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υπερδιήθησης την καθιστούν ικανή για την εφικτή παραγωγή ποσίμου νερού χωρίς κάποια άλλη επεξεργασία του νερού όπως προσθήκη κροκιδωτικών ή άλλων χημικών απολυμαντικών (Arnal et al, 2009).



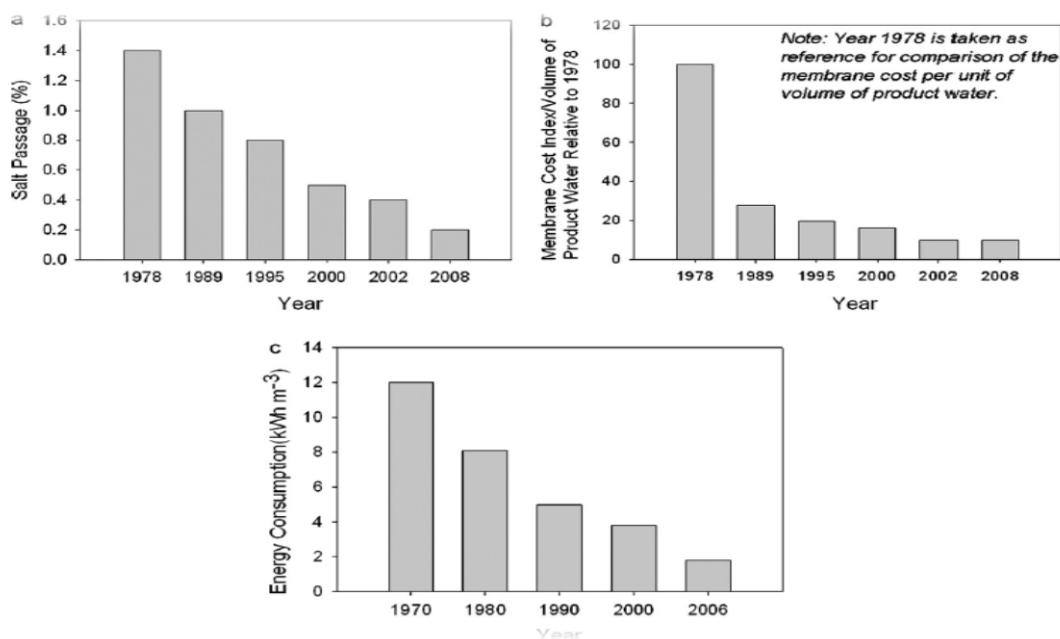
Εικόνα 5. Σύστημα Υπερδιήθησης

Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis)

Η αντίστροφη όσμωση διαχωρίζει άλατα και μόρια μικρού μοριακού βάρους από τα διαλύματα, σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Οι μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης αξιολογούνται από τη δυνατότητα τους να παρακρατήσουν το 10aCl , σε σχέση με τις μεμβράνες υπερδιήθησης οι οποίες αξιολογούνται από το μοριακό βάρος των ενώσεων, τις οποίες παρακρατούν (Munir, 2006). Η αντίστροφη όσμωση κατακρατά το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων και διαλυμένων στερεών.

Αποτελεί την πιο διαδεδομένη διεργασία παραγωγής νερού από αφαλάτωση. Ειδικά στον τομέα της αφαλάτωσης έχει πετύχει σημαντικά επιτεύγματα, όπως η μείωση της περατότητας του 10aCl , με παράλληλη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και κατά συνέπεια του λειτουργικού κόστους, χάρη στη βελτίωση των υλικών κατασκευής της (Metcalf & Eddy, 2007; Lee et al, 2011).

Η Δρώσα δύναμη που εφαρμόζεται στην διεργασία της αντίστροφης όσμωσης είναι η διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ των διαλυμάτων εκατέρωθεν της μεμβράνης (Metcalf & Eddy, 2007).



Εικόνα 6. α) αποτελεσματικότητα της αντίστροφης όσμωσης σε σχέση με το χρόνο, β) κόστος της αντίστροφης όσμωσης σε σχέση με το χρόνο, γ) κατανάλωση ενέργειας της αντίστροφης όσμωσης σε σχέση με το χρόνο (Πηγή Lee et al. 2011)

Μικροδιήθηση (Microfiltration)

Στη διεργασία της μικροδιήθησης έχουμε απομάκρυνση, μέσω των μικρό-πόρων της μεμβράνης, ουσιών και βιολογικών οντοτήτων από 0.025-0.10μm (Munir, 2006; Metcalf & Eddy, 2007). Το διήθημα που προκύπτει από την εφαρμογή της μικροδιήθησης αποτελείται από νερό και ενώσεις μικρού μοριακού βάρους, ενώ το συμπύκνωμα της διεργασίας περιέχει, μακρομόρια, κολλοειδή, τα περισσότερα βακτήρια, ορισμένους ιούς που είναι προσκολλημένοι στα κολλοειδή, κολλοειδή και πρωτεΐνες, επιτυγχάνοντας έτσι μείωση της θολότητας του νερού και διευκολύνοντας την απολύμανση (Munir, 2006; Metcalf & Eddy, 2007).

Η διεργασία της μικροδιήθησης αποτελεί και στάδιο προ επεξεργασίας του νερού πριν αυτό εισέλθει σε μια διάταξη αντίστροφης όσμωσης. Ο μηχανισμός που ακολουθείται στη μικροδιήθηση είναι αυτός της κοσκίνισης, που ακολουθείται και στην υπερδιήθηση (Metcalf & Eddy, 2007). Οι μεμβράνες μικροδιήθησης χρησιμοποιούνται ευρέως στην αερόβια και αναερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων, έχοντας μάλιστα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών συστημάτων ενεργού ιλύος, όπως υψηλή ποιότητα λυμάτων εκροής, μικρότερες απαιτήσεις για απολύμανση και παραγωγή ιλύος (Clech et.al, 2006; Metcalf & Eddy, 2007). Οι

διεργασία της μικροδιήθησης αποτελεί στάδιο προεπεξεργασίας των λυμάτων πριν τη νανοδιήθηση και την αντίστροφη όσμωση (Metcalf & Eddy, 2007).

Νανοδιήθηση (nanofiltration)

Η εφαρμογή της νανοδιήθησης στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων έγκειται στην απομάκρυνση διαλυτών συστατικών όπως τα πολυσθενή μεταλλικά ιόντα που αυξάνουν τη σκληρότητα του νερού (Metcalf & Eddy, 2007), αλλά και βαρέων μετάλλων όπως Ni και Cr(III) (Gomes et al, 2010). Επεξεργάζεται, επιτυχώς, ισχυρά όξινα απόβλητα των βιομηχανικών μονάδων (Gomes et al, 2010).

Η διεργασία της νανοδιήθησης έχει πλεονέκτημα έναντι συμβατικών τεχνικών αποσκλήρυνσης όπως η προσθήκη ασβέστη (Metcalf & Eddy, 2007). Το νερό που προκύπτει μετά από τη διεργασία της νανοδιήθησης πληρεί τις πιο αυστηρές προδιαγραφές επαναχρησιμοποίησης (Metcalf & Eddy, 2007; Gomes et al, 2010). Η νανοδιήθηση κατακρατεί σωματίδια μεγέθους έως 0,001μm, απομακρύνονται εκτός, από ανόργανα συστατικά, βακτήρια και ιοί, ελαχιστοποιώντας τις απαιτήσεις της απολύμανσης (Metcalf & Eddy, 2007).

3.2.3.2 Υλικά Μεμβρανών

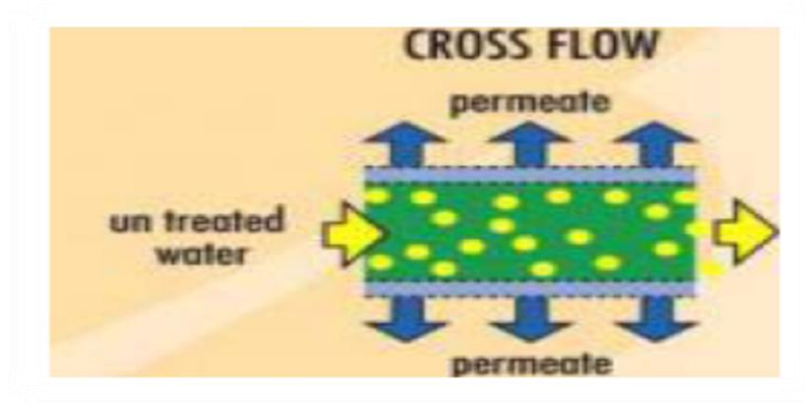
Οι περισσότερες μεμβράνες του εμπορίου παράγονται ως επίπεδα φύλλα, λεπτές κοίλες ίνες ή σε αυλωτή μορφή. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι συνήθως οργανικές.

Βασικοί τύποι μεμβρανών περιλαμβάνουν μεμβράνες προπυλενίου, οξικής κυτταρίνης (1^η γενιά μεμβρανών), αρωματικών πολυαμιδίων, πολυσουλφόνης (2^η γενιά μεμβρανών) και διφθοριούχου πολυβινυλιδενίου, σύνθετες μεμβράνες λεπτού στρώματος (Thin-film composite, TFC) και ανόργανα υλικά όπως: μέταλλα και κεραμικά υλικά όπως ζirkόνιο ή αλουμίνα (3^η γενιά μεμβρανών). Η επιλογή των μεμβρανών βασίζεται ως προς την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας φραξίματος της μεμβράνης και γίνεται σε δοκιμές πιλοτικής κλίμακας (Coutinho et al, 2009; Metcalf & Eddy, 2007).

3.2.3.3 Διάταξη Μεμβρανών

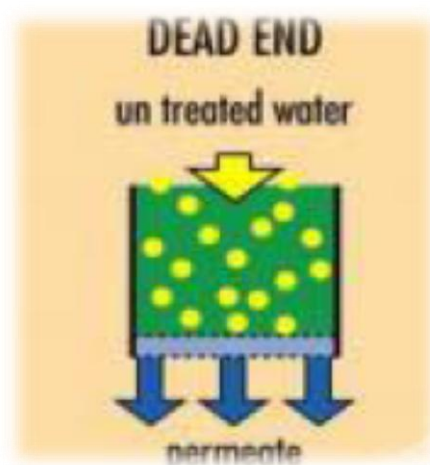
Η διάταξη μεμβρανών περιλαμβάνει 2 κύριες κατηγορίες: η διάταξη εγκάρσιας ροής (Cross flow) και η διάταξη άμεσης τροφοδοσίας ή τύπου αδιεξόδου (Dead-end) (Munir, 2006; Metcalf & Eddy, 2007).

Στη διάταξη εγκάρσιας τομής το νερό τροφοδοσίας τροφοδοτείται με πίεση με εγκάρσια ροή εφαπτομενικά της μεμβράνης. Μέρος του νερού τροφοδοσίας που δε διαπερνά τη μεμβράνη πηγαίνει με ρεύμα ανακυκλοφορίας πίσω στο ρεύμα τροφοδοσίας (Metcalf & Eddy, 2007). Σε μια διάταξη εγκάρσιας ροής, χρησιμοποιούνται κλειστοί αγωγοί όπου στο εσωτερικό τους τοποθετούνται μεμβράνες, παράλληλα στη ροή του υγρού. Ο όρος εγκάρσια ροή χρησιμοποιείται γιατί η ροή του διηθήματος είναι κάθετη στη ροή τροφοδοσίας του υγρού (Munir, 2006).



Εικόνα 7. Διάταξη εγκάρσιας ροής

Στη διάταξη άμεσης τροφοδοσίας όλο το νερό τροφοδοσίας διαπερνά τη μεμβράνη, η διαδικασία αυτή είναι τύπου batch, καθώς η τροφοδοσίας διακόπτεται για να καθαριστεί η μεμβράνη από τις ουσίες που συσσωρεύονται στην επιφάνεια της (Munir, 2006; Metcalf & Eddy, 2007).



Εικόνα 8. Διάταξη άμεσης ροής

Μια μονάδα μεμβρανών αποτελούμενη από τις μεμβράνες, τη κατασκευή υποστήριξης των μεμβρανών λόγω πίεσης, το σύστημα τροφοδοσίας και το σύστημα εξόδου του διηθήματος (καθαρό νερό) και του συμπυκνώματος (απόβλητα προς ανάκτηση ή απόρριψη), ονομάζεται δομοστοιχείο μεμβρανών. Στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται τρεις βασικοί τύποι δομοστοιχείων μεμβρανών: Οι σωληνοειδείς, κοίλων ινών και ελικοειδούς περιέλιξης (Metcalf & Eddy, 2007).

Οι μεμβράνες σωληνοειδούς μορφής, τοποθετούνται στο εσωτερικό ενός υποστηρικτικού σωλήνα και ο αριθμός των σωλήνων (μεμονωμένα ή σε δέσμες) τοποθετείται σε ένα δοχείο πίεσης. Το νερό τροφοδοσίας εισάγεται με πίεση διαμέσου του αγωγού τροφοδοσίας και το διήθημα συλλέγεται από την εξωτερική επιφάνεια των σωληνοειδών μεμβρανών. Οι μονάδες σωληνοειδούς μορφής εφαρμόζονται για λύματα με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα φραξίματος. Είναι εύκολες ως προς την απόφραξη τους.

Οι μεμβράνες κοίλων ινών αποτελούνται από μια δέσμη εκατοντάδων κοίλων ινών. Η τροφοδοσία του νερού εφαρμόζεται είτε εσωτερικά της ίνας είτε εξωτερικά.. Στις μεμβράνες ελικοειδούς περιέλιξης, τοποθετείται ένα εύκαμπτο διαχωριστικό ανάμεσα σε δύο φύλλα μεμβράνης. Οι μεμβράνες φράζονται στις τρεις πλευρές. Η ανοικτή πλευρά προσκολλάται σε ένα διάτρητο αγωγό. Προστίθεται ένα εύκαμπτο διαχωριστικό τροφοδοσίας και τα φύλλα τυλίγονται σε μια σφικτή κυλινδρική διαμόρφωση. Η ροή του νερού στη διάταξη περιτύλιξης είναι ελικοειδούς τύπου (Metcalf & Eddy, 2007).

3.2.3.4 Φράξιμο Μεμβρανών

Φράξιμο των μεμβρανών γίνεται λόγω της πιθανής συσσώρευσης συστατικών στην επιφάνεια της μεμβράνης, στην πλευρά της τροφοδοσίας. Είναι σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού σε μια διεργασία μεμβρανών. Ρυθμίζει το βαθμό της απαιτούμενης προεπεξεργασίας του νερού, τια απαιτήσεις για καθαρισμό της μεμβράνης, τις συνθήκες λειτουργίας (πχ. Batch) και κατά συνέπεια το κόστος και την απόδοση της διεργασίας (Γιδαράκος & Αϊβαλιώτη, 2007; Metcalf & Eddy, 2007). Η έμφραξη των μεμβρανών γίνεται είτε λόγω συσσώρευσης συστατικών στην επιφάνεια της μεμβράνης όπως κολλοειδή, βακτήρια, οργανικά κι ανόργανα συστατικά, μπορεί να συμβεί από σχηματισμό ιζημάτων, από διάφορα άλατα, λόγω των χημικών χαρακτηριστικών του νερού και τέλος από καταστροφή της μεμβράνης

λόγω κάποιων χημικών ενώσεων (οξέα, βάσεις, κλπ) ή από σχηματισμό βιοφίλμ στην επιφάνεια της μεμβράνης.

Η προεπεξεργασία του νερού τροφοδοσίας με μικροδιήθηση ή υπερδιήθηση, η αντίστροφη πλύση της μεμβράνης με νερό ή αέρα και ο χημικός καθαρισμός είναι οι τεχνικές καθαρισμού των μεμβρανών που ακολουθούνται (Metcalf & Eddy, 2007).

3.2.3.5 Εφαρμογές Μεμβρανών

Η μικροδιήθηση και η υπερδιήθηση χρησιμοποιούνται στην αερόβια και αναερόβια βιολογική επεξεργασία αστικών λυμάτων και υγρών αποβλήτων, στους λεγόμενους αντιδραστήρες μεμβρανών (MBR) (Clech et.al, 2006; Metcalf & Eddy, 2007). Χρησιμοποιούνται ως μέσα για τον διαχωρισμό του επεξεργασμένου υγρού από την ενεργό βιομάζα. Χρησιμοποιούνται επίσης ως στάδιο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας για την μείωση της συγκέντρωσης των αιωρούμενων στερεών στο ρεύμα του υγρού προς απολύμανση (Metcalf & Eddy, 2007).

Η νανοδιήθηση έχει κύρια εφαρμογή την επαναχρησιμοποίηση έμμεσα ποσίμου νερού, πχ πριν τον εμπλουτισμό στον υπόγειο υδροφόρα, εφαρμόζεται ως στάδιο της τριτοβάθμιας επεξεργασίας ελαττώνοντας τις απαιτήσεις της απολύμανσης, ενώ χρησιμεύει στην αποσκλήρυνση του νερού (Metcalf & Eddy, 2007; Gomes et al, 2010). Η αντίστροφη όσμωση έχει τα ίδια σχεδόν πεδία εφαρμογών με τη νανοδιήθηση, αλλά η κύρια και ευρέως διαδομένη εφαρμογή της είναι σε μονάδες αφαλάτωσης για παραγωγή πόσιμου νερού (Metcalf & Eddy, 2007; Lee et al, 2011). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι εφαρμογές των διαφόρων τεχνολογιών μεμβρανών για συστατικά που απαντώνται στα υγρά απόβλητα (Metcalf & Eddy, 2007).

Πίνακας 12: Εφαρμογές των τεχνολογιών των μεμβρανών για την απομάκρυνση ειδικών συστατικών που απαντώνται στα υγρά απόβλητα (Metcalf & Eddy, 2007)

	Τεχνολογία Μembrάνης			
Ρύπος	MF	UF	NF	RO
Βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις		+	+	+
Σκληρότητα			+	+
Βαρέα μέταλλα			+	+
Νιτρικά			+	+
Οργανικοί Ρύποι		+	+	+
Συνθετικές οργανικές ενώσεις			+	+
TDS			+	+
TSS	+	+		
Βακτήρια	+	+	+	+
Κύστες πρωτόζωων	+	+	+	+
Ιοί			+	+

3.2.4 Συστήματα MBR

Οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών αποτελούν μια από τις νεότερες τεχνολογίες στην επεξεργασία αστικών λυμάτων και υγρών αποβλήτων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης σε εφαρμογές όπως η αφαλάτωση. Στον τομέα των υγρών αποβλήτων ξεκίνησαν πειραματικά τη δεκαετία του 1970, ενώ οι πρώτες δοκιμές για διαχωρισμό στερεών-υγρών αποβλήτων σε μονάδες ενεργού ιλύος έγιναν το 1989. Σημαντικά αποτελέσματα στην ποιότητα των επεξεργασμένων αποβλήτων είχε η εφαρμογή των πλήρως βυθισμένων στο νερό MBR, των SMBR, οι οποίοι αποτελούν και τη βασική κατηγορία βιοαντιδραστήρων μεμβρανών (Walsh & Gagnon 2006).

Οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών συνδυάζουν βιολογικές διεργασίες και διατάξεις μεμβρανών. Η τεχνολογία των μεμβρανών επιλέγεται ως μέθοδος επεξεργασίας σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους γιατί, μπορεί να επιτύχει υψηλή απομάκρυνση οργανικού φορτίου και να λειτουργεί σε υψηλές συγκεντρώσεις στερεών σε μικρότερο όγκο δεξαμενής. Η υψηλή συγκέντρωση στερεών μέσα στον αντιδραστήρα μεμβρανών χρησιμοποιείται αντί της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης, της οποίας η κατασκευή μπορεί να παραβλεφθεί, εξασφαλίζοντας χώρο σε μια μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τύπου

μικροδιήθησης (MF) ή υπερδιήθησης (UF) . Το μέγεθος αυτό μπορεί να λειτουργήσει ως ένα βαθμό ως φυσική απολύμανση. Λειτουργώντας με διεργασίες ενεργού ιλύος μπορούν ταυτόχρονα να επιτύχουν και υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης θρεπτικών ως στάδιο ταυτόχρονης Νιτροποίησης/Απονιτροποίησης κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες λειτουργίας (Insel et al. 2011).

Το σημαντικότερο μειονέκτημα τους όμως είναι το φράξιμο των μεμβρανών (fouling) που σχετίζεται με τις συνθήκες λειτουργίας τους. Οι MBR λειτουργούν σε υψηλά φορτία ενεργού βιομάζας και σε υψηλούς χρόνους παραμονής των στερεών (SRT) μέσα στον αντιδραστήρα. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η τροφοδοσία σε υπόστρωμα ως προς τη βιομάζα (λόγος F/M). Οι συνθήκες λειτουργίας αυτές επηρεάζουν την παραγωγή των κυτταρικών προϊόντων, που κυρίως στην διασδιάλυτη μορφή τους (EPS), αλλά και στην διαλυτή (SMP) αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για το φράξιμο των μεμβρανών, καθώς με τη σειρά τους επηρεάζουν τις υδραυλικές συνθήκες λειτουργίας και δεν πρέπει να αγνοούνται κατά την μελέτη ενός MBR (Jang et al. 2006).

Οι μεμβράνες αυτές έχουν σχετικά μεγάλο βαθμό διαπερατότητας με εύρος πόρων 0 έως 1,0μm, τοποθετούνται είτε μέσα στη δεξαμενή αερισμού (sMBR), είτε στο κατάντη ρεύμα (sidestream MBR).

Με την επεξεργασία των λυμάτων επιτυγχάνονται ποσοστά απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου των λυμάτων, σε ποσοστά έως και 99% (Saroj et al. 2008). Η απομάκρυνση των στερεών από το ρεύμα του διηθήματος είναι σχεδόν πλήρης και ταSS_{perm} τείνουν στα 0 mg/L (Jang et al. 2006). Η πλεονάζουσα ιλύς είναι η ελάχιστη δυνατή και πλήρως σταθεροποιημένη. Όλη η μονάδα δύναται να τοποθετηθεί εντός οικίσκου προσαρμοσμένου στο περιβάλλον της περιοχής, γεγονός που καθιστά την μέθοδο αυτή πολύ ελκυστική για τουριστικές περιοχές με ακριβή κτήση γης.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να αποτελέσει αυτοτελή επεξεργασία, μετά από κάποια ειδική απλή προ-επεξεργασία, η συμπληρώνει την επεξεργασία σε υφιστάμενες μονάδες ως τριτογενές στάδιο επεξεργασίας και είναι πλέον κατάλληλη ως αποκεντρωμένο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων.

Η μέθοδος MBR είναι αρκετά διαδεδομένη στην Β. Αμερική και στην Ευρώπη. Η μεγαλύτερη εγκατάσταση MBR ευρίσκεται στην Brescia της Ιταλίας με δυναμικότητα επεξεργασίας 42.000 m³ ημερησίως.

Η MBR λειτουργεί σαν μονάδα ενεργού ιλύος σε υψηλές συγκεντρώσεις στερεών (MLSS) της τάξης των 12 με 20 gr/m³, και ηλικία λάσπης 30 ως 60 ημέρες,

ελαχιστοποιώντας τον υδραυλικό χρόνο παραμονής και την πλεονάζουσα ιλύ που είναι πλήρως σταθεροποιημένη. Δεξαμενές καθίζησης μεγάλης έκτασης αντικαθίστώνται από μονάδες MBR διύλισης (μέσω μεμβρανών) τύπου MF ή UF με μέσο άνοιγμα πόρων 0,4 μm .

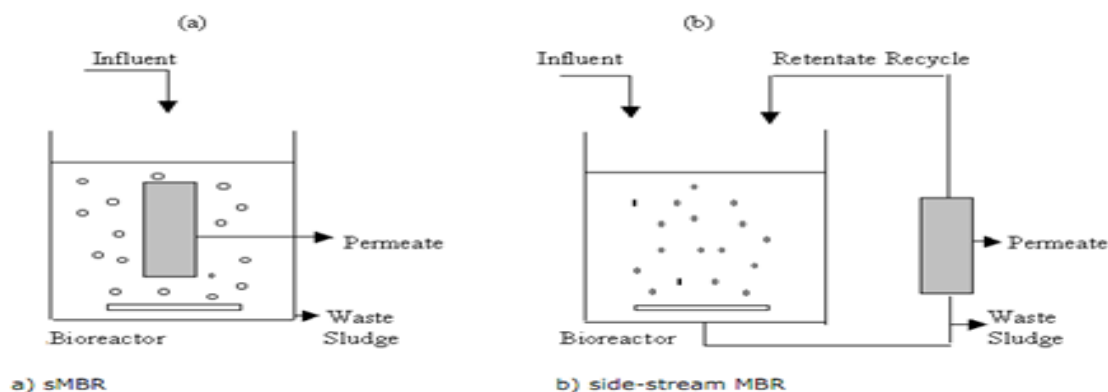
Η επανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος, (side-stream MBR), γίνεται με ταχείς ρυθμούς, πέντε φορές, της κανονικής παροχής, σε αντίθεση με τα κλασσικά συστήματα ενεργού ιλύος που η ανακυκλοφορία κυμαίνεται από 50 έως 150% της ημερήσιας παροχής.

Η μεγάλη συγκέντρωση της βιομάζας (MLVSS) στον MBR έχει ως συνέπεια την ολική βιοαποικοδόμηση της οργανικής ύλης (ελάχιστη πλεονάζουσα ιλύς) και την νιτροποίηση σε μέσο χρόνο λειτουργίας 3 ωρών.

Η παραγωγή περίσσειας ιλύος θεωρητικά μπορεί να τείνει στο 0,00 Kgr/Kgr BOD, αλλά πρακτικά μπορεί να φθάσει και μέχρι 0,15 Kgr/Kgr BOD. Το πρόβλημα της έμφραξης των μεμβρανών (Membrane fouling efect) χρήζει μεγάλης προσοχής και αντιμετωπίζεται τόσο με την σημερινή ποιότητα των μεμβρανών, όσο και με την πρέπουσα προεπεξεργασία των λυμάτων, όπως είναι η μικροεσχάρωση σε εν σειρά σταδία (π.χ. δυο εν σειρά μικροεσχάρες ανοιγμάτων 0,002 cm. και 0,0008 cm.).

Ο καθαρισμός των μεμβρανών επιτυγχάνεται συνήθως μέσω αερισμού (Μεγάλες φυσαλίδες, sMBR) ή με αντίστροφη έκπλυση, και κατά τακτά διαστήματα με χρήση χημικών διαλυμάτων, ενώ η ζωή της μεμβράνης κυμαίνεται από 3 ως 10 χρόνια, γεγονός που εξαρτάται από την ποιότητα των εισερχόμενων λυμάτων, την ποιότητα της μεμβράνης και την μέθοδο προεπεξεργασίας (Ζαχαρίας, 2011).

Δεδομένου ότι η ιλύς επαναφέρεται συνεχώς στον βιοαντιδραστήρα, που λειτουργεί κάτω από συνθήκες έντονης βιοδιασπάσης της οργανικής ύλης, η πλεονάζουσα ιλύς είναι ποσοτικά παρά πολύ λίγη σε σχέση με την κλασσική μονάδα ενεργού ιλύος και αρκετά λίγη σε σχέση με τον παρατεταμένο αερισμό. Το MBR σύστημα λειτουργεί είτε με εμβαπτιζόμενες μεμβράνες στον βιοαντιδραστήρα (submerged MBR) είτε με εξωτερικές μεμβράνες (side-stream MBR) (Ζαχαρίας, 2011).



Εικόνα 9. Τυπικά συστήματα MBR: α) εμβαπτιζόμενος MBR, β) MBR με εξωτερικές μεμβράνες

Τα συστήματα sMBR, όπως φαίνονται και στην εικόνα 9, παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος ως προς το σύστημα αερισμού σε σύγκριση με τα κατάντη συστήματα MBR. Το κόστος άντλησης στα κατάντη συστήματα MBR είναι υψηλότερο, λόγω της μεγάλης συχνότητας ανακυκλοφορίας. Το μεγάλο ποσοστό ανακυκλοφορίας της λάσπης, δίνει το πλεονέκτημα μικρότερων απατήσεων σε όγκο δεξαμενής σε σχέση με τα συστήματα sMBR. Ωστόσο τα κατάντη συστήματα απαιτούν μεγαλύτερη συχνότητα καθαρισμού των μεμβρανών και γενικά σε σχέση με τα εμβαπτισμένα συστήματα έχουν μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας αν και είναι σχετικά φθηνά κατά την κατασκευή τους. Τα κυριότερα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο συστημάτων παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 13. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα των 2 μεθόδων MBR (Πηγή: Ζαχαρίας, 2011)

Τύπος MBR	sMBR	side-stream MBR
Κόστος Αερισμού	Υψηλό (90%)	Χαμηλό (20%)
Κόστος Αντλησης	Πολυ χαμηλό (28%)	Υψηλό (60% ως 80%)
Απαιτ. Εκταση	Μεγαλύτερη	Μικρότερη
Συχνότης καθαρ. Μεμβρ.	Μικρότερη	Μεγαλύτερη
Λειτουργικά Εξοδα	Μικρότερα	Μεγαλύτερα
Κόστος Κατασκευής	Μεγαλύτερο	Μικρότερο



Εικόνα 10. Σύστημα MBR/Μμεμβράνες MBR/Ενσωμάτωση συστήματος

Συνοψίζοντας τα κυριότερα χαρακτηριστικά μιας μονάδος MBR και συγκρίνοντας τα με τα αντίστοιχα μιας κλασσικής μονάδος ενεργού ιλύος, παραθέτουμε τον παρακάτω πίνακα.

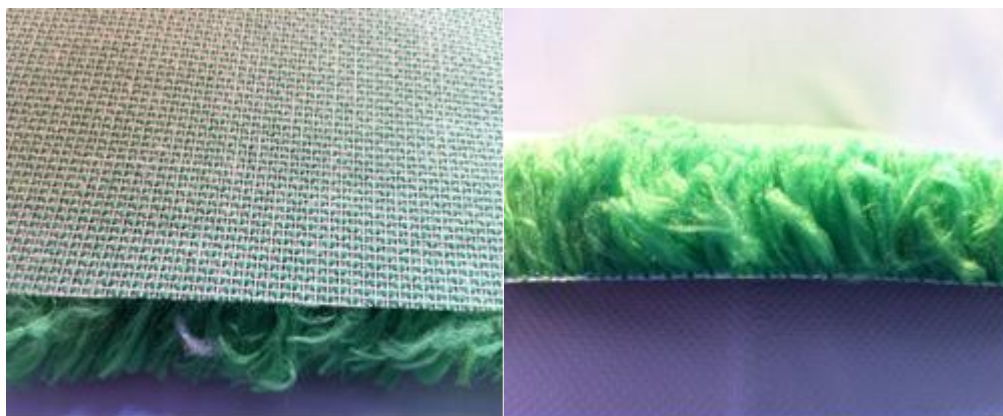
Πίνακας 14: Σύγκριση Μονάδων Παρατ. Αερισμού και MBR

α/α	Παράμετρος	Παρατ. Αερισμός	MBR
1	Ποιότητα Επεξ. Λυμάτων	Πολύ Καλή	Άριστη
2	Απαιτούμενη Έκταση (m ² /PE)	0,5 έως 1,0	0,10
3	Αισθητική Διάσταση	Αρνητική	Προσαρμογή στο Περιβάλλον
4	Λειτουργία/Συντήρηση (Λ/Σ)	Πολλαπλό Ειδ. Προσωπικό	Ελάχιστο Ειδ. Προσωπικό
5	Ευελιξία Επέκτασης/Περιορισμός Μονάδας	Αρκετά δύσκολη	Απόλυτη και Εύκολη
6	Οσμές	Σπανίως αλλά πιθανές	Καμία (κλειστό κυκλ.)
7	Κόστος Κατασκευής	Μεγάλο	Μικρότερο (ελάχιστα)
8	Κόστος Λ/Σ	Σημαντικό	Μεγαλύτερο

3.2.5 Υφασμάτινοι Ηθμοί

Οι υφασμάτινοι ηθμοί αποτελούν ουσιαστικά την πιο πρόσφατη τεχνολογία των συστημάτων διήθησης. Η απόδοση ενός τέτοιου ηθμού είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε απλή τεχνολογία φίλτρων που υπάρχει στην αγορά και πιθανότατα να είναι αρκετά κοντά στην απόδοση που έχει ένα καλά σχεδιασμένο αμμόφιλτρο και μάλιστα με χαμηλότερες απαιτήσεις σε ενέργεια.

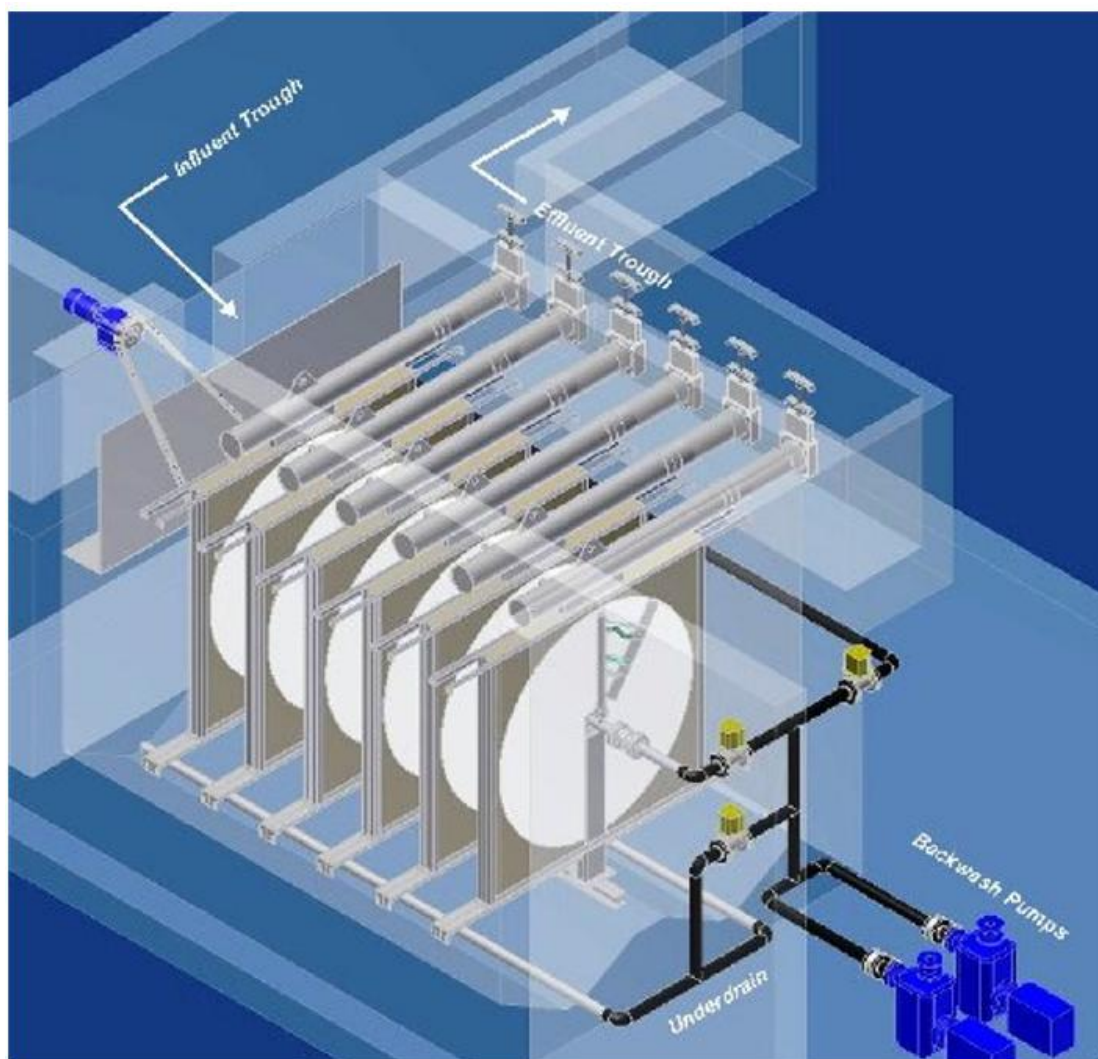
Οι υφασμάτινοι ηθμοί αποτελούνται από έναν πυκνό πέλο υφάσματος, παρόμοιο με αυτόν ενός τάπητα. Έχει μακριές ίνες οι οποίες στηρίζονται πάνω σε μία στερεή ημι-άκαμπτη βάση. Οι ίνες του σωρού είναι λεπτού πάχους και ενεργούν ανεξάρτητα, δημιουργώντας μια πολύ μεγάλη επιφάνεια στην οποία προσκολλώνται τα σωματίδια και η οποία λειτουργεί ταυτόχρονα ως κόσκινο.



Εικόνα 11. Τύπος υφάσματος υφασμάτινου ηθμού

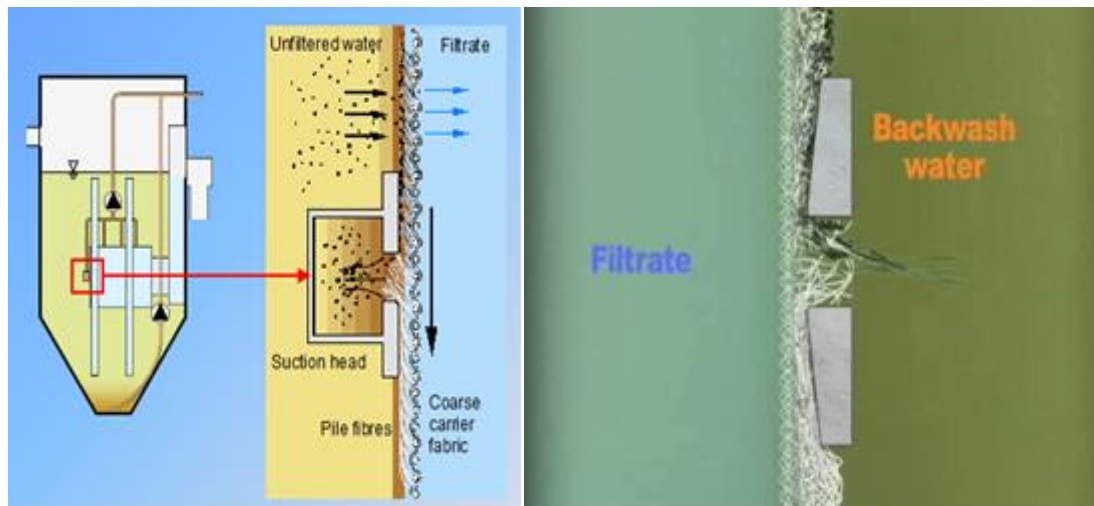
Οι συγκεκριμένοι ηθμοί σε αντίθεση με τα κοινά φίλτρα που δεν μπορούν να κάνουν αποτελεσματική διήθηση σε βάθος, εκμεταλλεύονται το πορώδες τους για να δεσμεύσουν καλύτερα τα στερεά σωματίδια.

Μεγιστοποιώντας την επιφάνεια του υφάσματος στα φίλτρα διαπιστώνεται μεγαλύτερη ικανότητα στην κατακράτηση των στερεών σωματιδίων και αυτό είναι ένα ακόμα πλεονέκτημα των υφασμάτινων ηθμών όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 12. Σχηματική περιγραφή λειτουργίας ενός υφασμάτινου ηθμού (http://www.globaltreat.com/_brochures/wastewater/Fixed-Cloth-Disk-Filter.pdf)

Ο καθαρισμός τους αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη σωστή λειτουργία τους. Η συγκράτηση ορισμένων στερεών σωματιδίων και πιο συγκεκριμένα τα υπολείμματα ιλύος επηρεάζουν σημαντικά τον χρόνο ζωής των συγκεκριμένων φίλτρων και την λειτουργία τους. Μόλις επιτευχθεί ένα προκαθορισμένο ποσοστό απωλειών, το σύστημα αντιστρέφει αυτομάτως την ροή σε ένα μόνο τμήμα του φίλτρου και παράλληλα εκκενώνει τον χώρο εκείνο όπου έχει διαπιστωθεί πρόβλημα ύστερα από ειδικές διεργασίες τον επαναφέρει στην αρχική του κατάσταση.

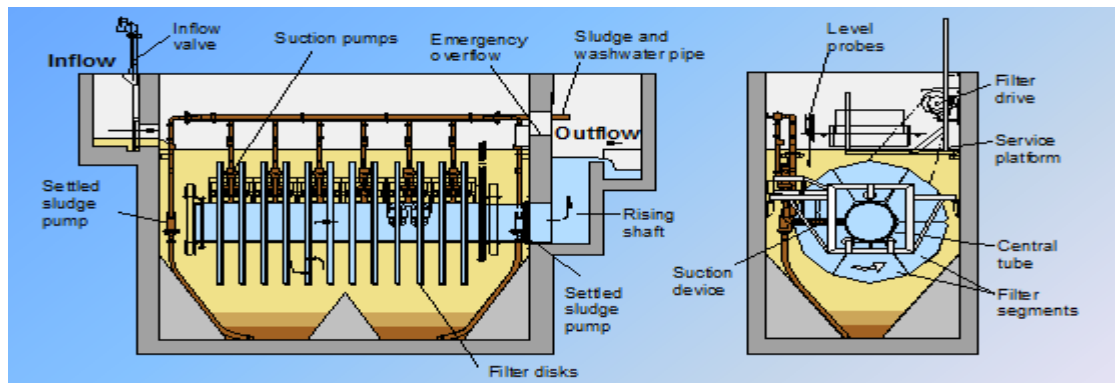


Εικόνα 13. Δημιουργία κλειστού καναλιού για τη συσσώρευση των στερεών

Μια ειδική κεφαλή έρχεται σε επαφή με το ύφασμα έτσι ώστε να δημιουργήσει κλειστό κανάλι με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ταχύτητα ροής των σωματιδίων που θα κληθούν να περάσουν από το σωρό του υφάσματος.

Υπάρχουν 2 τύποι υφασμάτων ηθμών, αυτός του περιστρεφόμενου τυμπάνου (DF) και ο Δισκοειδής τύπος (SF). Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι τα εξής:

- Υψηλή διαχωριστική ικανότητα
- Υψηλή απόδοση
- Δεν απαιτείται άντληση των λυμάτων
- Μικρή απαίτηση χώρου
- Υψηλή ασφάλεια λειτουργίας
- Μακρύς χρόνος ζωής υφάσματος
- Απλή αντικατάσταση υφάσματος
- Χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης
- Χαμηλό κόστος επένδυσης
- Χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας



Εικόνα 14. Αναπαράσταση λειτουργίας υφασμάτινου ηθμού



Εικόνα 15. Διάταξη συστήματος cloth filter

3.3 Συστήματα απολύμανσης

Ο όρος απολύμανση αναφέρεται στην αδρανοποίηση, μερική θανάτωση οργανισμών που προκαλούν ασθένειες, παρεμπόδιση της φάσης ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών. Ως όρος διαφοροποιείται από την αποστείρωση. Είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση των παθογόνων μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για πρόκληση ασθενειών

Η απολύμανση είναι η διαδικασία καταστροφής των παθογόνων μικροοργανισμών εξαιτίας της έκθεσής τους σε χημικές ενώσεις ή ακτινοβολία που θεωρούνται βλαβερές για τους μικροοργανισμούς. Σκοπός της απολύμανσης είναι η αποφυγή της μικροβιολογικής μόλυνσης των υδάτινων αποδεκτών όπου θα διατεθούν τα επεξεργασμένα λύματα. Η απολύμανση συνήθως είναι η τελική διεργασία που υφίσταται κάποιο απόβλητο σε μια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων και για το λόγο αυτό είναι σημαντική η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Τα κριτήρια επιλογής όσον αφορά την μέθοδο της απολύμανσης είναι η ποιότητα του αποβλήτου στην είσοδο της διάταξης απολύμανσης, η ζητούμενη ποιότητα του απολυμασμένου νερού και από το κόστος της διεργασίας. Είναι πιθανό η βέλτιστη διεργασία απολύμανσης να αποτελείται από συνδυασμό δύο μεθόδων. Ο στόχος ο οποίος τίθεται στην ουσία με

την διεργασία της απολύμανσης είναι η επίτευξη των εκάστοτε ποιοτικών κριτηρίων για την επαναχρησιμοποίηση του νερού.

Τρεις μέθοδοι απολύμανσης είναι οι ευρέως εφαρμοζόμενες:

1. Η χλωρίωση,
2. Ο Οζονισμός
3. Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV).

3.3.1 Χλωρίωση

Η χλωρίωση είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος απολύμανσης, και χρησιμοποιείται τόσο για απολύμανση του πόσιμου νερού, όσο και για την απολύμανση των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Η απολύμανση με χλώριο μπορεί να γίνει είτε με απ' ευθείας προσθήκη χλωρίου (Cl_2) είτε με προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) ή υποχλωριώδους ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$). Στην Ελλάδα, ο πιο διαδεδομένος τρόπος χλωρίωσης είναι με προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου ή με την προσθήκη μοριακού χλωρίου (για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας).

Η απολυμαντική δράση της χλωρίωσης εξαρτάται τόσο από το είδος των μικροοργανισμών που βρίσκονται στο απόβλητο αλλά και από άλλους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι η σύσταση του αποβλήτου, κυρίως τα επίπεδα του pH, η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών, την συγκέντρωση αμμωνίας και η θερμοκρασία. Η απολυμαντική δράση του χλωρίου δεν είναι ακαριαία. Οι χρόνοι επαφής του χλωρίου με το απόβλητο συνήθως είναι μεταξύ 30 και 120 min.

Μειονεκτήματα όσον αφορά την χρήση χλωρίου στην απολύμανση είναι η παραγωγή κάποιων χλωρό-τοξικών ενώσεων καθώς και οι υψηλότεροι χρόνοι που απαιτούνται σε σχέση με εναλλακτικές τεχνολογίες που οδηγούν με την σειρά τους σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις. Τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά του είναι ότι η μέθοδος είναι γενικά αποδεκτή από τις Ελληνικές Υγειονομικές Αρχές, καθώς επίσης και η υπολειμματική του δράση. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι εάν η υπολειμματική συγκέντρωση χλωρίου είναι πολύ υψηλή, πιθανόν να απαιτηθεί αποχλωρίωση.

3.3.2 Οζονισμός

Το όζον παράγεται όταν μόρια οξυγόνου (O_2), με την προσθήκη ενέργειας, μετατρέπονται σε ατομικό οξυγόνο ($[\text{O}]$) τα οποία στην συνέχεια αντιδρούν με

μοριακό οξυγόνο και δημιουργούν ένα ασταθές αέριο, το όζον (O_3). Το όζον συνήθως παρασκευάζεται κοντά στο σημείο εφαρμογής με χρήση ειδικής διάταξης η οποία παράγει υψηλές τάσεις σε ένα χώρο όπου υπάρχει οξυγόνο. Το παραγόμενο O_3 εισάγεται αμέσως μετά την δημιουργία του στην δεξαμενή επαφής, ενώ το υπολειπόμενο O_3 , στην αέρια φάση που εξέρχεται της δεξαμενής επαφής, καταστρέφεται. Η απολυμαντική δράση του όζοντος συνίσταται στην οξείδωση και καταστροφή των κυτταρικών τοιχωμάτων των μικροοργανισμών. Το O_3 επίσης μπορεί να καταστρέψει κάποια νουκλεϊκά οξέα, καθώς και να λύσει τους δεσμούς άνθρακα-αζώτου.

Η δράση του O_3 δεν επηρεάζεται γενικά από την παρουσία αμμωνίας στο απόβλητο ούτε από το pH. Εάν το απόβλητο εμπεριέχει οργανικό φορτίο (COD, BOD), τότε πιθανόν να καταναλωθεί ποσότητα O_3 για την οξείδωση μέρους των οργανικών ενώσεων, ανάλογα με την σύστασή τους. Παράλληλα η παρουσία αιωρούμενων στερεών (TSS) αυξάνει την ποσότητα καταναλωμένου O_3 , καθώς αυτά προσφέρουν επιφάνειες για προστασία στους μικροοργανισμούς. Σε κάθε περίπτωση, η προστασία που προσφέρεται στους μικροοργανισμούς εξ αιτίας της παρουσίας αιωρούμενων στερεών είναι πολύ μικρότερη σε σύγκριση με την χλωρίωση και την ακτινοβολία με UV. Ο χρόνος επαφής του O_3 συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 min, με τυπική τιμή 15 min.

Το O_3 εκτός από την καταστροφή κολοβακτηριδίων καταστρέφει τους περισσότερους τύπους ιών καθώς, σε μικρότερο βαθμό, πρωτόζωα και κύστες.



Εικόνα 16. Τυπική διάταξη παραγωγής όζοντος (οζονιστήρας)

Σημαντική διαφορά από την απολύμανση με χλώριο είναι ότι το O_3 δεν παράγει χλωριωμένα παραπροϊόντα, παράγονται όμως διάφορα άλλα προϊόντα σε σημαντικές

ποσότητες που πρέπει να επεξεργαστούν έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα στη δημόσια υγεία.

Ο οζονισμός είναι μια αρκετά αποτελεσματική μέθοδος απολύμανσης, ωστόσο δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος, κυρίως λόγω του υψηλότερου κόστους και της μεγάλης πολυπλοκότητας της διεργασίας, σε σχέση με την χλωρίωση και την ακτινοβόληση με UV, καθώς και λόγω της έλλειψης της υπολειμματικής του δράσης. Η χρήση του οζονισμού ως (αντί χλωρίωσης) ως μέθοδος απολύμανσης στην Ελλάδα, δεν είναι η πλέον ενθαρρυντική μιας και απαιτείται ειδική άδεια από τις υγειονομικές αρχές της Χώρας μας.

3.3.3 Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)

Η υπεριώδης (UV) ακτινοβολία έχει μεταλλαξιογόνο δράση σε κάθε ζωντανό οργανισμό. Ειδικά για τους μικροοργανισμούς, έκθεσή τους σε υπεριώδη ακτινοβολία έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλης κλίμακας μεταλλάξεις στα νουκλεϊκά τους οξέα (DNA, RNA), με συνέπεια την διατάραξη μεταφοράς γενετικών πληροφοριών που οδηγεί στη αδρανοποίηση ή το θάνατό τους. Απολυμαντική ιδιότητα έχουν τα μήκη κύματος μεταξύ 220 και 320 nm, ενώ η μέγιστη απολυμαντική ικανότητα παρατηρείται μεταξύ 255 και 265 nm. Οι διατάξεις απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία κατά κανόνα αποτελούν την τελευταία επεξεργασία του ανακτημένου αποβλήτου, πριν την τελική εφαρμογή. Η ακτινοβολία UV παράγεται από ειδικού τύπου λυχνίες οι οποίες περιέχουν υδράργυρο, και μπορούν να καταταχθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

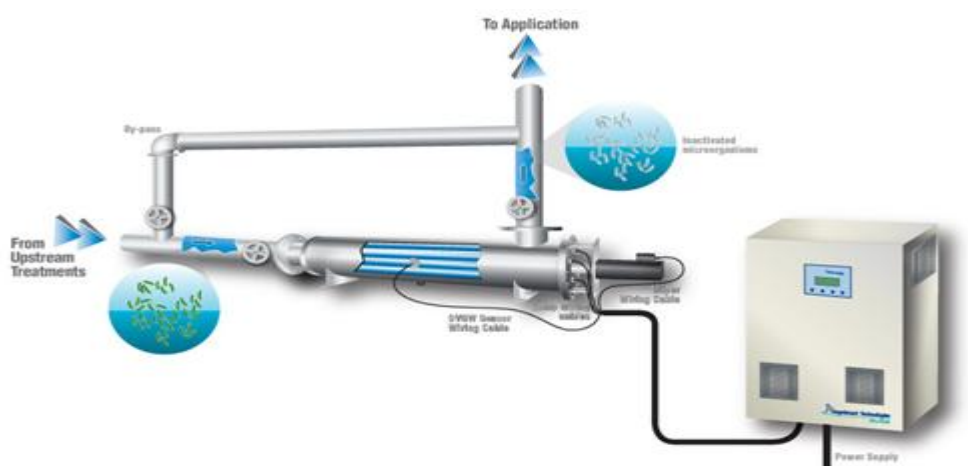
- χαμηλής πίεσης/ χαμηλής έντασης,
- χαμηλής πίεσης/ υψηλής έντασης και
- μέσης πίεσης/ υψηλής έντασης

Οι λυχνίες υψηλής πίεσης τοποθετούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις με μεγάλες παροχές που δεν διαθέτουν αρκετό χώρο ώστε να χρησιμοποιηθούν λυχνίες χαμηλής πίεσης. Μεταξύ των λαμπτήρων χαμηλής πίεσης, οι λυχνίες υψηλής έντασης είναι προτιμητέες γιατί αποδίδουν σταθερά σε μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος και γιατί έχουν σχετικά μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Τα συστήματα UV επίσης διακρίνονται σε δύο τύπους:

1. συστήματα ανοικτών καναλιών και
2. συστήματα κλειστών καναλιών

Τα συστήματα κλειστών καναλιών υπερέχουν ως προς την απόδοση, αφού οι λυχνίες διατηρούνται πιο καθαρές (δεν αναπτύσσονται μικροοργανισμοί στην επιφάνεια των λυχνιών) και επειδή η ροή του αποβλήτου είναι συνήθως πιο ομοιογενής. Πολλοί κατασκευαστές λυχνιών έχουν προσαρμόσει συστήματα αυτόματου καθαρισμού των λυχνιών. Τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για συστήματα κλειστών καναλιών, καθώς και για λυχνίες υψηλής απόδοσης.

Η ακτινοβολία UV μπορεί να αδρανοποιήσει σχεδόν όλους τους μικροοργανισμούς (βακτηρίδια, ιούς, πρωτόζωα), είναι δε αποτελεσματική στην αδρανοποίηση της *Giardia* και του *Cryptosporidium*, τα οποία είναι σχετικά ανθεκτικά στο χλώριο, λόγω της ιδιότητας της UV ακτινοβολίας να αντιδρά με τα νουκλεοτίδια κυτοσίνη και την θυμίνη, τα οποία βρίσκεται σε αφθονία στους δύο αυτούς μικροοργανισμούς. Οι δόσεις ακτινοβολίας UV για την παραγωγή ανακτημένου νερού κατάλληλου για απεριόριστες αρδευτικές εφαρμογές, σύμφωνα με την οδηγία της πολιτείας της Καλιφόρνιας. Φαίνεται ότι οι σχετικές δόσεις UV κυμαίνονται μεταξύ 50 και 110 mJ/cm² (για δευτεροβάθμια εκροή μετά από μικροδιήθηση και μετά από απλή καθίζηση, αντίστοιχα). Η Ελληνική νομοθεσία (ΦΕΚ Β' 254, 2011) θέτει ως ελάχιστη δόση για απεριόριστη αγροτική χρήση και για αστική χρήση τα 60 mJ/cm².



Εικόνα 17. Τυπική διάταξη απολύμανσης διηθημένων δευτεροβάθμιων εκροών με υπεριώδη ακτινοβολία.

Η ακτινοβολία UV απαιτεί σημαντικά μικρότερους χρόνους επαφής (σε σχέση με την χλωρίωση και τον οζονισμό), που συνήθως κυμαίνονται μεταξύ 20-30 sec. Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία κατά τον υπολογισμό της δόσης είναι η διαπερατότητα (transmittance) του αποβλήτου στην ακτινοβολία UV και αυτό διότι πχ απόβλητα με μικρή διαπερατότητα απαιτούν μεγαλύτερες δόσεις UV. Έχει υπολογιστεί ότι για

δευτεροβάθμιες εκροές που έχουν υποστεί διύλιση, μικροδιήθηση ή αντίστροφη όσμωση, οι αντίστοιχες διαπερατότητες είναι 55%, 65% και 90%, αντίστοιχα. Η Ελληνική νομοθεσία (ΦΕΚ Β' 254, 2011) θέτει ως ανώτατο επιτρεπτό ποσοστό διαπερατότητας το 70%. Η απολυμαντική δράση της ακτινοβολίας UV εξαρτάται επίσης από την σύσταση του αποβλήτου και την παρουσία αιωρούμενων σωματιδίων (πχ λόγω διάθλασης ή σκίασης). Για τον λόγο αυτό ακτινοβολία UV έχει καλύτερα αποτελέσματα σε υγρά απόβλητα με χαμηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων. Η παρουσία COD ή BOD στο απόβλητο δεν επηρεάζει την απολυμαντική ικανότητα της ακτινοβολίας UV. Η υπεριώδης ακτινοβολία δεν έχει υπολειμματική δράση διότι η επίδρασή της παύει με την έξοδο των μικροοργανισμών από τον χώρο ακτινοβολήσης.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της απολύμανσης με εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας είναι:

- η αποτελεσματικότητά της
- το γεγονός ότι δεν παράγονται τοξικά παραπροϊόντα,
- η απλότητα και ασφάλεια εφαρμογής της μεθόδου και
- το μικρό μέγεθος της εγκατάστασης.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι:

- η έλλειψη υπολειμματικής δράσης,
- οι αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις,
- το υψηλό κόστος και
- η ανάγκη αντικατάστασης των λυχνιών.

4. ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

4.1 Εισαγωγή

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το δεύτερο μεγαλύτερο της ανατολικής Μεσογείου. Βρίσκεται στο νότιο άκρο του Αιγαίου πελάγους και καλύπτει μια περιοχή 8.336 km². Ο πληθυσμός της είναι 621.340 άνθρωποι (απογραφή 2011). Έχει μήκος 260 χλμ και ποικίλλει στο πλάτος με ένα μέγιστο 60 χλμ (από το ακρωτήριο Δίον έως το ακρωτήριο Λίθινο), σε ένα ελάχιστο 12 χλμ στον ισθμό Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη. Η ακτογραμμή της παρουσιάζει βαθύ γεωγραφικό διαμελισμό, ο οποίος παρουσιάζει στην Κρήτη πάνω από 1.000 χλμ ακτών.

Το νησί είναι εξαιρετικά ορεινό και καθορίζεται από μια υψηλή σειρά βουνών που το διασχίζει την από τη δύση ως την ανατολή, διαμορφωμένη από τρεις διαφορετικές ομάδες βουνών. Αυτές είναι:

- τα Λευκά Όρη (2.452 μ).
- η οροσειρά Ίδη (Ψηλορείτης (35.18° Β 24.82° Α 2.456 μ).
- το όρος Δίκτη (2.148 μ).

Σ' αυτά τα βουνά οφείλεται η ύπαρξη στο νησί εύφορων οροπεδίων ο Ομαλός, η Νίδα και το οροπέδιο Λασιθίου, σπηλαίων όπως το Δικταίο και το Ιδαίο άντρο και φαράγγια όπως το διάσημο φαράγγι της Σαμαριάς, το φαράγγι Ίμπρου, το Κουρταλιώτικο φαράγγι, το Φαράγγι των Νεκρών στην Κάτω Ζάκρο Λασιθίου.

Η Κρήτη ανήκει στη μεσογειακή κλιματολογική ζώνη που προσδίδει τον κύριο κλιματικό χαρακτήρα της, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως εύκρατος. Η ατμόσφαιρα μπορεί να είναι αρκετά υγρή, ανάλογα με την εγγύτητα στη θάλασσα. Ο χειμώνας είναι αρκετά ήπιος και υγρός, με αρκετές βροχοπτώσεις, ως επί το πλείστον, στα δυτικά τμήματα του νησιού. Η χιονόπτωση είναι σπάνια στις πεδινές εκτάσεις, αλλά αρκετά συχνή στις ορεινές. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στο πλαίσιο των 25-30 βαθμών Κελσίου, οπωσδήποτε χαμηλότερο από εκείνο στην ηπειρωτική Ελλάδα. Η νότια ακτή, συμπεριλαμβανομένης της πεδιάδας της Μεσσαράς και των Αστερούσιων ορέων, απολαμβάνει περισσότερες ηλιόλουστες ημέρες και υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε σχέση με την υπόλοιπη μεγαλόνησο.

4.2 Κλιματικές συνθήκες

Η Κρήτη ανήκει στο μεσογειακό-ξηρόθερμο κλίμα. Εμφανίζει ιδιαίτερα ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες, οι οποίες παρέχουν σημαντικές δυνατότητες ανάπτυξης του πρωτογενή τομέα παραγωγής και ιδιαίτερα της γεωργίας, και παρουσιάζονται υψηλά ποσοστά βροχοπτώσεων (800, 1000 και 1200mm) με άνιση όμως κατανομή ανάμεσα στην Ανατολική και τη Δυτική πλευρά (Πίνακας 15 και 16). Εκτός από χωρική παρατηρείται και άνιση εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων καθώς οι περίοδοι βροχόπτωσης ακολουθούνται από περιόδους μεγάλης ξηρασίας.

Πίνακας 15: Βροχόπτωση σε χιλιοστά (Πηγή: Κριτσωτάκης Μαρίνος, Περιφέρεια Κρήτης, Τμήμα Υδάτων)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΚΡΗΤΗΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ	ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ
Υγρό υδρολογικό έτος	1244	1108	1395
Κανονικό υδρολογικό έτος	927	816	1051
Ξηρό υδρολογικό έτος	611	525	707

Πίνακας 16: Βροχόπτωση σε όγκο νερού (Πηγή: Κριτσωτάκης Μαρίνος)

	Υγρό Υδρολ. Έτος	Κανονικό Υδρολ. Έτος	Ξηρό Υδρολ. Έτος
Έκταση (km ²)	8300		
Κατακρήμνιση (Mm ³)	10.330	7.690	5.070
Εξατμισοδιαπνοή(Mm ³)	7.230	5.380	3.550
Κατείσδυση(Mm ³)	1.980	1.470	970
Επιφανειακή απορροή(Mm ³)	1.120	830	550

4.3 Χρήσεις νερού και υδατικό ισοζύγιο

Οι χρήσεις με τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό είναι η ύδρευση και κυρίως η άρδευση, ακολουθούμενες από την κτηνοτροφία και τη βιομηχανία. Το γεγονός αυτό οφείλεται τόσο στην πληθυσμιακή αύξηση αλλά κυρίως στη μεγάλη ανάπτυξη της γεωργίας, η οποία αποτελεί έναν εξαιρετικά δυναμικό κλάδο της οικονομίας και της απασχόλησης του νησιού. Το νερό που καταναλώνεται για γεωργικούς λόγους αποτελεί το 85% του συνολικού νερού που καταναλώνεται. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού καταναλώνεται στο Νομό Ηρακλείου (46%) και έπεται ο Νομός Χανίων (25%), ο Νομός Λασιθίου (20%) και ο Νομός Ρεθύμνης (9%). Ακολουθούν οι υδρευτικές ανάγκες που αποτελούν το 13% των συνολικών αναγκών σε νερό και έπειτα η κτηνοτροφία (1,20%) και οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές χρήσεις (0,8%).

Πίνακας 17: Ανάγκες σε νερό ανά νομό και χρήση (Πηγή: μελέτη «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης»)

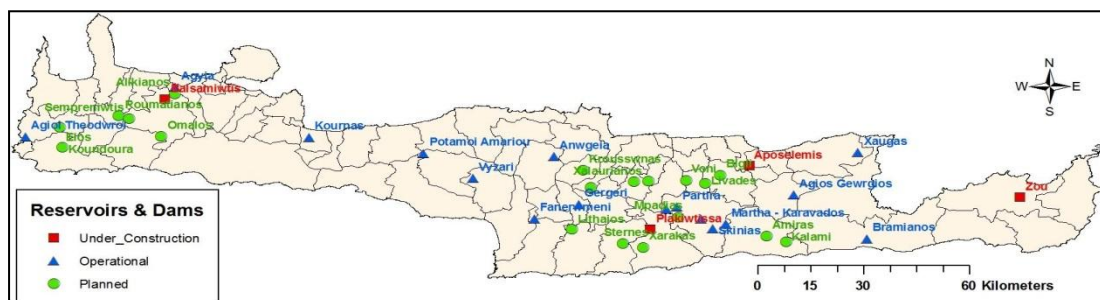
ΝΟΜΟΣ	ΥΔΡΕΥΣΗ Mm³/yr	ΑΡΔΕΥΣΗ Mm³/yr	ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΑ Mm³/yr	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ Α Mm³/yr	ΣΥΝΟΛΟ Mm³/yr
Χανίων	17,47	108,90	1,71	1,69	129,77
Ρεθύμνης	8,43	39,14	1,84	0,41	49,82
Ηρακλείου	30,15	202,91	1,92	1,75	236,73
Λασιθίου	9,29	88,66	0,70	0,26	98,91
Σύνολο	65,34	439,61	6,17	4,11	515,23

4.4 Έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων

4.4.1 Φράγματα-λιμνοδεξαμενές-ταμιευτήρες

Οι ανάγκες σε νερό του νησιού καλύπτονται από την εκμετάλλευση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών αποθεμάτων. Η χρήση γεωτρήσεων είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στο νησί με αποτέλεσμα σε κάποιες περιοχές να παρατηρείται πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα και την είσοδο σε αυτόν θαλάσσιου νερού (φαινόμενο της υφαλμύρινσης). Η αλόγιστη άντληση και η κακή διαχείριση του υπόγειου νερού οδηγεί συχνά σε φαινόμενα υποβάθμισης της ποιότητας τόσο του νερού όσο και του εδάφους.

Τα τελευταία χρόνια στα πλαίσια της στρατηγικής για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, έχει κατασκευασθεί αριθμός έργων όπως φράγματα και λιμνοδεξαμενές σε διάφορες περιοχές της Περιφέρειας. Παρόμοια έργα βρίσκονται στο στάδιο της κατασκευής ή είναι υπό σχεδιασμό.



Εικόνα 18. Φράγματα και λιμνοδεξαμενές υπό λειτουργία και υπό κατασκευή, σχεδιασμό στην Κρήτη.

Η δυναμικότητα αλλά και ο διαθέσιμος όγκος νερού από τα φράγματα και τις λιμνοδεξαμενές της Περιφέρειας συνοψίζονται στον Πίνακα 16. Το σύνολο των φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών που βρίσκονται αυτή τη στιγμή σε λειτουργία στους τέσσερις νομούς έχουν διαθέσιμο όγκο νερού που ανέρχεται σε 52,43 Mm³ ετησίως. Ο συγκεκριμένος όγκος νερού αντιστοιχεί στο 12% των αρδευτικών αναγκών του νησιού. Επίσης βρίσκονται υπό κατασκευή αντίστοιχες υποδομές οι οποίες μετά την ολοκλήρωσή τους θα παρέχουν επιπλέον διαθέσιμη ποσότητα νερού 13,78 Mm³.

Τέλος αρκετές λιμνοδεξαμενές και φράγματα βρίσκονται υπό σχεδιασμό και έχουν μελετηθεί για να παρέχουν διαθέσιμο όγκο νερού 33,50 Mm³ το χρόνο.

Πίνακας 18: Χωρητικότητα και διαθέσιμος όγκος νερού από φράγματα-λιμνοδεξαμενές (Λύκου, 2011).

Χωρητικότητα Φραγμάτων-Λιμνοδεξαμενών (Mm ³)				Διαθέσιμος όγκος νερού (Mm ³ /year)			
Νομός				Νομός	Φράγματα-Λιμνοδεξαμενές		
	Λειτουργία	Υπό Κατασκευή	Σχεδιασμός		Λειτουργία	Υπό Κατασκευή	Σχεδιασμός
Χανίων	0,5	5,0	21,30	Χανίων	4,00	5,00	21,30
Ρεθύμνης	23,0			Ρεθύμνης	15,26	0,00	0,00
Ηρακλείου	23,07	47,60	12,20	Ηρακλείου	14,07	8,50	12,20
Λασιθίου	19,1	0,28		Λασιθίου	19,10	0,28	0,00
Σύνολο	65,67	52,88	33,50	Σύνολο	52,43	13,78	33,50

Οι υποδομές αυτές καλύπτουν σε κάποιες περιπτώσεις ανάγκες ύδρευσης και στο μεγαλύτερο ποσοστό καλύπτουν αρδευτικές ανάγκες. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 17, ο διαθέσιμος όγκος νερού για ύδρευση από τα φράγματα και τους ταμιευτήρες που λειτουργούν ανέρχεται σε 5 Mm³/έτος, ενώ ο διαθέσιμος όγκος νερού για άρδευση ανέρχεται σε 52,43 Mm³/έτος.

Πίνακας 19 Διαθέσιμος όγκος νερού για ύδρευση και άρδευση από φράγματα-ταμιευτήρες (Λύκου, 2011)

Όγκος διαθέσιμου νερού για ύδρευση (Mm ³)				Όγκος διαθέσιμου νερού για άρδευση (Mm ³)			
Νομός				Νομός	Φράγματα-Λιμνοδεξαμενές		
	Λειτουργία	Υπό Κατασκευή	Σχεδιασμός		Λειτουργία	Υπό Κατασκευή	Σχεδιασμός
Χανίων	0,00	0,00	0,00	Χανίων	4,00	5,00	21,27
Ρεθύμνης	5,00	0,00	0,00	Ρεθύμνης	15,26	0,00	0,00
Ηρακλείου	0,00	12,00	0,00	Ηρακλείου	14,07	8,50	12,19
Λασιθίου	0,00	0,00	0,00	Λασιθίου	19,10	0,28	0,00
Σύνολο	5,00	12,00	0,00	Σύνολο	52,43	13,78	33,46

Από τα υπό κατασκευή και υπό σχεδιασμό φράγματα και ταμιευτήρες θα προκύψουν 12 Mm³ για τις ετήσιες υδρευτικές ανάγκες και 47,24 Mm³ για τις ετήσιες αρδευτικές ανάγκες.

Πίνακας 20: Ανάγκες και διαθέσιμος όγκος νερού για άρδευση από φράγματα-ταμιευτήρες (Λύκου, 2011)

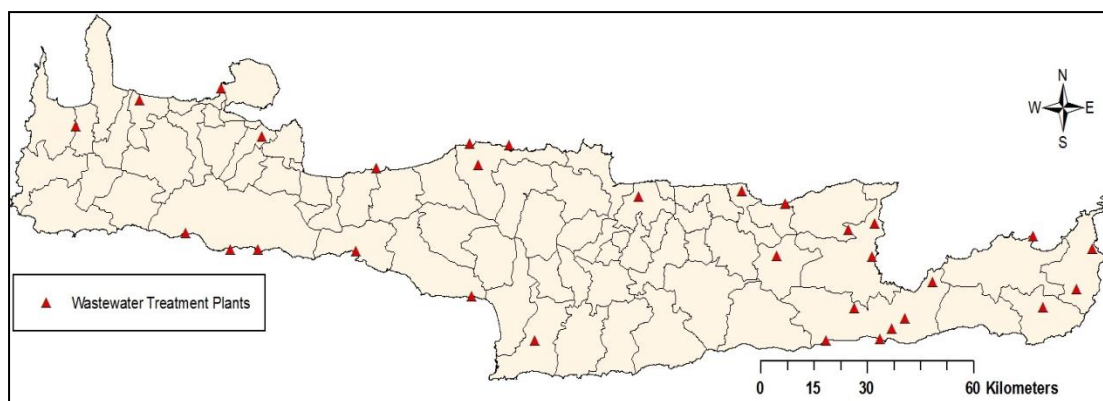
		Διαθέσιμος όγκος νερού για άρδευση (Mm ³ /yr)		
Νομός	Αρδευτικές ανάγκες (Mm ³ /yr)	Φράγματα-ταμιευτήρες σε λειτουργία	Φράγματα-ταμιευτήρες υπό κατασκευή	Φράγματα-ταμιευτήρες σε σχεδιασμό
Χανίων	108,90	4,00	5,00	21,27
Ρεθύμνης	39,14	15,26		
Ηρακλείου	202,91	14,07	8,50	12,19
Λασιθίου	88,66	19,10	0,28	
Σύνολο	439,61	52,43	13,78	33,46

Από τον παραπάνω πίνακα συμπαίρνουμε ότι ο διαθέσιμος όγκος νερού για άρδευση από φράγματα και ταμιευτήρες ανέρχεται σε ποσοστό 11,92% των συνολικών αρδευτικών αναγκών.

Συνεκτιμώντας το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος των κλασσικών υποδομών διαχείρισης υδατικών πόρων (φράγματα, ταμιευτήρες κ.α.) αλλά και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής είναι απαραίτητη η αναζήτηση νέων στρατηγικών διαχείρισης των υδατικών πόρων, οι οποίες θα σέβονται την αρχή της αειφορίας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Μία από αυτές τις στρατηγικές λύσεις, η οποία αποτελεί πλέον κανόνα σε αρκετές χώρες του εξωτερικού, είναι η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων.

4.4.2 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

Στην περιφέρεια υπάρχει μεγάλος αριθμός εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων που καλύπτουν το σύνολο σχεδόν των μεγάλων δήμων της. Επίσης σε πολλές περιοχές με περισσότερους από 10.000 κατοίκους έργα επεξεργασίας λυμάτων βρίσκονται είτε υπό κατασκευή είτε είναι ενταγμένα στο ταμείο συνοχής και πρόκειται να δημοπρατηθούν (Εικόνα 19). Οι ετήσιες εκροές και ο ισοδύναμος πληθυσμός των κυριότερων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων του νησιού παρουσιάζονται στον πίνακα 19.



Εικόνα 19. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται στη θάλασσα, σε ρέματα και στο έδαφος επιβαρύνοντας έτσι υδάτινα οικοσυστήματα που αποτελούν τους τελικούς αποδέκτες. Στον πίνακα 20 παρουσιάζεται ο ετήσιος όγκος των εκροών των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων των τεσσάρων νομών ο οποίος ανέρχεται σε $32,42 \text{ Mm}^3$

Όπως συμπεραίνουμε με την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων των υφιστάμενων βιολογικών καθαρισμών του νησιού θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν $32,42 \text{ Mm}^3$ το χρόνο. Το νερό αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία με αποτέλεσμα τη μείωση της επιβάρυνσης του υπόγειου υδροφορέα αλλά και την εξοικονόμηση πόσιμου νερού.

Πίνακας 21: Ετήσιες εκροές και ισοδύναμος πληθυσμός Ε.Ε.Λ. (Λύκου, 2011)

ΔΗΜΟΣ	Εκροές Ε.Ε.Λ. (Μm ³ /yr)	Ισοδύναμος Πληθυσμός
Χανίων	6,77	117.500
Κολυμβαρίου	1,73	30.000
Κισάμου	0,58	10.000
Σφακίων	0,38	6.600
Αρμένων	0,28	5.000
Ρεθύμνου	3,46	60.000
Γεροποτάμου	0,81	14.000
Λάμπης	0,29	5.000
Φοίνικα	0,14	2.500
Ηρακλείου	9,45	164.000
Χερσονήσου	2,3	40.000
Μαλλίων	1,15	20.000
Μοιρών	0,07	1.200
Ιεράπετρας	1,84	32.000
Αγίου Νικολάου	1,66	28.000
Σητείας	1,15	20.000
Ιτάνου	0,18	3.100
Λεύκης	0,09	1.700
Οροπεδίου Λασιθίου	0,08	1.500
Σύνολο	32,42	522.100

Πίνακας 22: Όγκος εκροών Ε.Ε.Λ. ανά νομό (Λύκου, 2011)

ΝΟΜΟΣ	ΕΚΡΟΕΣ (Mm³/yr)
Χανίων	9,74
Ρεθύμνης	4,69
Ηρακλείου	12,97
Λασιθίου	5,02
ΣΥΝΟΛΟ	32,42

Επιπλέον, εάν λάβουμε υπ' όψη τις ευρωπαϊκές οδηγίες, η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί πλέον στόχο και γνώμονα στις στρατηγικές και αναπτυξιακές πολιτικές των χωρών. Προαπαιτούμενο για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης είναι η ορθολογική χρήση και η προστασία των φυσικών πόρων. Μέσα στα ευρύτερα πλαίσια της αειφορίας η Ευρωπαϊκή Ένωση με την Οδηγία πλαίσιο για τα νερά (2000/60/ΕΚ), η οποία υιοθετήθηκε από την ελληνική κυβέρνηση στοχεύει στην ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων. Η προστασία και η διαχείρισή τους οφείλει να γίνεται με τρόπο που να διασφαλίζει αφενός μεν τις κεφαλαιώδους σημασίας οικολογικές τους λειτουργίες, και αφετέρου την αειφόρο παροχή των ποικίλων αγαθών και υπηρεσιών τους στον άνθρωπο, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τις ανάγκες και το όφελος του κοινωνικού συνόλου.

Προβλέπεται βάσει του νόμου ότι κάθε χρήση υδάτων θα αποβλέπει στη βιώσιμη και ισόρροπη ικανοποίηση των αναπτυξιακών αναγκών και θα διασφαλίζει τη μακροπρόθεσμη προστασία των υδάτων, την επάρκεια των αποθεμάτων τους και τη διατήρηση της ποιότητάς τους.

Επομένως λαμβάνοντας υπ' όψη τις αρχές της αειφορίας σε συνδυασμό με τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων αποβλήτων συμπεραίνουμε ότι οι συγκεκριμένες τεχνικές καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις της βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων. Αναλυτικότερα:

α) Προστασία του περιβάλλοντος και των οικοσυστημάτων. Με την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αποβλήτων μειώνεται ο όγκος των εκροών

που καταλήγει στους υδάτινους αποδέκτες. Επομένως περιορίζεται η περιβαλλοντική υποβάθμιση παράκτιων περιοχών καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα.

β) Αρχή της βιωσιμότητας, η οποία απαγορεύει τη μείωση ή την υποβάθμιση των φυσικών πόρων. Χρησιμοποιώντας τα επεξεργασμένα λύματα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων. Αποφεύγεται η υπεράντληση υπόγειων αποθεμάτων, η οποία οδηγεί σε φαινόμενα ερημοποίησης και υποβάθμισης του εδάφους.

γ) Εξοικονόμηση ενέργειας. Μειώνοντας τις απαιτούμενες αντλήσεις μειώνεται και η απαραίτητη ενέργεια για τη λειτουργία των αντλιών με αποτέλεσμα να εξοικονομούνται φυσικοί πόροι απαραίτητοι για την παραγωγή ενέργειας.

δ) Οικονομικά οφέλη. Μειώνεται το ενεργειακό κόστος που χρειάζεται για τη λειτουργία των αντλιών και των γεωτρήσεων με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος που επιβαρύνει τον καταναλωτή (αγρότης).

ε) Τα επεξεργασμένα λύματα μπορούν να θεωρηθούν μια αστέρευτη υδατική πηγή, καθώς όπου υπάρχει κατανάλωση υπάρχει και παραγωγή νερού κατάλληλου για συγκεκριμένες χρήσεις.

στ) Μείωση της ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα. Μεγάλο μέρος της ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα οφείλεται σε νιτρικά αγροτικής προέλευσης. Η χρήση των νιτρικών μπορεί να περιορισθεί με την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση, εάν αξιολογηθεί και η θρεπτική αξία των λυμάτων και η έμμεση χρήση τους ως λίπασμα.

Όπως παρατηρούμε στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 19-22) σε πολλούς δήμους του νησιού ο όγκος των επεξεργασμένων εκροών των Ε.Ε.Λ. τους θα μπορούσε να καλύψει τις αρδευτικές ανάγκες των περιοχών. Επίσης παρατηρούμε ότι ο ετήσιος όγκος των εκροών των βιολογικών καθαρισμών είναι σε πολλές περιπτώσεις συγκρίσιμος με το διαθέσιμο όγκο νερού που παρέχεται από φράγματα ή λιμνοδεξαμενές. Για παράδειγμα ο ετήσιος διαθέσιμος όγκος νερού από φράγματα και λιμνοδεξαμενές στο Νομό Χανίων ανέρχεται σε 4 Mm^3 ενώ ο ετήσιος όγκος των εκροών των βιολογικών καθαρισμών του νομού ανέρχεται περίπου σε 10 Mm^3 (Λύκου, 2011).

4.5 Ε.Ε.Λ. Χανίων και δυνατότητες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων της πόλης και της ευρύτερης περιοχής των Χανίων, βρίσκεται στο ΒΑ άκρο της πόλης και είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί για συνθήκες εξυπηρέτησης 117.500 ισοδύναμων κατοίκων. Ο αριθμός αυτός προκύπτει από το άθροισμα των 105.500 κατοίκων της περιοχής συν 5.000 ισοδύναμους κατοίκους που αντιστοιχούν στα φορτία που εισέρχονται στην ΕΕΛ από τα βιομηχανικά απόβλητα της περιοχής και επιπλέον 7.000 ισοδύναμους κατοίκους που ισοδυναμούν με τα βοθρολύματα προς επεξεργασία στην ΕΕΛ. Σύμφωνα με τη τελευταία απογραφή όμως του Δ. Χανίων ο πληθυσμός του νέου δήμου έχει ξεπεράσει τις 108.000, αν και δεν εξυπηρετούνται όλες οι περιοχές του νέου δήμου από την Ε.Ε.Λ Χανίων, καθώς η περιοχή της δημοτικής ενότητας εξυπηρετείται από την Ε.Ε.Λ της ΔΕΥΑΒΑ, και κάποια μικρά μέρη δεν έχουν συνδεθεί με το δίκτυο αποχετεύσεις. Για αυτό το λόγο έχει δρομολογηθεί η επέκταση της δυναμικότητας της Ε.Ε.Λ Χανίων στους 170.000 ισοδύναμους κατοίκους με έργα που αναμένονται να ξεκινήσουν το 2013.



Εικόνα 20. ΕΕΛ Χανίων.

Η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται με διεργασίες ενεργού ιλύος, ενώ η λάσπη που παράγεται επεξεργάζεται με αναερόβια χώνευση. Τα βασικά τμήματα της ΕΕΛ είναι:

1. Το αντλιοστάσιο εισόδου της εγκατάστασης
2. Η εγκατάσταση αποδοχής των βοθρολυμάτων
3. Εσχάρωση
4. Εξάμμωση
5. Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης
6. Δεξαμενές αερισμού
7. Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης
8. Δεξαμενή χλωρίωσης
9. Μηχανική πάχυνση της λάσπης
10. Προπάχυνση
11. Αναερόβιοι χωνευτές
12. Μεταπάχυνση
13. Αφυδάτωση

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα ποσοτικά στοιχεία σχεδιασμού για την ΕΕΛ των Χανίων (Πηγή: ΔΕΥΑΧ).

Πίνακας 23: Ποσοτικά χαρακτηριστικά λυμάτων της ΕΕΛ Χανίων, έτος 2010

Παροχή λυμάτων	Παροχή λυμάτων (m ³ /d)	Παραγωγή αφυδατωμένης ιλύος (kg/μήνα) (80% υγρασία)
Ιανουάριος	19.636	729.480
Φεβρουάριος	20.037	773.160
Μάρτιος	18.147	722.320
Απρίλιος	19.033	597.250
Μάιος	20.351	545.180
Ιούνιος	19.925	528.740
Ιούλιος	18.590	619.820
Αύγουστος	19.029	467.830
Σεπτέμβριος	18.482	601.850
Οκτώβριος	18.123	440.250
Νοέμβριος	17.686	576.070
Δεκέμβριος	17.686	437.810
Μέσοι μηνιαίοι όροι	18.894	586.647
Σύνολο	m³ λυμάτων/έτος	kg ιλύος/έτος
2010	6.893.238	7.039.760

Από τα δεδομένα του πίνακα 23 παρατηρούμε ότι έχουμε ένα ετήσιο όγκο νερού 6,9 Mm³, ο οποίος καταλήγει στον υδατικό αποδέκτη. Το ποσό αυτό είναι μεγαλύτερο από τον όγκο των ταμιευτήρων του νομού, που είναι ήδη σε λειτουργία, θα έπρεπε να αποτελέσει μια επιπλέον επιλογή ως ανανεώσιμος πόρος νερού για την περιοχή, πράγμα που επιβεβαιώνει τη χρησιμότητα της εργασίας αυτής.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ΕΕΛ των Χανίων, συμφωνά με μετρήσεις του έτους του 2010 είναι τα εξής.

Πίνακας 24: Ποσοτικά χαρακτηριστικά λυμάτων της ΕΕΛ Χανίων (Πηγή: ΔΕΥΑΧ).

Μήνας	TSS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N- NH4 (mg/l)	NTK (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	Ptot (mg/l)
Ιανουάριος	3	8	19	0,65	2,79	8,18	6,97
Φεβρουάριος	3	7	15	0,10	1,26	10,20	7,80
Μάρτιος	2	8	14	0,47	1,70	7,93	5,39
Απρίλιος	3	5	10	0,10	1,13	8,85	7,70
Μάιος	3	3	16	0,04	1,49	9,30	9,90
Ιούνιος	5	5	17	0,15	2,60	8,30	9,28
Ιούλιος	5	4	23	0,41	1,57	7,95	6,87
Αύγουστος	13	6	17	0,45	1,93	5,68	7,97
Σεπτέμβριος	6	4	26	0,15	1,61	8,87	8,27
Οκτώβριος	10	4	25	0,36	1,89	8,77	9,05
Νοέμβριος	16	10	37	0,62	1,79	6,93	8,67
Δεκέμβριος	11	5	10	0,05	1,30	7,20	6,70
Μέση τιμή έτους	7	6	19	0,29	1,6	8,2	7,8
Έγκριση περιβαλλοντικών όρων (οριακές τιμές στο 95% των δειγμάτων)	<35	<25	<125	<2	Δεν τίθεται όριο	Δεν τίθεται όριο	Δεν τίθεται όριο

Οι τιμές διαφόρων χαρακτηριστικών της δευτεροβάθμιας εξόδου, όπως δόθηκαν από τον λειτουργό της ΕΕΛ των Χανίων παρουσιάζονται στο πίνακα 24. Με βάση το πίνακα 24, προκύπτει ότι οι τιμές του BOD₅ βρίσκονται συστηματικά κάτω των 10 mg/L, με μια εξαίρεση (Νοέμβριος). Επίσης, οι τιμές των αιωρούμενων στερεών (TSS) στην έξοδο έχουν μέση τιμή μικρότερη των 10 mg/L. Οι τιμές του COD είναι επίσης σημαντικά μειωμένες. Τα παραπάνω αποδεικνύουν ότι η ΕΕΛ Χανίων λειτουργεί με εξαιρετικά καλά, λαμβάνοντας υπόψη τις υψηλές συγκεντρώσεις BOD₅ εισόδου (359mg/L, ποσοστό απομάκρυνσης 98,3%). Αν και οι απαιτήσεις καλύπτουν τα όρια για το BOD₅ και για τα στερεά, εντούτις δεν υπάρχουν στοιχεία για την απομάκρυνση

των κολοβακτηριδίων, και σύμφωνα με το ελληνικό θεσμικό πλαίσιο για χρήση του ανακτημένου νερού απαιτείται ούτος ή άλλος τριτοβάθμια επεξεργασία του νερού προς επαναχρησιμοποίηση (πίνακας 9). .

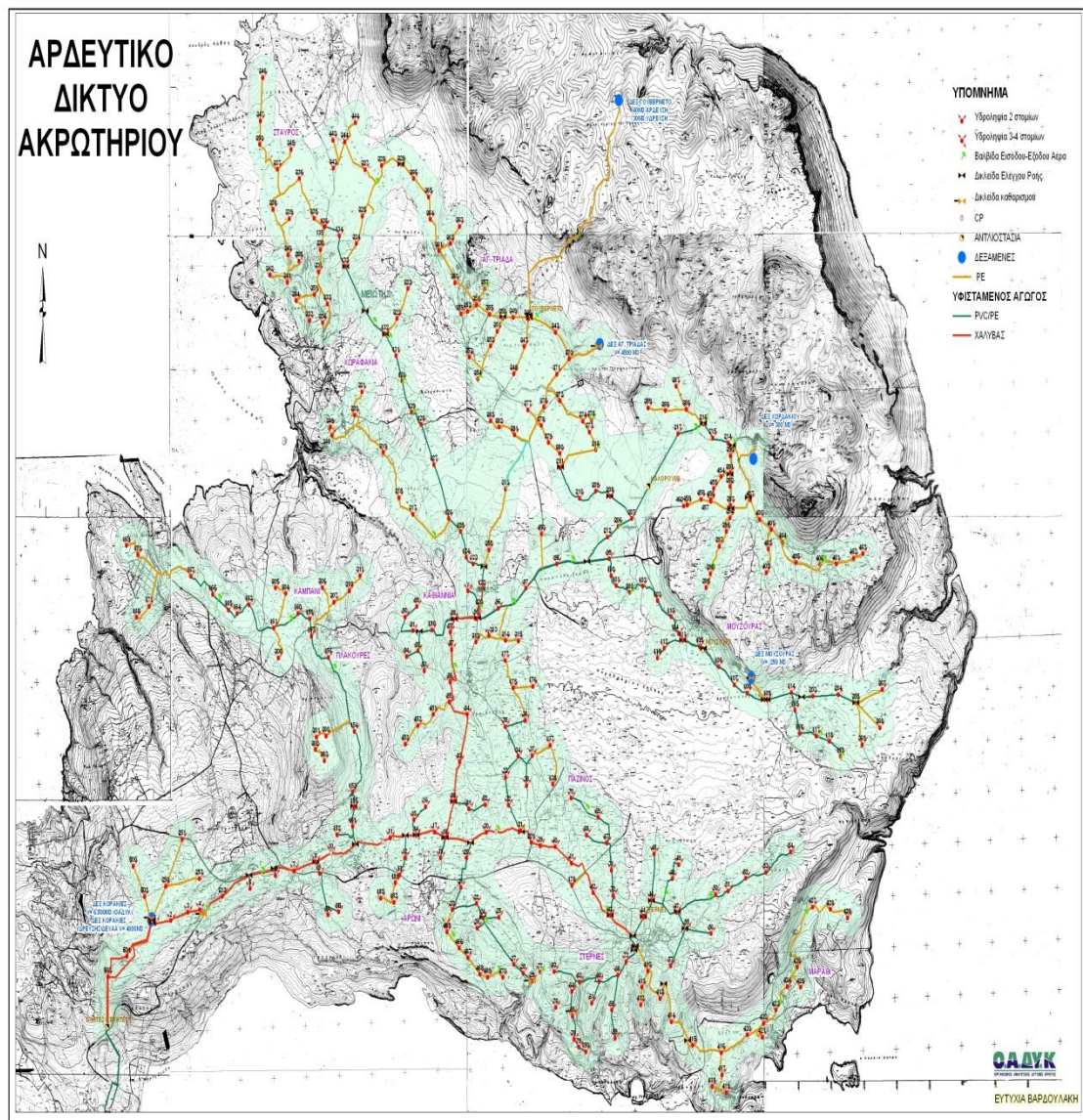
4.6 Προτεινόμενη περιοχή άρδευσης

Οι ανακτώμενες ποσότητες λυμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν τις ανάγκες άρδευσης στις περιοχές της Δημοτικής ενότητας Ακρωτηρίου του νέου Δ. Χανίων. Στην περιοχή αυτή υπάρχει αναπτυγμένο δίκτυο άρδευσης του Ο.Α.ΔΥ.Κ. που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής καθώς και 5 δεξαμενές άρδευσης χωρητικότητας περίπου 12.000 m³. Οι ανάγκες όμως σε νερό άρδευσης παρουσιάζονται μόνο κατά τους θερινούς μήνες του έτους και υπολογίζονται σε 5.000 m³/d. Η αξιοποίηση της ανακτώμενης ποσότητας μπορεί να γίνει μέσω των δικτύων άρδευσης του Ο.Α.ΔΥ.Κ. και μέσω της πλήρωσης με τις αναγκαίες ποσότητες, των δεξαμενών άρδευσης που έχει ο Ο.Α.ΔΥ.Κ. στην περιοχή.

Οι προτεινόμενες προς άρδευση περιοχές της Δ.Δ Ακρωτηρίου υπολογίζονται σε 12.000 στρέμματα γης. Στις περιοχές αυτές επικρατεί η ελαιοκαλλιέργεια, αν και συναντούμε καλλιέργειες εσπεριδοειδών, αμπελιών και μποστάνια με καρπούζια και πεπόνια. Οι εκτιμώμενες ανάγκες των συγκεκριμένων καλλιεργειών ανά στρέμμα σύμφωνα με το Ινστιτούτο Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών Χανίων είναι υπολογισμένη βάση της μεθόδου Penman – Monteith και βάση της νομοθεσίας (ΦΕΚ 02-06-89, ΚΥΑΦ16-6631/1989) και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. (ΕΘΙΑΓΕ, ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΟΡΘΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ), καθώς και ο χάρτης των περιοχών με τα δίκτυα άρδευσης και τις δεξαμενές του Ο.Α.ΔΥ.Κ. σε εμφανή σημεία.

Πίνακας 25: Απαιτήσεις σε νερό ανά καλλιέργεια (Πηγή: ΟΑΔΥΚ)

Καλλιέργεια	Απαιτήσεις σε νερό (m ³ / στρέμμα)
Ελιά	245-290
Εσπεριδοειδή	410-570
Αμπέλια	235-350
Καρπούζια	410-555
Πεπόνια	270-320



Εικόνα 21. Αρδευτικό δίκτυο Ακρωτηρίου (Πηγή: ΟΑΔΥΚ).

Τα ανακτώμενα λύματα μπορούν να μεταφερθούν στις επιλεγείσες περιοχές μέσω αρδευτικού δικτύου που πρέπει να κατασκευαστεί, το οποίο θα ξεκινάει από την Ε.Ε.Λ Χανίων και θα καταλήγει στις κεντρικές δεξαμενές άρδευσης του Ο.Α.ΔΥ.Κ στις αντίστοιχες περιοχές, το οποίο και προτείνεται να κατασκευαστεί ανάντη των οδικών δικτύων που συνδέουν τις επιλεγείσες περιοχές.

5.ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΔΕΥΑ ΧΑΝΙΩΝ

5.1 Υφιστάμενη τριτοβάθμια επεξεργασία της ΕΕΛ των Χανίων

Η χλωρίωση είναι η βασική διεργασία απολύμανσης στην ΕΕΛ της πόλης των Χανίων. Με βάση αυτή, τα τελικά ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων είναι, για τη συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών ετήσιος μέσος όρος 7mg/L, μέσος όρος θερινών μηνών 7,67mg/L, τη συγκέντρωση του BOD ετήσιος μέσος όρος 6mg/L, μέσος όρος θερινών μηνών 5mg/L και της συγκέντρωσης των αμμωνιακών N-NH₄ ετήσιος μέσος όρος 0,29mg/L, μέσος όρος θερινών μηνών 0,34mg/L. Αν λάβουμε υπόψη τις απαιτήσεις της Κ.Υ.Α.145116/2011 (πίνακας 9) για περιορισμένη και απεριόριστη χρήση, παρατηρούμε ότι οι απαιτούμενες συγκεντρώσεις των παραμέτρων ποιότητας του νερού για απεριόριστη άρδευση καλύπτονται εξαιρουμένης όμως της συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων, για τα οποία δεν έχουμε στοιχεία συγκέντρωσης από την υπάρχουσα εκροή, αλλά υποθέτουμε ότι σίγουρα είναι εκτός ορίων νομοθεσίας για απεριόριστη άρδευση λόγω των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην Ε.Ε.Λ. Για την αποφυγή γεγονότων ρύπανσης ή μόλυνσης που είναι πιθανό να προκύψουν στο υφιστάμενο σύστημα, προτείνεται να εξεταστούν τουλάχιστον τρεις εναλλακτικές περαιτέρω διαδικασίες επεξεργασίας στο ρεύμα της εκροής προς επαναχρησιμοποίηση, ώστε όλοι τα ποιοτητικά χαρακτηριστικά να είναι εντός ορίων νομοθεσίας για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση.

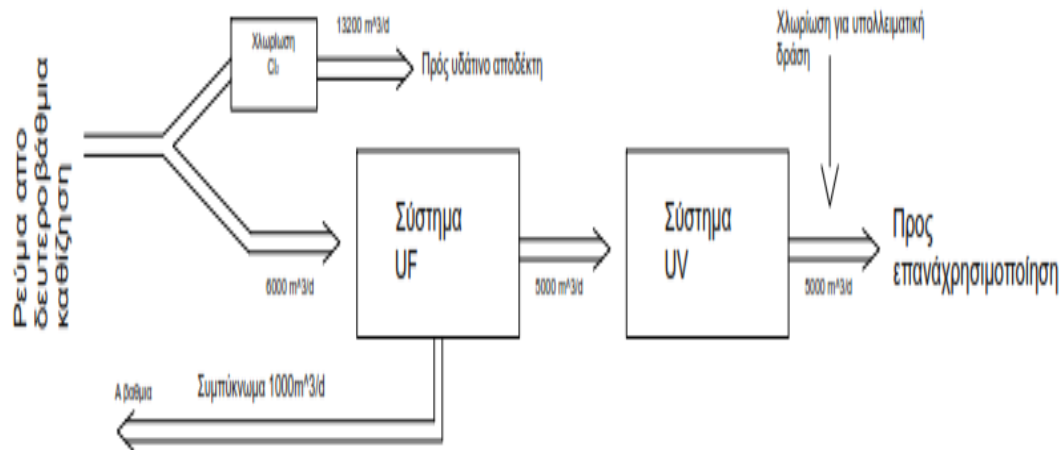
Οι προτεινόμενες λύσεις για επιπλέον επεξεργασία του νερού που βγαίνει στην έξοδο της ΕΕΛ της πόλης των Χανίων είναι οι εξής.

- Συνδυασμός μεμβρανών υπέρ-διήθησης (Ultra-Filtration, UF) και απολύμανσης με χρήση ακτινοβολίας UV και χλωρίωση.
- Συνδυασμός βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (MBR) και απολύμανσης με χρήση ακτινοβολίας UV και χλωρίωση.
- Συνδυασμός υφασμάτων ηθμών (cloth media filters) και απολύμανσης με χρήση ακτινοβολίας UV και χλωρίωση.

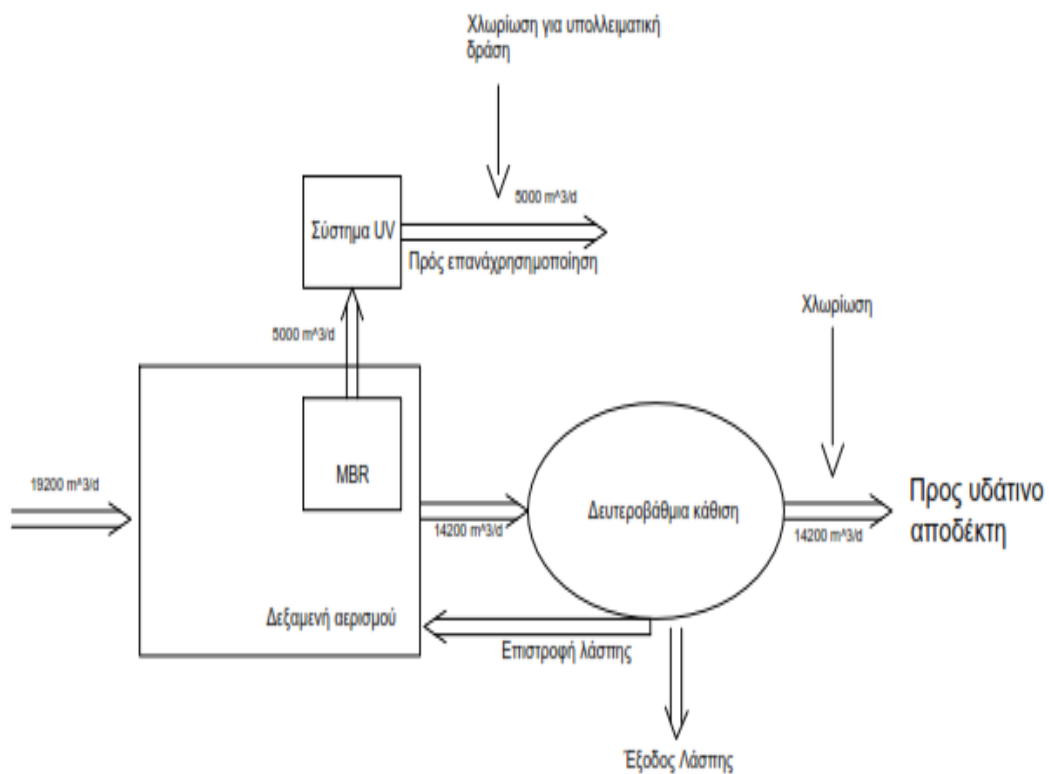
Στη συγκεκριμένες περιπτώσεις αν και δεν επιβάλεται η χλωρίωση επιλέγεται και στις τρεις εναλλακτικές λόγω της υπολειματικής δράσης του Cl₂.

5.2 Διαγράμματα ροής των εναλλακτικών λύσεων

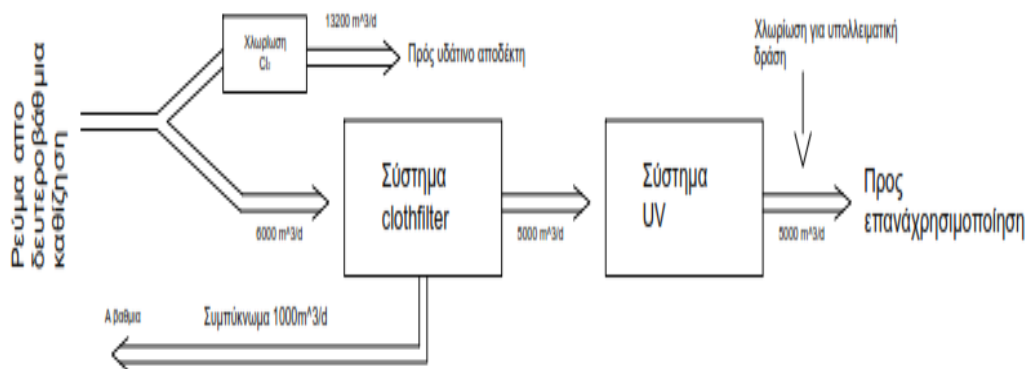
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής των τριών εναλλακτικών τεχνολογιών



Εικόνα 22. 1^η εναλλακτική, συνδυασμός συστήματος UF με απολύμανση UV.



Εικόνα 23. 2^η εναλλακτική, συνδυασμός συστήματος MBR με απολύμανση UV.



Εικόνα 24. 3η εναλλακτική, συνδυασμός συστήματος υφασμάτων ηθμών με απολύμανση UV.

5.3 Προσδιορισμός της απαιτούμενης δόσης ακτινοβολίας

Η απολύμανση του νερού με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας προτείνεται και στις τρεις εναλλακτικές λύσεις. Η απόδοση της απολύμανσης UV βασίζεται στη δόση UV στην οποία εκτίθενται οι μικροοργανισμοί. Η δόση UV ορίζεται ως εξής:

$$D = It \quad (1)$$

Όπου

D : Η δόση της UV ακτινοβολίας (mJ/cm^2 ή $mWsec/cm^2$)

I : η ένταση της UV ακτινοβολίας (mW/cm^2)

t : ο χρόνος επαφής (sec)

Για την εφαρμογή της ακτινοβολίας UV για απολύμανση ισχύει η παρακάτω εξίσωση

$$N_t = N_0 e^{-Dt} \quad (2)$$

Η οποία γράφεται σε συνδυασμό με την (1) ως:

$$N_t = N_0 e^{-kIt} \quad (3)$$

Όπου

N_t : ο ολικός αριθμός των κολοβακτηριδίων σε διασπορά που έχουν ζήσει σε χρόνο, t

N_0 : ολικός αριθμός των κολοβακτηριδίων σε διασπορά πριν αρχίσει η εφαρμογή της ακτινοβολίας UV και

k : ο συντελεστής του ρυθμού απενεργοποίησης, ($cm^2/mWsec$)

Η βασική διαφορά μεταξύ των κολοβακτηριδίων σε διασπορά μέσα στα λύματα και των κολοβακτηριδίων που μπορούν να συνδεθούν με τα σωματίδια, είναι η ποσότητα της έντασης της UV ακτινοβολίας που φτάνει στον οργανισμό. Ένας οργανισμός εγκλωβισμένος σε σωματίδιο, λαμβάνει μια ακτινοβολία UV με μικρότερη ένταση σε σχέση με αυτή που εφαρμόστηκε στον όγκο του διαλύματος. Μια εμπειρική εξίσωση που περιγράφει την απενεργοποίηση των κολοβακτηριδίων όταν υπάρχουν αιωρούμενα στερεά που εμποδίζουν την έκθεση κάποιων κολοβακτηριδίων να εκτεθούν στην ακτινοβολία UV είναι

$$N' = 0.0029N_0e^{-0.0242D} + 0.36(1 - 0.0029e^{-0.0242D})C_{ss}^{3.67} \quad (4)$$

Όπου:

N' : ο ολικός αριθμός των μικροοργανισμών που βρίσκεται στο νερό της εκροής,

N_0 : ολικός αριθμός των μικροοργανισμών σε διασπορά πριν αρχίσει η εφαρμογή της ακτινοβολίας UV

C_{ss} : η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στα λύματα προς απολύμανση (mg/L) και

D : Η δόση της UV ακτινοβολίας (mJ/cm^2 ή $mWsec/cm^2$)

Η παραπάνω εμπειρική σχέση μπορεί να περιγραφεί και ως εξής:

$$N' = 0.0029N_0e^{-0.0242It} + 0.36(1 - 0.0029e^{-0.0242It})C_{ss}^{3.67} \quad (5)$$

Οι απαιτήσεις της νομοθεσίας για περιορισμένη ή απεριόριστη χρήση είναι $70mJ/cm^2$ και $60mJ/cm^2$ αντίστοιχα. Από τη βιβλιογραφία προτείνονται επίσης κάποιες τιμές έντασης.

- $100mJ/cm^2$, όταν η εφαρμοζόμενη εκροή προέρχεται από διήθηση σε μέτρια κοκκώδες μέσο,
- $80mJ/cm^2$, όταν η εφαρμοζόμενη εκροή προέρχεται μετά από επεξεργασία με μεμβράνες και
- $50mJ/cm^2$, όταν η εφαρμοζόμενη εκροή προέρχεται από αντιστροφή ώσμωση.

Η παροχή από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία προς το ρεύμα επαναχρησιμοποίησης είναι ίση με $Q=5000m^3/d$. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της εκροής των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων είναι τα παρακάτω: $BOD=5mg/L$, $TSS=7,67mg/L$. Ο αριθμός των TC στην είσοδο της απολύμανσης είναι περίπου 10^4 αποικίες/100ml. Οι απαιτήσεις της νομοθεσίας είναι: Ο αριθμός των TC στην εκροή

της μονάδας είναι περίπου ≤ 5 αποικίες/100ml, ενώ η χρήση εναλλακτικών διήθησης θα ελαττώσει τη συγκέντρωση των στερεών στο 1mg/L.

Βασικό εργαλείο για το σχεδιασμό μας είναι να ξέρουμε τι δεδομένα έχουμε στην είσοδο της εκροής και τι απαιτείται να έχουμε στην έξοδο αυτής. Η εξίσωση (5) συνδυάζει τα παραπάνω. Αντικαθιστούμε στην παραπάνω σχέση τις τιμές των παραμέτρων που απαιτούνται για την επαναχρησιμοποίηση (συγκέντρωση TSS και επιθυμητός αριθμός μικροοργανισμών) και προκύπτει η εξής δόση

$$D = 75 \frac{mW \sec}{cm^2}$$

Η παροχή σχεδιασμού είναι $Q=5000m^3/d$, η οποία μετατρέπεται ως εξής:

$$Q = 5000 \frac{m^3}{d} \Rightarrow Q \approx 210m^3 / h$$

Χωρίζουμε την παροχή ανοικτό κανάλι με διαστάσεις: ύψος, $L, 3,0m$, πλάτος, $1,0m$ και ύψος, $H, 1m$. Ο όγκος του κάθε καναλιού θα είναι $V=3,0m^3$ και το εμβαδό κάθε διατομής θα είναι $A=1 m^2$. Επιτυγχάνουμε έτσι χρόνο επαφής, $t, 52sec$

Επιλέγουμε λυχνίες χαμηλής πίεσης, μήκους $0.75m$, ώστε να είναι περισσότερο αποτελεσματικές.

Για Δόση, $D, 75mWcm^{-2}sec$, και χρόνο επαφής, $t, 52sec$, η συνολική ένταση ακτινοβολίας θα είναι: $I=D/t, I=1,44mWcm^{-2}$. Για συνολική επιφάνεια $A=1 \cdot 10^4 cm^2$

Η συνολική ένταση της ακτινοβολίας θα είναι, $I_{tot}=14,44W$.

Επειδή οι λυχνίες που τοποθετούνται σε ένα κανάλι ανοιχτού τύπου, είναι $2,4,8,\dots,2^i$ (Metcalf & Eddy, 2007), θα τοποθετηθούν στο κανάλι 2 λυχνίες χαμηλής πίεσης, των 10W, έκαστη, με συνολική ένταση ακτινοβολίας 20W.

5.4 Προτεινόμενες τεχνολογίες

Πριν την απολύμανση με χρήση ακτινοβολίας θα πρέπει να εφαρμοστεί το στάδιο τριτοβάθμιας επεξεργασίας ώστε να είμαστε πλήρως καλυμμένοι ως προς τη νομοθεσία (πίνακας 9. Απαιτήσεις ποιότητας σύμφωνα με την Κ.Υ.Α.145116/2011) που διέπει την απεριόριστη άρδευση. Εξετάζονται τρεις εναλλακτικές λύσεις όπως αναφέρθηκε πιο πάνω: η τεχνολογία MBR, η χρήση υπερδιήθησης και η χρήση υφασμάτων ηθμών. Το κυριότερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν και τα τρία συστήματα είναι η έμφραξη των μεμβρανών. Για να αντιμετωπίσουν το συγκεκριμένο χρησιμοποιούν τη μέθοδο της αντίστροφης πλύσης (back-wash). Από την άλλη και οι τρεις προτεινόμενες τεχνολογίες επιτυγχάνουν υψηλά ποσοστά κατακράτησης των στερεών, όμως αν παρατηρήσουμε την έξοδο της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας αυτή η παράμετρος δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το αποτέλεσμα, καθώς ήδη οι συγκεντρώσεις των στερεών είναι χαμηλές. Βασικές παράμετροι επιλογής της τεχνολογίας μεμβρανών θα είναι τόσο η απομάκρυνση των οργανικών όσο και το συνολικό κόστος αγοράς, λειτουργίας και συντήρησης των προτεινόμενων συστημάτων

5.4.1 Υφασμάτινοι Ηθμοί

Η τεχνολογία των υφασμάτων ηθμών μπορεί να επεξεργαστεί ένα εύρος συγκεντρώσεων των TSS από 4-30mg/L και θολότητας 2-30 NTU με απομάκρυνση 92% στην εκροή (Metcalf & Eddy, 2007). Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες σχεδιασμού για τους ηθμούς, προσδιορίζεται το εύρος της υδραυλικής φόρτισης $0,1-0,27\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{min}^{-1}$. Η παροχή σχεδιασμού για την επαναχρησιμοποίηση είναι $210\text{m}^3\text{h}^{-1}$ ή $3,5\text{m}^3\text{min}^{-1}$, όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο 5.3. Αν λοιπόν επιλέξουμε σύστημα υφασμάτων ηθμών με υδραυλική φόρτιση $0,25\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{min}^{-1}$, απαιτείται επιφάνεια ηθμών 14m^2 και αν εκτιμήσουμε δίσκους ηθμών με διάμετρο 1m, τότε ο συνολικός αριθμός ηθμών που απαιτείται είναι 18 που σημαίνει ότι θα απαιτηθούν δύο διατάξεις 10 δίσκων. Η αναμενόμενη πτώση πίεσης εκτιμάται στα 50-300mm και η απαιτούμενη φόρτιση για την αντίστροφη πλύση είναι σε δυναμικότητα περίπου 7,5% της υδραυλικής φόρτισης, δηλαδή $0,29\text{m}^3$ για κάθε λεπτό που γίνεται η αντίστροφη πλύση, η οποία θα πρέπει να καταλήγει ανάντη στην είσοδο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας του βιολογικού. (Metcalf & Eddy, 2007).

5.4.2 Βιοαντιδραστήρας μεμβρανών MBR

Ο βιοαντιδραστήρας μεμβρανών δουλεύει με μεμβράνες μικροδιήθησης. Επιτυγχάνεται πλήρης κατακράτηση των στερεών από τις μεμβράνες και απομάκρυνση BOD στην έξοδο με συγκεντρώσεις $<1-5\text{mg/L}$. Η θολότητα έχει τιμές 0,1-1. Η υδραυλική φόρτιση κυμαίνεται από $0,6-1,1\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{day}^{-1}$. Αν εκτιμήσουμε μια παροχή σχεδιασμού $1\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{day}^{-1}$, η απαιτούμενη επιφάνεια των μεμβρανών θα είναι 5000m^2 . Αν χρησιμοποιήσουμε μεμβράνες 1m^2 σε κελιά των 100μεμβρανών, θα απαιτηθούν συνολικά 50 κελιά μεμβρανών, τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν εναλλακτικά μέσα στην ίδια δεξαμενή αερισμού και ο αερισμός που βγαίνει από τους διαχυτήρες να χρησιμοποιείται παράλληλα για την αποφυγή της έμφραξης. Το βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας MBR σε σχέση με τις άλλες δυο είναι ότι μπορεί να τοποθετηθεί μέσα στην υφιστάμενη δεξαμενή αερισμού και δεν απαιτείται χώρος για την τοποθέτηση της, και επιτυγχάνει υψηλά ποσοστά απομάκρυνσης των οργανικών. Βέβαια στη συγκεκριμένη περίπτωση της Ε.Ε.Λ Χανίων, το πλεονέκτημα της τοποθέτησης στη δεξαμενή αερισμού δεν έχει αντίκρισμα, καθώς η έκταση του γηπέδου της Ε.Ε.Λ. είναι αρκετά μεγάλη και μπορεί να φιλοξενήσει και άλλες εγκαταστάσεις.

5.4.3 Υπερδιήθηση UF

Η εφαρμογή υπερδιήθησης επιτυγχάνει πλήρη κατακράτηση των στερεών από τις μεμβράνες και BOD στην έξοδο με συγκεντρώσεις $0-1\text{mg/L}$ για τα στερεά, 1mg/L για το BOD και θολότητας 0,1-1. Για την περίπτωση της υπερδιήθησης, από σχεδιαστική πλευρά η υδραυλική φόρτιση είναι $0,4-0,8\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{day}^{-1}$. Η ανάκτηση κυμαίνεται από 70-80%. Η εξίσωση της ανάκτησης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$r, \% = \frac{V_p}{V_f} \times 100 \quad (6)$$

Όπου V_f είναι ο όγκος του νερού που φθάνει στη μεμβράνη και V_p είναι ο όγκος του νερού στο διήθημα. Για 80% ανάκτηση, σημαίνει ότι ο όγκος του διηθήματος είναι το 80% του όγκου του εισερχόμενου νερού. Άρα και η παροχή του διηθήματος είναι το 80% της παροχής, δηλαδή $Q_p=0,8Q=4000\text{m}^3/\text{d}$. Αν επιλέξουμε υδραυλική φόρτιση $0,8\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{day}^{-1}$, τότε η συνολική επιφάνεια των μεμβρανών θα είναι ίση με $A=5000\text{m}^2$, όση και η απαιτούμενη επιφάνεια των μεμβρανών του MBR.

Η υπερδιήθηση μπορεί και αυτή να πετύχει την πλήρη απομάκρυνση των στερεών, σε αντίθεση με τον MBR δε μπορεί να τοποθετηθεί στην υφιστάμενη δεξαμενή αερισμού, οπότε θα πρέπει να συνυπολογιστεί η οικονομική προσέγγιση των λύσεων για να αποφασιστεί αν αυτές θα πρέπει τελικά να επιλεγούν.

5.5 Εκτίμηση κόστους

Οι εναλλακτικές λύσεις για την ανάκτηση του νερού προς επαναχρησιμοποίηση που εξετάστηκαν σε αυτή την εργασία είναι: η ενδεχόμενη εγκατάσταση συστήματος MBR, η υπερδιήθηση και η εγκατάσταση φίλτρων υφασμάτων ηθμών. Η αποτελεσματικότητα και των τριών ως προς το επιθυμητό στόχο της ποιότητας των νερών για επαναχρησιμοποίηση με απεριόριστη άρδευση είναι εντός νομοθετικού πλαισίου και δεν έχει διαφορά, οπότε θα επιλεγεί η οικονομικότερη λύση. Οι τιμές που παρατίθενται είναι από προσφορές που ζητήθηκαν από εταιρείες προώθησης τεχνολογιών επαναχρησιμοποίησης.

Το κόστος εγκατάστασης μιας μονάδας MBR για τη συγκεκριμένη παροχή των 5000m³ ημερησίως ανέρχεται σε 1.750.000€ χωρίς τα λειτουργικά έξοδα. Για τη χρήση της τεχνολογίας υφασμάτων ηθμών το κόστος εγκατάστασης για την ίδια δυναμικότητα είναι κατά πολύ μικρότερο, υπολογίζεται σε 120.000€ με κόστος λειτουργίας 4.800€ για χρήση τη θερινή περίοδο. Το συνολικό κόστος δηλαδή δεν υπερβαίνει αυτό της εγκατάστασης ενός MBR. Το κόστος της υπερδιήθησης κυμαίνεται από 530-600,000€ χωρίς να συνεκτιμηθεί το λειτουργικό κόστος. Στο κόστος των υφασμάτων ηθμών και τις υπερδιήθησης θα πρέπει να υπολογίσουμε και ένα ποσό για τεχνικά έργα που χρειάζονται αφού πρέπει να κατασκευαστούν εξωτερικά των υφιστάμενων υποδομών, αλλά και πάλι το κόστος αυτό υπολογίζεται μικρότερο από των MBR. Αν και οι τρεις τεχνολογίες, στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης του νερού, και της επίτευξης των ποιοτικών στόχων, δεν έχουν διαφορά, το κόστος εγκατάστασης τους διαφέρει αισθητά. Μάλιστα η επιλογή της τεχνολογίας των υφασμάτων ηθμών, παρουσιάζεται ως η πλέον ελκυστική καθώς το κόστος της είναι 15 φορές μικρότερο από το κόστος εγκατάστασης ενός MBR και σχεδόν 6 φορές χαμηλότερο από το αντίστοιχο των UF. Η επιλεγόμενη τεχνολογία είναι αυτή των υφασμάτων ηθμών και μάλιστα χωρίς να κινδυνεύουν να μην επιτευχθούν οι στόχοι ποιότητας του επαναχρησιμοποιημένου νερού. Εκτίμηση του κόστους των τριών εναλλακτικών λύσεων αναπαρίσταται στον πίνακα 26.

Πίνακας 26α . Εκτιμώμενο κόστος διαφόρων επί μέρους διεργασιών για την περίπτωση των Χανίων.

Εξοπλισμός	Τυπικό κόστος (Ευρώ)
Υφασμάτινος Ηθμός	120.000
Κόστος λειτουργίας	4.800
Σύστημα UV δόσης 75 mJ/cm ² (αυτοκαθαριζόμενο)	28.000-38.000
Σύστημα δοσομέτρησης υποχλωριώδους νατρίου	500-2.000

Πίνακας 26β . Εκτιμώμενο κόστος διαφόρων επί μέρους διεργασιών για την περίπτωση των Χανίων.

Εξοπλισμός	Τυπικό κόστος (Ευρώ)
MBR	1.750.000
Σύστημα UV δόσης 75 mJ/cm ² (αυτοκαθαριζόμενο)	28.000-38.000
Σύστημα δοσομέτρησης υποχλωριώδους νατρίου	500-2.000

Πίνακας 26γ . Εκτιμώμενο κόστος διαφόρων επί μέρους διεργασιών για την περίπτωση των Χανίων.

Εξοπλισμός	Τυπικό κόστος (Ευρώ)
Μεμβράνες UF	530.000-600.000
Σύστημα UV δόσης 75 mJ/cm ² (αυτοκαθαριζόμενο)	28.000-38.000
Σύστημα δοσομέτρησης υποχλωριώδους νατρίου	500-2.000

Το λειτουργικό κόστος κάθε εγκατάστασης μπορεί να εκφραστεί για τη δεδομένη δυναμικότητα ως προς το μοναδιαίο κόστος. Το μοναδιαίο κόστος προκύπτει από την άθροιση όλων των κοστών εκφραζόμενων ως κόστη ανά κυβικό μέτρο ανακτημένου νερού. Στην περίπτωση της διεργασίας ανάκτησης νερού, διακρίνονται διάφορα επί μέρους λειτουργικά κόστη, τα οποία έχουν να κάνουν με:

1. την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος
2. την κατανάλωση χημικών (Cl_2)
3. την περιοδική αντικατάσταση των μεμβρανών
4. την περιοδική αντικατάσταση των λυχνιών UV
5. το κόστος υλικών συντήρησης
6. το κόστος των εργατικών
7. το κόστος των αναλύσεων
8. το κόστος διανομής

5.6 Σκεπτικό επιλογής συστήματος ανάκτησης νερού

Κάθε διεργασία που πιθανόν να επιλεγεί πρέπει κατ' ελάχιστο να μπορεί να παράγει ανακτημένο νερό το οποίο να πληροί τα ποιοτικά κριτήρια που έχουν τεθεί από την Ελληνική νομοθεσία για τον τύπο της άρδευσης που προορίζεται. Ωστόσο, αυτό μπορεί να γίνει με χρήση διαφόρων συνδυασμών τεχνολογιών, όπως ήδη διαφάνηκε πιο πάνω. Κάποιες τεχνολογίες, αν και είναι κατάλληλες δεν συζητήθηκαν, γιατί έχουν σημαντικά υψηλότερο κόστος σε σχέση με άλλες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η απολύμανση με όζον, η οποία, αν και είναι αποτελεσματική, είναι σημαντικά πιο ακριβή από τις άλλες δύο (χλωρίωση και ακτινοβολία UV).

Ουσιαστικά η νέα νομοθεσία (ΦΕΚ Β' 254, 2011) που διέπει την ανάκτηση νερού για όλες τις χρήσεις έχει ορίσει πολύ αυστηρά όρια στα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, το νερό αυτό θα είναι κατάλληλο για απεριόριστη αγροτική άρδευση, άρα θα πρέπει να εφαρμοστούν οι αυτηρότεροι κανόνες άρα και μεγαλύτερο κόστος παραγωγής σε σχέση π.χ με τη περιορισμένη άρδευση.

Σε σχέση με την μέθοδο απολύμανσης, ουσιαστικά υπάρχει επιλογή μεταξύ των μεθόδων της χλωρίωσης, του οζονισμού και της ακτινοβολίας UV. Η μέθοδος του οζονισμού είναι συγκριτικά πιο ακριβή σε σχέση με τις άλλες, οπότε ουσιαστικά δεν προτείνεται. Επίσης η χλωρίωση έχει το μειονέκτημα της επιβάρυνσης του ανακτημένου νερού με χλώριο και με παραπροϊόντα της χλωρίωσης

(οργανοχλωριωμένες ενώσεις και χλωραμίνες). Τέλος το κύριο μειονέκτημα της ακτινοβόλησης με UV είναι η έλλειψη υπολειμματικής δράσης. Ως καταλληλότερη μέθοδος προτείνεται η χρήση ακτινοβολίας UV, ακολουθούμενη από προσθήκη μικρής ποσότητας υποχλωριώδους νατρίου, ώστε να διασφαλιστεί υπολειμματική δράση.

6.ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

Για την ορθή λειτουργία του συστήματος χρειάζονται να εφαρμοστούν τεχνικές και να συντελεσθούν κατασκευαστικές παρεμβάσεις που άπτονται στα διάφορα έργα που απαιτούνται για τη σύνδεση της εγκατάστασης ανάκτησης νερού με την υφιστάμενη ΕΕΛ Χανίων, στα έργα πολιτικού μηχανικού για την εγκατάσταση του εξοπλισμού, στα έργα ηλεκτρολόγου μηχανικού, στα έργα για την συλλογή του ανακτημένου νερού, στα έργα και στον εξοπλισμό για την διανομή του ανακτημένου νερού και στον απαιτούμενο εργαστηριακό εξοπλισμό για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηριδίων.

Συγκεκριμένα για τα έργα πολιτικού μηχανικού: Για την τοποθέτηση του εξοπλισμού απαιτείται η κατασκευή βάσης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι ακριβείς διαστάσεις και τα λοιπά τεχνικά χαρακτηριστικά της βάσης εξαρτώνται από τις διαστάσεις και τις ειδικές προδιαγραφές του εξοπλισμού που θα επιλεγεί. Δεν υπάρχει γενική απαίτηση για την στέγαση όλου του εξοπλισμού, κάποια επί μέρους στοιχεία του όμως ενδείκνυται να είναι στεγασμένα. Αυτά είναι το σύστημα ακτινοβόλησης UV, το σύστημα μεμβρανών διήθησης, οι δοσομετρικές αντλίες χλωρίωσης, καθώς και οι ηλεκτρολογικοί πίνακες.

Σε περίπτωση που η ωριαία παροχή εκροής της παρουσιάζει διακυμάνσεις, είναι απαραίτητη η κατασκευή δεξαμενής συλλογής της εκροής της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, ώστε να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη τροφοδοσία της εγκατάστασης ανάκτησης νερού σε ώρες κατά τις οποίες η παροχή εκροής είναι μειωμένη (συνήθως νυχτερινές ώρες).

Επίσης, πρέπει να κατασκευαστεί δεξαμενή άρδευσης (χωρητικότητας περίπου 10.000-20.000 m³), από όπου θα γίνεται η διανομή του νερού με φυσική ροή. Η δεξαμενή αυτή θα πρέπει να βρίσκεται σε υπερυψωμένο σημείο, προφανώς εκτός της

εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων των Χανίων. Συνίσταται η κατασκευή κλειστής δεξαμενής (για την αποφυγή ανάπτυξης άλγεων), από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η τροφοδοσία της δεξαμενής ύδρευσης θα γίνεται από αντλιοστάσιο που θα κατασκευαστεί εντός της ΕΕΛ και θα λειτουργεί ως δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης ανακτημένου νερού.

Επίσης θα πρέπει να κατασκευαστεί το δίκτυο μεταφοράς των απαιτούμενων ανακτώμενων λυμάτων καθώς και τα αναγκαία λόγω υψομετρικών διαφοροποιήσεων αντλιοστάσια που θα διευκολύνουν τη μεταφορά τους από την Ε.Ε.Λ. Χανίων προς τις δεξαμενές άρδευσης του Ο.Α.ΔΥ.Κ στις επιλεγείσες περιοχές. Στα έργα ηλεκτρολόγου/μηχανολόγου μηχανικού υπάγονται τα έργα διαστασιολόγησης των αντλιοστασίων και τα χαρακτηριστικά των αντλιών τα οποία όμως εξαρτώνται από την χωροθέτηση της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης ανακτημένου νερού. Εναλλακτικά, η χωρητικότητα του αντλιοστασίου μπορεί να είναι σχετικά μεγάλη (ώστε να λειτουργεί ως δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης) με παράλληλη μείωση της χωρητικότητας της δεξαμενής ύδρευσης.

Για την διασύνδεση της υφιστάμενης εγκατάστασης με την εγκατάσταση ανάκτησης νερού, θα απαιτηθεί η κατασκευή δεξαμενής εξοπλισμένης με αναλυτικό σύστημα, μεταξύ της δευτεροβάθμιας καθίζησης και της δεξαμενής χλωρίωσης. Επίσης θα κατασκευαστεί αγωγός μεταφοράς των δευτεροβάθμιων εκροών προς την εγκατάσταση ανάκτησης νερού. Επίσης, θα χρειαστεί η κατασκευή σωληνώσεων για την επιστροφή των ιλύων, των συμπυκνωμάτων και των προϊόντων έκπλυσης των ηθμών στην είσοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Τέλος στον στεγασμένο χώρο πρέπει θα τοποθετηθεί ηλεκτρολογικός πίνακας για την εξυπηρέτηση των αναγκών των επιμέρους διεργασιών. Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρολογικού πίνακα θα καθοριστούν αφού επιλεγεί ο εξοπλισμός της εγκατάστασης.

Το σύστημα ανάκτησης νερού μπορεί προαιρετικά να συνδεθεί με το σύστημα SCADA της εγκατάστασης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (εάν υπάρχει), ώστε να είναι πιο εύκολη η παρακολούθηση της λειτουργίας του.

Ανάλογα με την υψομετρία της περιοχής θα απαιτηθεί η χρήση συστήματος άντλησης για την τροφοδότηση της εγκατάστασης με δευτεροβάθμια εκροή. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, το αντλητικό σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί σε δεξαμενή που θα κατασκευαστεί μεταξύ της δευτεροβάθμιας καθίζησης και της δεξαμενής χλωρίωσης.

Ευκταίο είναι η μεταφορά νερού από διεργασία σε διεργασία να γίνεται με φυσική ροή. Εάν απαιτηθεί ανύψωση νερού αυτή θα γίνει με χρήση κατάλληλων αντλιών.

Κατά τις διεργασίες διήθησης (επιφανειακής ή με μεμβράνες) και διύλισης παράγεται συμπύκνωμα, το οποίο μπορεί να φτάσει και το 20% της παροχής. Το συμπύκνωμα θα συλλέγεται σε φρεάτιο και θα αντλείται στην είσοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης της εγκατάστασης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Για το σκοπό αυτό θα απαιτηθούν μία ή δύο φυγοκεντρικές αντλίες αναλόγου παροχής και μανομετρικού, καθώς και η τοποθέτηση αγωγού. Εάν υπάρχει διαθέσιμο μανομετρικό ύψος, τότε η μεταφορά τους μπορεί να γίνει με φυσική ροή.

Μικρή αντλία θετικής εκτόπισης θα χρησιμοποιηθεί για τη δοσομέτρηση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου στον αγωγό όπου το ανακτημένο νερό θα καταλήγει στην ενδιάμεση δεξαμενή, πριν την άντλησή του προς την δεξαμενή υδροδότησης.

Τέλος απαιτείται η χρήση δύο αντλιών για την προώθηση του ανακτημένου νερού προς την δεξαμενή υδροδότησης, καθώς και η κατασκευή του σχετικού αυτόνομου δικτύου διανομής ανακτημένου νερού.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με την νομοθεσία (ΦΕΚ Β' 254, 2011) όλο το αυτόνομο δίκτυο διανομής του ανακτημένου νερού πρέπει να έχει χρώμα ιώδες, ενώ επιβάλλεται η χρήση κατάλληλης σήμανσης στους χώρους επαναχρησιμοποίησης.

7. ΑΠΟΔΟΧΗ ΑΠΟ ΤΟ ΚΟΙΝΟ

7.1 Παράγοντες αποδοχής από την τοπική κοινωνία

Σημαντικότερος παράγοντας για να επιτύχει οποιοδήποτε πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης νερού, είναι να φέρει της αποδοχής της τοπικής κοινωνίας που θα το χρησιμοποιεί. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα εφαρμογών της επαναχρησιμοποίησης που με την κατάλληλη ενημέρωση του κόσμου και της τοπικής κοινωνίας στέφθηκαν με απόλυτη επιτυχία, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις που η τοπική κοινωνία αρνήθηκε να αποδεχτεί αυτές τις εφαρμογές και οι προσπάθειες εγκαταλείφθηκαν (D'Angelo Report, 1998). Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρεται η προσπάθεια επαναχρησιμοποίησης του νερού για πόσιμους σκοπούς στο San Diego της Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου αν και αρχικά η τοπική κοινωνία είχε ενστερνιστεί την προσπάθεια επαναχρησιμοποίησης, (Wegner-Gwidt, 1998), λόγω πολιτικώς διαμαχών, αυτή εγκαταλείφθηκε (US Bureau of Reclamation, 2000). Γνωστή επίσης, είναι η περίπτωση της προσπάθειας φόρτισης του πόσιμου υδροφορέα στο San Gabriel Valley της Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών όπου ακυρώθηκε μετά από έντονη δυσφημιστική εκστρατεία οργανωμένων ομάδων πολιτών, οι οποίες έπεισαν τη τοπική κοινωνία ότι αν και η πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων υγείας από την χρήση ανακτημένου νερού είναι πολύ μικρός, δεν παύει να είναι υπαρκτός (Stenekes, 2001).

Εάν λοιπόν η πολιτεία και οι τοπικές αρχές θέλουν να προχωρήσουν σε μεθόδους επαναχρησιμοποίησης είναι σημαντικό να έχουν ενημερώσει τη τοπική κοινωνία, υπεύθυνα και αμερόληπτα, ώστε αυτή να δημιουργήσει σαφή και αντικειμενική άποψη για τα υπέρ της εφαρμογής της επαναχρησιμοποίησης, και να της αποδειχτεί ότι θα τηρούνται όλοι οι κανόνες ασφαλείας που διέπουν τις εγκαταστάσεις αυτές. Και η υπευθυνότητα της διαχείρισης της ενημέρωσης του κόσμου σε θέματα επαναχρησιμοποίησης είναι σημαντικός παράγοντας, διότι η εμπειρία δείχνει ότι στις τοπικές κοινωνίες, η επαναχρησιμοποίηση είναι ένα θέμα, που επιδιώκουν κάποιοι να εμπλέξουν σε πολιτικές διαμάχες (Gibson and Apostolidis, 2001).

Τις περισσότερες περιπτώσεις αρνητικής διάθεσης της κοινότητας να χρησιμοποιήσει ανακτώμενο νερό συναντιούνται σε περιπτώσεις με άμεσες ή έμμεσες πόσιμες εφαρμογές. Και στις περιπτώσεις που το αποδεχθεί αναμένει η τιμή διάθεσή του να είναι αισθητά χαμηλότερη από το νερό ύδρευσης.

Βασικοί παραγόντων που έχουν παρουσιαστεί για να ερμηνεύσουν την απροθυμία του κοινού να χρησιμοποιήσει ανακτημένο νερό, είναι:

- Η ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης. Η ανάπτυξη αυτής μπορεί να παρακινήσει το κοινό να αναδεχθεί την χρήση ανακτημένου νερού όταν πεισθεί ότι τηρούνται όλοι οι κανόνες ασφαλείας. Συνήθως, άνθρωποι που έχουν εγκαταστήσει στο σπίτι τους συστήματα εξοικονόμησης νερού είναι πιο δεκτικοί στην χρήση του ανακτημένου νερού.
- Η διαίσθηση κινδύνου από την χρήση ανακτημένου νερού, η οποία οφείλεται στην γενικότερη αντίληψη ότι το ανακτημένο νερό παρότι είναι κατά βάση ασφαλές, μπορεί λόγω κάποιου τυχαίου γεγονότος να καταστεί επικίνδυνο.
- Το αίσθημα "αηδίας". Οφείλετε σε ψυχολογικούς λόγους και έχει να κάνει με την αίσθηση ότι κάτι που έχει έρθει κάποτε σε επαφή με κάτι βρώμικο είναι δυνητικά επικίνδυνο και ελλοχεύει ο κίνδυνος της μόλυνσης.
- Οι ειδικές χρήσεις του ανακτημένου νερού. Γενικά, σε όσο πιο κοντινή επαφή έρχεται κάποιος με το ανακτημένο νερό τόσο περισσότερο μειώνεται η δεκτικότητα στην χρήση του, με αποκορύφωμα την περίπτωση της άμεσης πόσης.
- Το κόστος του ανακτημένου νερού. Οι καταναλωτές θα προτιμήσουν την χρήση ανακτημένου νερού εάν αυτό προσφέρεται σε τιμή σημαντικά πιο χαμηλή από αυτή του νερού ύδρευσης.
- Η δυνατότητα επιλογής. Το κοινό είναι σημαντικά πιο πρόθυμο να κάνει χρήση ανακτημένου νερού σε περιόδους λειψυδρίας, σε σχέση με περιόδους κατά τις οποίες υπάρχει σχετική αφθονία σε νερό.
- Η εμπιστοσύνη στις αρχές και στην επιστημονική γνώση και εμπειρία. Η εμπιστοσύνη του κοινού στις αρχές που λειτουργούν την εγκατάσταση ανάκτηση νερού και διενεργούν του ελέγχους ποιότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την αποδοχή χρήσης ανακτημένου νερού.
- Το αίσθημα κοινωνικής δικαιοσύνης. Είναι ο λόγος που αναβλήθηκε το έργο ανάκτησης νερού στο San Diego της Καλιφόρνια, όταν ένας πολιτικός της περιοχής υποστήριξε ότι το επαναχρησιμοποιούμενο νερό θα προορίζεται για τις πιο υποβαθμισμένες συνοικίες της περιοχής, με τα χαμηλά εισοδήματα.

7.2 Στρατηγικές υλοποίησης νέων έργων ανάκτησης νερού

Για να μπορέσει μια σύγχρονη κοινωνία να αποδεχτεί ένα έργο ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης υδάτων, θα πρέπει να αποφευχθεί η ως τώρα πρακτική του παρελθόντος "απόφαση υλοποίησης-ανακοίνωση-υπεράσπιση του έργου", η οποία απλώς συνοδεύεται με ενέργειες ενημέρωσης κοινού, όπως σεμινάρια και διαλέξεις, αφού πραγματοποιηθεί το έργο, διότι πολύ πιθανό να έχουν και τα αντίθετα αποτελέσματα από τα αναμενόμενα.

Για να μεγιστοποιήσουμε τις πιθανότητες αποδοχής του έργου από μια τοπική κοινωνία, θα πρέπει το κοινό αυτής να γίνει άμεσα εμπλεκόμενο από την αρχή της σύλληψης του σχεδιασμού του έργου, όσο το δυνατό νωρίτερα δηλαδή. Θα πρέπει το κοινό, όχι μόνο να ενημερωθεί για τα προβλήματα, αλλά να προβληματιστεί και το ίδιο για τις καλύτερες δυνατές ρεαλιστικές περιπτώσεις υδροδότησης της περιοχής του, με διαφάνεια και ειλικρίνεια από τη πλευρά της πολιτείας,, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλες τις πιθανές ενστάσεις του κόσμου, και απαντώντας με ειλικρίνεια σε αυτές. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να τίθεται ως στόχος ο εξαναγκασμός του κοινού να αποδεχθεί κάποια προειλημμένη απόφαση ή η πώληση του ανακτημένου νερού.

Διαχρονικά έρευνες έχουν αναπτύξει συγκεκριμένα πλαίσια αρχών που αν εφαρμοστούν από τους φορείς που διαχειρίζονται το νερό, όπως δήμους και ΔΕΥΑ, μπορούν να βοηθήσουν στην δημιουργική εμπλοκή του κοινού όσον αφορά την λήψη των ορθών αποφάσεων για την επαναχρησιμοποίηση νερού. Το πλαίσιο αρχών διορθώνεται ως εξής:

- Δέσμευση για διάχυση όλων των πληροφοριών προς κάθε εμπλεκόμενο φορέα και ενδιαφερόμενο
- Δέσμευση για ύπαρξη κλίματος εμπιστοσύνης μεταξύ των ενδιαφερομένων πλευρών
- Ενθάρρυνση της κινητοποίησης του κάθε ενδιαφερόμενου
- Δέσμευση για δημόσια διαβούλευση του ζητήματος και υποβοήθηση στην επικοινωνία μεταξύ των ενδιαφερομένων πλευρών
- Δέσμευση για ύπαρξη ενός ειλικρινούς και αξιοκρατικού τρόπου λήψης των όποιων αποφάσεων

Το πλαίσιο αυτό καλό είναι να τηρείτε σαν γενικές αρχές, άλλα κατά περιπτώσεις θα μπορούσε να προσαρμόζεται αναλόγως με τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής.

Άλλωστε, οι τοπικές αρμόδιες αρχές, πρέπει να έχουν κατά νου, αυτό που πλήθος ερευνών έχουν αναδείξει διαχρονικά, ότι η υποστήριξη του κοινού σε κάποιο έργο κοινής ωφέλειας δεν εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από εάν το οποιοδήποτε έργο βελτιώνει το βιοτικό του επίπεδο, αλλά και από την διαδικασία που ακολουθήθηκε για την λήψη των σχετικών αποφάσεων και την υλοποίηση του έργου. Έτσι, συνήθως το κοινό είναι πιο πρόθυμο να αποδεχθεί τις αποφάσεις των αρχών εάν έχει καταστεί εμφανές ότι αυτές είναι δίκαιες και δεν εξυπηρετούν καθιονδδήποτε τρόπο άλλα συμφέροντα.

Το τελικό συμπέρασμα παραμένει, ότι σημαντικότερος παράγοντας για την εφαρμογή ενός έργου επαναχρησιμοποίησης του νερού είναι η ορθή κατανόηση των αναγκών και των ενδοιασμών της τοπικής κοινωνίας και η δημιουργία πνεύματος εμπιστοσύνης και συνεργασίας μαζί τους.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επαναχρησιμοποίηση του νερού είναι απαιτούμενο στις σύγχρονες κοινωνίες, ειδικά σήμερα που οι υδατικοί πόροι εξαντλούνται. Τα ανακτώμενα νερά όμως, πρέπει να πληρούν τις απαραίτητες ποιοτικές προδιαγραφές που ορίζει η νομοθεσία, ανάλογα με τις χρήσεις για τις οποίες προορίζονται, ώστε να διασφαλίζεται η δημόσια ασφάλεια και υγιεινή.

Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκε το ενδεχόμενο χρήσης ανακτώμενου νερού για απεριόριστη χρήση στην περιοχή Ακρωτήρι του Δήμου Χανίων. Οι ανάγκες για αγροτική χρήση είναι εποχιακές, ιδιαίτερα τη θερινή περίοδο. Η ημερήσια παροχή ανακτώμενου νερού υπολογίστηκε σε 5000m³ ημερησίως. Εξετάστηκαν 3 εναλλακτικές μέθοδοι επεξεργασίας, φίλτρανση νερού με χρήση βιοαντιδραστήρα μεμβρανών και απολύμανση με χλώριο και UV ακτινοβολία, φίλτρανση μέσω υφασμάτων ηθμών και απολύμανση με χλώριο και UV ακτινοβολία και τέλος φίλτρανση με μεμβράνες υπερ-διήθησης (UF) και απολύμανση με χλώριο και UV ακτινοβολία

Για την επίτευξη των στόχων επαναχρησιμοποίησης, έγινε σύγκριση ανάμεσα στις τεχνολογίες UF, MBR και τους υφασμάτινους ηθμούς. Ως προς το σχεδιασμό απαιτούνται 14m² υφασμάτων ηθμών και 5000m² μεμβρανών UF και MBR. Οι στόχοι για απεριόριστη χρήση επιτυγχάνονται. Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος MBR στην υφιστάμενη δεξαμενή αερισμού είναι 1.750.000€, το κόστος της τεχνολογίας UF εκτιμάται σε 600.000€, ενώ το κόστος των υφασμάτων ηθμών υπολογίζεται σε 120.000€.

Με κριτήριο την ταυτόχρονη κάλυψη των απαιτήσεων για επαναχρησιμοποίηση και την επιλογή φθηνότερων λύσεων, αφού στους στόχους που όριζε η νομοθεσία για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υδάτων και οι τρεις τεχνολογίες είναι εντός, επιλέχθηκε η τεχνολογία των υφασμάτων ηθμών.

Ωστόσο παρά το γεγονός της κάλυψης των ποιοτικών στόχων που απαιτεί η νομοθεσία, απαιτείται η πλήρης ενημέρωση του κοινού που καλείται, είτε ως παραγωγοί είτε ως καταναλωτές, να αποδεκτούν την επαναχρησιμοποίηση νερού που προέρχεται από επεξεργασμένα αστικά λύματα. Το σημείο αυτό, είναι το σημαντικότερο που θα πρέπει να μεριμνήσει μια οργανωμένη πολιτεία να φέρει εις

πέρας, διότι η μη αποδοχή του κοινού στο έργο αυτό, σημαίνει αυτόματα και την αποτυχία του.

Πριν ξεκινήσει η μελέτη κατασκευής ενός τέτοιου έργου, η πολιτεία οφείλει να καλλιεργήσει την ανάπτυξη περιβαλλοντικής συνείδησης. Και αυτό καλλιεργείτε στις μικρές ηλικίες, άρα πρέπει να ξεκινήσει από τα σχολεία. Παράλληλα οφείλει να ζητήσει από των επιστημονικό κόσμο την πραγματοποίηση ημερίδων ενημέρωσης όπου θα παρουσιαστούν όλα τα ζητήματα που άπτονται της επαναχρησιμοποίησης, ώστε και ο κόσμος να μπορεί να λάβει τεκμηριωμένες απαντήσεις στις πολλές φορές δικαιολογημένες ανησυχίες του από τους καθόλα αρμόδιους. Οφείλει να πείσει τη κοινή γνώμη για τη χρησιμότητα ενός τέτοιου έργου, που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα λειψυδρίας της περιοχής, με χαμηλό και προσιτό κόστος για τον καταναλωτή. Και πάνω από όλα, με διαφάνεια. Διότι αν δεν υπάρχει διαφάνεια σε ένα τέτοιο έργο, έχει ταυτόχρονα αποτύχει.

9.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ξένη βιβλιογραφία

1. D'Angelo Report, 1998, "See Using Reclaimed Water to Augment Potable Water Resources", Public Information Outreach Programs, (Special Publication, D'Angelo, S., Chairperson). Water Environment Federation & American Waterworks Association, USA.
2. Wegner-Gwidt, J., 1998, Public Support and Education for Water Reuse: In T. Asano (Ed.), Wastewater Reclamation and Reuse, 1417-1462, Technomic Publishing, Pennsylvania, USA.
3. US Bureau of Reclamation, 2000, San Diego Water Repurification Program, USA.
4. Stenekes, N., Schaefer, A.I. and Ashbolt, N., 2001, "Community Involvement in Water Recycling – Issues and Needs": In Schaefer, A.I., Waite, T.D. and Sherman, P. (Eds.), Recent Advances in Water Recycling Technologies. Workshop Proceedings, 26 November 2001, Brisbane, QLD, Australia.
5. Gibson, H.E. and Apostolidis, N., 2001, "Demonstration, the Solution to Successful Community Acceptance of Water Recycling", Water Science and Technology, 43(10), 259-266.
6. Gikas, P., and Tchobanoglous, G., 2008, Sustainable use of water in the Mediterranean islands, Journal of Environmental Management, Journal of Environmental Management, V902601-2611
7. Lopez, A., Pollice, A., Lonigro, A., Masi, S., Palese, A.M. GGirelli, G.L., Toscano, A., Pasino, R., 2006, Agricultural wastewater reuse in southern Italy, Desalination 187 , 323–334
8. SBakopoulou, S. Emmanouil, C., Kungolos, A., 2001, Assessment of wastewater effluent quality in Thessaly region, Greece, for determining its irrigation reusepotential Ecotoxicology and Environmental Safety 74 , 188–194
9. Manios, T. and Tsanis, I.K., 2006, Evaluating water resources availability and wastewater reuse importance in the water resources management of small Mediterranean municipal districts, Resources, Conservation and Recycling 47 , 245–259
10. Clech, P.L., Chen, V. and Fane, T.A.G., 2006, Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment, Journal of membrane Science, 284, 17–53
11. Coutinho, C. M, Chiu, M. C., Basso, R. C., Ribeiro, A. P. B. ,Gonçalves, L. A. G. and Viotto, L.A., 2009, State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review, Food Research International, 42,536–550
12. Insel, G., Hocaoglu, S.M., Cokgor, E.U.& Orhon, D., 2011, Modelling the effect of biomass induced oxygen transfer limitations on the nitrogen removal performance of membrane bioreactor, Journal of membrane Science, 368, 54-63
13. Jang, N., Ren, X., Cho, J.,& Kim, I.S., 2006, Steady-state of bio-fouling potentials with respect to the biological kinetics in the submerged membrane bioreactor (SMBR Journal of membrane Science, 284, 352-360

14. Saroj, D.P., Guglielmi, G., Chiarani, D. & Andreottola, G., 2008, Modeling and simulation of membrane bioreactors by incorporating simultaneous storage and growth concept: an especial attention to fouling while modeling the biological process, *Desalination*, 221, 475-482
15. Arnal, J.M., Garcia-Fayos,B.,Verdu, G. and Lora, J., 2009, Ultrafiltration as an alternative membrane technology to obtain safe drinking water from surface water: n years of experience on the scope of the AQUAPOT project, *Desalination*, 248,34–41
16. Walsh,M.E.,Gagnon,G.A., 2006, Evaluating membrane Processes for Drinking Water Treatment Design, Dept. of Civil and Resources Engineering, Dalhousie University Halifax, Nova Scotia, Canada,70-82
17. Munir,A., 2006, Dead End membrane Filtration, Laboratory Feasibility Studies in Environmental Engineering, PID: A37589962, Spring, 33p
18. Suthan, E.D.,Suthersan, S. and Boca,R., 1999, Remediation engineering: design concepts, CRC Press LLC
19. Lee,K.P., Arnot,T.C., Mattia,D.,2011, A review of reverse osmosis membrane materials for desalination—Development to date and future potential, *Journal of membrane Science*, 370,1–22
20. Gomes, S., Cavaco, S.A., Licínio, M. J. Q.and Ferreira, M. G., 2010, nanofiltration process for separating Cr(III) from acid solutions: Experimental and modelling an analysis, *Desalination*, 254, 80–89
21. Decreto Ministeriale 12 giugno, 2003, n.185 «Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue in attuazione dell’articolo 26, comma 2, del D.Lgs. 11 maggio, 1999, n. 152».
22. Dodou, M., 2000, "Overview of Wastewater Management and Reuse in Cyprus", Natural Resources and Environment, Department, W.D. Nicosia, Cyprus.
23. CSHPF , 1991, Recommandations Sanitaires Concernant L’Utilisation, Après Épuration, des Eaux Résiduelles Urbaines Pour l’irrigation des Cultures et des Espaces Verts. Circulaire DGS/SD1.D./91/N° 51, Paris, Conseil Supérieur d’Hygiène Publique de France.
24. WHO,1989, Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Report of a Scientific Group, Technical Report Series No.778. World Health Organization: Geneva, Switzerland.
25. FAO (1985). Water quality for agriculture. R.S. Ayres and D.W. Westcot, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.
26. WHO, 2006, Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume II: Wastewater Use in Agriculture. World Health Organization: Geneva, Switzerland.
27. D. Fatta-Kassinos, I.K. Kalavrouziotis, P.H. Koukoulakis, M. I. Vasquez, The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment, *Science of the Total Environment* 409 (2011) 3555–3563

- Ελληνική Βιβλιογραφία

28. Ιωάννης Κ. Καλαβρουζιώτης, Δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης αστικών λυμάτων στην γεωργία, σε νησιωτικές περιοχές, Ημερίδα: Βιώσιμη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στο Αιγαίο, Σύρος, 19 Ιουνίου 2010
29. Μελέτη «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης», 2001
30. Α. Σουπίλας, Φ. Παπαστεργίου, Χ. Παντελίδου, ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ. ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟΝ ? , Heleco '05, ΤΕΕ, Αθήνα, 3-6 Φεβρουαρίου 2005
31. Λύκου Σοφία, ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ, μεταπτυχιακή διατριβή, 2011
32. M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, R. E. West, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ, 5^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2006
33. Ευανθία Αγραφιώτη, Στρατηγικό Σχέδιο Για Την Επαναχρησιμοποίηση Των Εκροών Των Λυμάτων Στη Κρήτη, μεταπτυχιακή διατριβή, 2010
34. Ε. Νταράκας, ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη, 2010 Ι. Πασχαλινός, Η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων και οι δυνατότητες άρδευσης, 2009
35. Ε. Γιδαράκος, Μ. Αϊβαλιώτη, Τεχνολογίες Αποκατάστασης Εδαφών Και Υπογείων υδάτων Από Επικίνδυνους Ρύπους, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2005, 27p
36. Metcalf and Eddy, Μηχανική Υγρών Αποβλήτων, Επεξεργασία & Επαναχρησιμοποίηση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2007
37. ΦΕΚ Β' 354, 8/3/2011, "Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις".

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- www.ypeka.gr
- www.sciencedirect.com
- <http://www.deyax.org.gr/>
- <http://www.nagref.gr/>
- <http://www.nagref-cha.gr>

ΠΡΟΣΩΠΙΚΕΣ ΕΠΑΦΕΣ

- ΧΑΡΙΤΑΚΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ Ο.Α.ΔΥ.Κ.
- ΣΤΕΡΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝ/ΝΟ Δ/ντη Τεχν. Υπηρ. ΔΕΥΑ Χανίων

