



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ



ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ (MBR)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΚΚΑΒΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΘΗΝΑ 2012

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΖΑΜΤΖΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5	
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7	
1.1 Υδατικοί πόροι - Νερό	7	
1.2 Προέλευση και είδη υγρών αποβλήτων	9	
1.3 Σύνθεση υγρών αποβλήτων.....	10	
1.4 Στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων	10	
2 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	12	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12	
2.2 Ιστορική ανασκόπηση	15	
2.3 Χρήσεις επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων	19	
2.3.1 Άρδευση αγροτικών περιοχών.....	19	
2.3.2 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων.....	19	
2.3.3 Ανακύκλωση στη βιομηχανία.....	20	
2.3.4 Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος	20	
2.3.5 Αστική χρήση.....	21	
2.3.6 Υδρευση- Πόση.....	22	
3. ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	25	
3.1 Εισαγωγή.....	25	
3.2 Κανονισμός Καλιφόρνιας.....	28	
3.3 Κανονισμοί άλλων χωρών εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	29	
3.4 Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης	30	
3.5 Το ισχύον θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα- Διατάξεις.....	31	
3.6 Κ.Υ.Α. 145116/2011	32	
3.6.1 Εισαγωγή	32	
3.6.2 Σκοπός	33	
3.6.3 Πεδίο εφαρμογής.....	34	
3.6.4 Τύποι επαναχρησιμοποίησης.....	34	
3.6.5 Όρια - παράμετροι χρήσης	38	
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	44	
4.1 Εισαγωγή.....	44	

4.2	Αντίστροφη όσμωση	45
4.3	Μεμβράνες	47
5.	ΜΕΘΟΔΟΣ MBR (MEMBRANE BIOREACTOR)	51
5.1	Εισαγωγή.....	51
5.2	Ανάλυση της μεθόδου	52
5.3	Χρήση.....	54
5.4	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα μονάδας	54
6.	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	56
6.1	Οπτικές μέθοδοι	56
6.1.1	Θολερομετρία.....	56
6.1.2	Ανακλασιμετρία (Reflectometer).....	57
6.1.3	Φασματομετρία.....	58
6.2	Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι	60
6.2.1	Αυτόματοι τιτλοδότες	60
6.3	Ειδικές μέθοδοι.....	62
6.3.1	Εισαγωγή.....	62
6.3.2	Βιοχημικά απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD).....	62
6.3.3	Χημικά απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)	64
6.3.4	Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	65
	B ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	66
7.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΙΛΟΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ MBR	66
7.1	Εισαγωγή.....	66
7.2	Στάδιο Προεπεξεργασίας.....	67
7.3	Αερόβια επεξεργασία - MBR	72
8	Σύνθεση αποβλήτου ζαχαροπλαστικής μονάδας.....	78
9.	Αναλυτική τεχνική COD - Μέθοδοι.....	79
10.	Αποτελέσματα ανάλυσης COD - συζήτηση.....	82
10.1	Αποτελέσματα εισόδου υγρών αποβλήτων στη μονάδα.....	82
10.2	Αποτελέσματα εισόδου υγρών αποβλήτων σε MBR επεξεργασμένα με DAF και δεξαμενή αερισμού.....	83
10.3	Αποτελέσματα εξόδου υγρών αποβλήτων από MBR	83
11.	Συμπεράσματα.....	87
12.	Προοπτικές	89
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία που εκπονήθηκε κατά το Ακαδημαϊκό έτος 2011-2012 αποτελεί την διπλωματική μου εργασία .

Η εκπόνηση της παρούσας υλοποιήθηκε αφ ενός στο εργαστήριο Φυσικών Μεθόδων Ανάλυσης της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και αφ'ετέρου σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που ήταν εγκατεστημένη σε εργαστήριο ζαχαροπλαστικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους στάθηκαν δίπλα μου με κάθε τρόπο και με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερα απευθύνω ένα μεγάλο «ευχαριστώ» στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Τζαμτζή για την ανάθεση του εξαιρετικά ενδιαφέροντος θέματος, την καθοδήγησή του, και τις πολύτιμες κατευθύνσεις που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Χατζηκωνσταντίνου για την αμέριστη βοήθειά του καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Και τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους της μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και τον κ. Χριστοδούλου Χρήστο για την τεχνική υποστήριξη και τις χρήσιμες πληροφορίες που μου παρείχαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η μόλυνση των υδάτινων αποδεκτών, μέσω της διάθεσης των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτωναστικών ή βιομηχανικών.

Για να επιτευχθούν οι στόχοι που τίθενται από την Νομοθεσία, απαιτείται η κατάλληλη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, που γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις, οι οποίες λέγονται «βιολογικοί καθαρισμοί».

Συνήθως στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κατά κόρον η μέθοδος της ενεργού ιλύος, αλλά τώρα τελευταία εμφανίζεται και η διεργασία της διήθησης με τη χρήση μεμβρανών (MBR).

Ο βασικός στόχος της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η παρουσίαση της πιλοτικής εφαρμογής του συστήματος MBR στην επεξεργασία λυμάτων μιας βιομηχανίας ζαχαροπλαστικής.

Η πιλοτική μονάδα αποτελείται από πρωτοβάθμια και αερόβια επεξεργασία.

Το είδος των υγρών αποβλήτων αποτελείται από αιωρούμενα στερά (οργανικά και ανόργανα) , λίπη , έλαια , ιλύς , ζάχαρη και άλλες φυτικές ουσίες.

Έγινε χρήση αναλυτικής τεχνικής του COD η οποία δίνει μία πολύπλευρη εικόνα για τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της μονάδας.

Η χρήση της πιλοτικής μονάδας κατάφερε να μειώσει το COD από 12530ppm σε 2500ppm.

ABSTRACT

One of the biggest environmental problems is the contamination of water discharges through the disposal of untreated wastewater. (Municipal or industrial).

To achieve the objectives set by the legislation requires the proper treatment of wastewater, which is in special facilities, which are called "biological treatment".

Usually in Greece is widely used the method of activated sludge, but lately shown is the filtration process using membranes (MBR).

The main objective of this thesis is to present the pilot MBR system in an industrial wastewater treatment pastry.

Which consists of primary and aerobic treatment.

The type of wastewater consists of suspended solids (organic and inorganic), fats, oils, sludge, sugar and other vegetable matter.

Analytical technique was used in COD which gives a multifaceted picture of the treated effluent of the unit.

The use of the above MBR system managed to reduce the COD from 12530 ppm to 2500 ppm.

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υδατικοί πόροι - Νερό

Το νερό είναι ζωή.

Είναι ο φυσικός πόρος που, όπου ρέει, παρά τις διαφορετικές χρήσεις και εδαφοκλιματικές συνθήκες, συνδέεται με την επιβίωση του ανθρώπου. Το όνομα *νερό* προέρχεται από τη Βυζαντινή φράση *νερόν ύδωρ* το οποίο σήμαινε *τρεχούμενο νερό* (που μόλις βγήκε από την πηγή), η οποία με τη σειρά της προέρχεται από την αρχαία ελληνική (και την καθαρεύουσα) φράση *νήρον ύδωρ* για το νερό. Από το θέμα *ύδωρ* έχουν προκύψει πολλοί όροι, μεταξύ των οποίων και χημικοί, που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα, όπως *ένυδρο άλας* ή *υδρογόνο* (αυτό που γεννάει νερό)¹.

Υδρολογικός κύκλος του νερού είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα. Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο υδρολογικός κύκλος του νερού (Σχ. 1) είναι καθορισμένος. Από τους ωκεανούς στην ατμόσφαιρα (εξάτμιση), και από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης (κατακρημνίσεις, βροχή, χιόνι, χαλάζι κλπ). Ένα μέρος αυτού του νερού εξατμίζεται, άλλο χρησιμοποιείται από τα φυτά, τρίτο συγκρατείται από το έδαφος σαν υγρασία. Μεγάλο μέρος ρέει επιφανειακά προς τη θάλασσα. Το νερό που εισχωρεί στο έδαφος είτε εμπλουτίζει τα υπόγεια στρώματα, είτε ξαναβγαίνει στην επιφάνεια σαν πηγή².



Σχήμα 1: Υδρολογικός κύκλος νερού.

¹ <http://el.wikipedia.org>

² <http://el.wikipedia.org>

Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

Πίνακας 1 (πηγή : Gleick, P. H., 1996: *Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823*)

Πριν από 2-3 αιώνες οι οικονομολόγοι θεωρούσαν τον αέρα και το νερό ως κλασικά παραδείγματα «ανεξάντλητων πόρων» και γι' αυτό το λόγο, τα θεωρούσαν χωρίς χρηματική αξία. Στην αυγή του 21ου αιώνα όμως, η παγκόσμια κοινότητα έχει συνειδητοποιήσει ότι τα πράγματα δεν είναι έτσι. Το νερό είναι ένας ανανεώσιμος φυσικός πόρος. Παρόλα αυτά όμως, τα διαθέσιμα αποθέματα είναι περιορισμένα και μη ανανεώσιμα. Στη δεκαετία του 1950 μόνο πέντε χώρες αντιμετώπιζαν πρόβλημα επάρκειας νερού, αλλά στο τέλος της δεκαετίας του 1990 είχαν σοβαρό

πρόβλημα 26 χώρες με πληθυσμό πάνω από 300 εκατομμύρια. Οι προβλέψεις για το 2050 δείχνουν ότι 66 χώρες με πληθυσμό περίπου τα 2/3 του συνολικού πληθυσμού της γης θα εμφανίζουν σοβαρά προβλήματα έλλειψης νερού. Η ταυτόχρονη αύξηση του πληθυσμού του πλανήτη και ο περιορισμός των πηγών κατάλληλου νερού (η αύξηση της ζήτησης του νερού είναι κατά μέσο όρο τρεις φορές πιο γρήγορη από την αύξηση του πληθυσμού) τόσο για πόση, όσο και όλες τις άλλες απαραίτητες χρήσεις του, δημιουργεί την υποχρέωση στην παγκόσμια κοινότητα να δει αυτόν τον πολύτιμο πόρο με την πρέπουσα προσοχή.

Σήμερα το 80% περίπου του διαθέσιμου νερού στον πλανήτη χρησιμοποιείται στη γεωργία, το 8% στη βιομηχανία και μόνο 10% προορίζεται για οικιακή κατανάλωση.

Το Παγκόσμιο Συμβούλιο Νερού όμως προειδοποιεί ότι μέχρι το 2020 οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι δεν θα επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες της ανθρώπινης κοινωνίας, σε παγκόσμιο επίπεδο.

1.2 Προέλευση και είδη υγρών αποβλήτων

Ο όρος λύματα αναφέρεται στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα) και τα υγρά απόβλητα από τις συνήθειες δραστηριότητες μιας πόλης (αστικά λύματα). Όταν τα υγρά απόβλητα μιας πόλης περιέχουν και σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων τότε ονομάζονται υγρά αστικά απόβλητα. Τα οικιακά λύματα παράγονται από τις ανάγκες των ανθρώπων όπως η αφόδευση, η χρήση του μπάνιου, η προετοιμασία του φαγητού κ.α. Κατά μέσο όρο παράγονται 180-300 λίτρα κατά άτομο κάθε μέρα. Τα αστικά λύματα παράγονται από τα δημόσια κτήρια, τα νοσοκομεία κ.λ.π. Η ποιότητα και η ποσότητα των βιομηχανικών αποβλήτων μεταβάλλεται συνεχώς και δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού πολλές βιομηχανίες ρίχνουν– παρανόμως– ανεπεξέργαστα τα απόβλητά τους στο αποχετευτικό δίκτυο της πόλης³.

³ <http://el.wikipedia.org>

1.3 Σύνθεση υγρών αποβλήτων

Παρόλο που τα λύματα ποικίλουν ευρέως, η σύνθεση τους περίπου είναι η εξής :

- **Παθογόνοι μικροοργανισμοί** όπως είναι μερικά βακτήρια, ιοί, πρωτόζωα κ.α.
- **Μη παθογόνα βακτήρια.**
- **Σωματίδια οργανικής προέλευσης** όπως περιττώματα, ίνες χαρτιού, τρίχες, τρόφιμα κ.α.
- **Διαλυτό οργανικό φορτίο** (όπως η φρουκτόζη, διαλυτές πρωτεΐνες, φάρμακα, ουρία κ.α.
- **Ανόργανα μη διαλυτα** όπως άμμος, κεραμικά, μόρια μετάλλων κ.α.
- **Διαλυτό ανόργανο υλικό** όπως αμμωνία, άλατα, κυανίδιο, σουλφιδίουδρογόνου κ.α.
- **Ζώα** όπως έντομα, μικρά ψάρια κ.α.
- Διάφορα **ογκώδη στερεά** που περνάνε την αποχέτευση του σπιτιού όπως πάνες, σερβιέτες, προφυλακτικά, νεκρά κατοικίδια, παιχνίδια κ.α.
- **Αέρια** όπως μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο κ.α.
- **Γαλακτώματα** όπως χρώματα, κόλλες, μαγιονέζα, γάλα κ.α.
- **Τοξικές ενώσεις** από ζιζανιοκτόνα, δηλητήρια, φυτοφάρμακα κ.α.

1.4 Στάδια επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

A) Πρωτοβάθμια επεξεργασία : Στοχεύει κυρίως στην αφαίρεση του αιωρούμενου υλικού (οργανικού και ανόργανου). Περιλαμβάνει, συνήθως, την Προεπεξεργασία και την Πρωτοβάθμια Καθίζηση. Η Προεπεξεργασία περιλαμβάνει την Εσχάρωση, τους Πολτοποιητές και τα Τριβεία, την Εξάμμωση, καθώς και την μέτρηση ή και την εξισορρόπηση της παροχής. Στόχος της είναι η απομάκρυνση σωμάτων που επιπλέουν ή βρίσκονται σε αιώρηση στα λύματα και εγκυμονούν κινδύνους έμφραξης των αγωγών, καταστροφής του μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ αντλίες) και τελικώς δυσλειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας που ακολουθούν. Η πρωτοβάθμια καθίζηση περιλαμβάνει Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας

Καθίζησης (συνήθως κυκλικής διατομής) που συχνά αναφέρονται εν συντομία ΔΠΚ (Δεξαμενές Πρωτοβάθμιας Καθίζησης) και έχει ως σκοπό να απομακρύνει αιωρούμενα οργανικά και ανόργανα στερεά, ώστε να μειωθεί το ρυπαντικό φορτίο που προορίζεται για τα επόμενα στάδια επεξεργασίας. Η πρωτοβάθμια καθίζηση αφαιρεί τα καθιζάνοντα στερεά υπό μορφή Πρωτοβάθμιας Ιλύος (Λάσπης) και το υπερκείμενο υγρό αποτελεί την πρωτοβάθμια επεξεργασμένη εκροή, που είναι διαθέσιμη προς περαιτέρω επεξεργασία⁴.

Β) Δευτεροβάθμια επεξεργασία : Βιολογικός καθαρισμός στον οποίο διασπώνται οι οργανικές ουσίες με την βοήθεια αερισμού (οξυγόνωσης). (Σχ. 2)



Σχήμα 2: Άποψη ολοκληρωμένης μονάδας βιολογικού καθαρισμού

Γ) Τριτοβάθμια Επεξεργασία : Σκοπός της είναι η αφαίρεση βαρέων μετάλλων και τοξικών ή άλλων συστατικών. Το στάδιο αυτό είναι επιθυμητό όταν η παρουσία βιομηχανικών αποβλήτων στα λύματα είναι σημαντική και ο στόχος είναι η επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων (π.χ στην βιομηχανία, για άρδευση ή για χώρους αναψυχής). Στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται επεξεργασίες όπως η κροκίδωση - ιζηματοποίηση, η δ्यूλωση, η προσρόφηση από ενεργό άνθρακα και διεργασίες με μεμβράνες.⁵

⁴ <http://el.wikipedia.org>

⁵ <http://el.wikipedia.org>

2 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε έρευνα για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στη χώρα μας. Γι' αυτό το σκοπό έγινε καταγραφή των έργων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που λειτουργούν και βρίσκονται υπό κατασκευή ή σε προχωρημένο στάδιο μελέτης.⁶ Επίσης, για κάθε έργο καταγράφηκαν και αξιολογήθηκαν ο τύπος και ο βαθμός επεξεργασίας, το μέγεθος της μονάδας, η ποιότητα της εκροής, το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής, η διαθεσιμότητα γεωργικής γης, η απόσταση από την πλησιέστερη διαθέσιμη για άρδευση γεωργική γη, όπως επίσης, στοιχεία σχετικά με τις εδαφολογικές, κλιματικές, γεωλογικές, αγρονομικές και άλλες συνθήκες της περιοχής.

Κατά τα πρώτα έτη της εφαρμογής της σύγχρονης τεχνολογίας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα δεν είχε αναπτυχθεί η απαραίτητη τοπική τεχνογνωσία.

Έτσι, παρατηρήθηκε το φαινόμενο της «εισαγωγής» τεχνολογίας από άλλες χώρες της Βόρειας Ευρώπης, όπως τη Γερμανία, τη Γαλλία και τη Δανία. Αυτό αφορά επίσης τον τρόπο διάθεσης των εκροών. Η μεταφορά αυτή έγινε πιστά και δεν λήφθηκαν υπόψη οι τοπικές ανάγκες σε νερό, με αποτέλεσμα η διάθεση να γίνεται ως επί το πλείστον στη θάλασσα. Εγκαταστάσεις που βρίσκονταν μακριά από τη θάλασσα διέθεταν τα υγρά απόβλητα σε παρακείμενους χείμαρρους, ποτάμια, λίμνες, στο έδαφος ή ακόμα και για την άρδευση αγροτικών και δασικών εκτάσεων.⁷

Είναι γνωστό όμως ότι στην χώρα μας υφίστανται σημαντικές διαφορές σε ό,τι αφορά τις κλιματολογικές, γεωγραφικές και κοινωνικές συνθήκες, όπως ξηροθερμικό κλίμα, ολιγοτροφικές θάλασσες, αυξημένες ανάγκες σε αρδευτικό νερό κλπ σε σχέση με τις χώρες από τις οποίες έγινε η «εισαγωγή» της τεχνολογίας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

⁶ Τσαγκαράκης κ.ά., 1999

⁷ Καβουράκη και Μαυράκη, 2001

Τα περισσότερα από τα έργα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων στη χώρα μας, είναι πολύ σύγχρονα, λειτουργούν με προωθημένες διεργασίες, είναι τεχνολογικά ισοδύναμα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε) και άλλων αναπτυγμένων χωρών και γενικά πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για την προώθηση έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των εκροών τους. Ήδη έχουν ολοκληρωθεί τα έργα των μεγάλων αστικών κέντρων.

Στην χώρα μας η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων βρίσκεται ακόμα σε προκαταρκτικό στάδιο.⁸

Η μεγαλύτερη ποσότητα επεξεργασμένων λυμάτων προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και καταλήγει από τις εγκαταστάσεις καθαρισμού της Ψυτάλλειας στο Σαρωνικό. Ίσως στο μέλλον θεωρηθεί σκόπιμη και συμφέρουσα η μεταφορά με υποθαλάσσιους αγωγούς ή με μεγάλα φουσκωτά πλωτά (νέα τεχνολογία μεταφοράς νερού) μέρος του επεξεργασμένου νερού από την Ψυτάλλεια προς τα άνυδρα νησιά του Αιγαίου για άρδευση και για εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων των νησιών αυτών, ή σε άλλες περιοχές της Αττικής για άρδευση χώρων πρασίνου.

Διεξήχθη έρευνα πάνω στην δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για τρεις κύριες κατηγορίες αποδεκτών : άρδευση αγροτικών, δασικών εκτάσεων, δασοφυλάκων και άρδευση περιβάλλοντα χώρου. Δηλαδή, λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα εναλλακτικού αποδέκτη, έγινε εκτίμηση της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης των εκροών για άρδευση γεωργικών εκτάσεων, δασικών εκτάσεων και άλλων χώρων πρασίνου. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε μία μέση παραγωγή 150 L ανά κάτοικο ανά ημέρα. Για την εκτίμηση αυτή ελήφθησαν υπόψη παράμετροι όπως το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής, η απόσταση μεταξύ της μονάδας και της αρδευόμενης γης, το είδος του εδάφους, η ποιότητα της εκροής, το ανάγλυφο της περιοχής κ.ά. Έτσι προκύπτει ότι το δυναμικό για άρδευση είναι πολύ υψηλό, ιδιαίτερα σε περιοχές της Ν.Α. Ελλάδας με αυξημένες υδατικές ανάγκες και περιορισμένους διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Επίσης, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων εκροών είναι

⁸ Αγγελάκης, 1999, Αγγελάκης και Διαμαντόπουλος, 1999

ικανοποιητικά, έτσι το κόστος ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης εκροών θεωρείται προσιτό. Μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι επαναχρησιμοποιώντας τις εκροές των υπαρχόντων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, το ποσοστό αρδευόμενων δασικών και αγροτικών εκτάσεων μπορεί να αυξηθεί κατά 3,2 %. Ακόμα, υπολογίζεται πως με περαιτέρω επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας των εγκαταστάσεων που βρίσκονται σε περιοχές ελλειμματικές ως προς τους υδατικούς πόρους, θα ήταν δυνατό να αρδευτούν 1,4 εκατ. στρέμ. γεωργικής γης μέσα σε δύο χρόνια. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξοικονομηθεί νερό που θα χρησιμοποιηθεί για αστική χρήση και να αυξηθούν οι αρδευόμενες καλλιέργειες και συνεπώς η παραγωγή αγροτικών προϊόντων. Η εξοικονόμηση αυτή (3,2 % σε επίπεδο χώρας) είναι πολύ σημαντική. Έτσι, σε ορισμένα υδατικά διαμερίσματα ελλειμματικά σε διαθέσιμους υδατικούς πόρους όπως αυτό των νησιών του Αιγαίου το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε 18 %. Επιπλέον, με την εκτέλεση νέων έργων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων τα ποσοστά αυτά προβλέπονται να αυξηθούν μελλοντικά ακόμη περισσότερο. Ιδιαίτερα προβλέπεται ότι θα αυξηθούν σε αγροτικές περιοχές, όπου η ζήτηση τέτοιων υδάτων θεωρείται δεδομένη.

Πέρα όμως της ποσοτικής θεώρησης των εκροών, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους θεωρούνται κατάλληλα τόσο για ανάκτηση όσο και επαναχρησιμοποίηση. Από ποιοτικά στοιχεία έργων δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μεγάλων πόλεων φαίνεται ότι οι εκροές τους πληρούν όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά για ανάκτηση τους με χαμηλό κόστος. Με δεδομένα αυτά τα στοιχεία υπολογίζεται ότι το επιπλέον κόστος επεξεργασίας για απόκτηση τουλάχιστον καλής ποιότητας αρδευτικού νερού θα είναι πολύ χαμηλό, σε σύγκριση με αυτό της ανάπτυξης και χρήσης άλλων πιθανόν διαθέσιμων υδατικών πόρων. Σε αυτή την περίπτωση (της άρδευσης γεωργικών καλλιεργειών) εάν υπολογισθεί και το όφελος από την εξοικονόμηση χημικών λιπασμάτων, εξαιτίας των αξιόλογων επιπέδων συγκεντρώσεων σε αυτά τα νερά θρεπτικών στοιχείων, όπως είναι αζώτου, φωσφόρου και καλίου, το κόστος ανάκτησης μειώνεται σημαντικά.⁹

⁹ Tsagarakis et al., 2000

2.2 Ιστορική ανασκόπηση

Γενικά, η ανάκτηση νερού από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θεωρείται σήμερα μια πρακτική χαμηλού κόστους και φιλικής προς το περιβάλλον. Η επαναχρησιμοποίηση του νερού, βασικά, συμπιέζει τον υδρολογικό κύκλο από μία ανεξέλεγκτη παγκόσμια κλίμακα σε μία ελεγχόμενη τοπική κλίμακα.

Κυριότερες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης ανακτώμενων εκροών από υγρά απόβλητα με βάση τις χρησιμοποιούμενες παροχές τους, θεωρούνται διεθνώς η γεωργική, η βιομηχανική και ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων. Γενικά, από αυτές τις κατηγορίες η άρδευση γεωργικών, δασικών και άλλων χώρων πρασίνου είναι ο σημαντικότερος τομέας χρήσης νερού και στη χώρα μας εκτιμάται ότι προσεγγίζει το 85% της συνολικής κατανάλωσης¹⁰.

Η άρδευση των αγροτικών εκτάσεων με εκροές αστικών υγρών αποβλήτων έχει εφαρμοσθεί στην πράξη σε πολλές χώρες επί αιώνες μέχρι σήμερα. Η διάθεση εκροών αστικών αποβλήτων στο έδαφος αποτελεί μία πρακτική τεχνολογία, που φαίνεται ότι έχει τις ρίζες της στον Μινωικό Πολιτισμό¹¹.

Οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τα λύματα ήταν οι Έλληνες πριν 2.000 περίπου χρόνια και οι Κινέζοι. Στην Ευρώπη η χρήση των λυμάτων ήταν κοινή πρακτική στην Γερμανία από τον 16^ο αιώνα και στην Αγγλία από τον 19^ο αιώνα. Στην Αμερική χρήση λυμάτων αναφέρεται ότι έγινε για πρώτη φορά το 1870. Αυξημένο ενδιαφέρον για χρήση του ανακυκλωμένου νερού για γεωργικούς σκοπούς άρχισε να παρουσιάζεται σε αναπτυγμένες χώρες κατά τη δεκαετία 1980 - 1990 κυρίως λόγω της σωστής εκτίμησης των δυνατοτήτων και πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει.

Οι αρχικές πρόοδοι στον τομέα της επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων είναι συνώνυμες με την ιστορική ανάπτυξη και εφαρμογή των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας και κυρίως αυτών, που βασίζονται στην εφαρμογή τους στο έδαφος και σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Με την έναρξη εφαρμογής δικτύων

¹⁰ Angelakis and Diamantopoulos, 1995

¹¹ Angelakis and Spyridakis, 1996

αποχέτευσης σε μεγάλες πόλεις, στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, τα αστικά υγρά απόβλητα χρησιμοποιήθηκαν στις λεγόμενες "sewage farms", δηλαδή «γεωργικές εκμεταλλεύσεις λυμάτων». Έτσι, από το 1900, ήταν γνωστές πολυάριθμες γεωργικές εκμεταλλεύσεις τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Αμερική. Παρόλο, που σ' αυτές τις γεωργικές εκμεταλλεύσεις ο κύριος σκοπός ήταν η διάθεση των αποβλήτων, η συμπτωματική χρήση τους στην άρδευση για φυτική παραγωγή και άλλες ευεργετικές χρήσεις ήταν μια πραγματικότητα¹².

Στη πιο πρόσφατη ιστορία, κατά την διάρκεια του 19ου αιώνα, η εισαγωγή μεγάλων σε κλίμακα συστημάτων μεταφοράς υγρών αποβλήτων για την εκφόρτισή τους σε υδατικούς αποδέκτες, σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί στην επαναχρησιμοποίηση χωρίς σχεδιασμό. Αυτό, σε συνδυασμό με την ανεπάρκεια υδατικών πόρων, είχε ως αποτέλεσμα σοβαρές καταστροφικές επιδημίες και ασθένειες προερχόμενες από μολυσματικό νερό, όπως η χολέρα, η ελονοσία και άλλες. Όμως, όταν επαληθεύτηκε ότι οι ασθένειες αυτές είχαν ως αίτιο τους τη μόλυνση του νερού, οι μηχανικοί επιχείρησαν να δώσουν λύσεις στο πρόβλημα με την ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών νερού, χρησιμοποιώντας υδαταποθήκες και υδραγωγεία. Ακόμα ένα βήμα προόδου γίνεται στις δεκαετίες 1850-60, εισάγοντας το φιλτράρισμα του νερού. Η ανάπτυξη της προγραμματισμένης επαναχρησιμοποίησης των εκροών υγρών αποβλήτων τοποθετείται στις αρχές του 20ου αιώνα¹³.

Τον τελευταίο αιώνα, ένας σημαντικός αριθμός έργων ανάκτησης - επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων κατασκευάστηκε σε διάφορα μέρη του κόσμου, έργα που εντάχθηκαν σε ένα γενικότερο πλαίσιο αντιμετώπισης αναπτυξιακών προσπαθειών¹⁴.

Στο Grand Canyon National Park στην Arizona, το 1926, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά επεξεργασμένα υγρά απόβλητα σε διπλό σύστημα υδροδότησης για τον καθαρισμό τουαλετών και μετά για άρδευση χλωροταπήτων, ψύξη και παραγωγή ατμού. Στην πόλη Pomona της California, άρχισε το 1929 ένα έργο επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλωπιστικών κήπων και άλλων χώρων πρασίνου. Επίσης, το 1912, χρησιμοποιήθηκαν υγρά απόβλητα (αρχικά

¹² Reed and Crites, 1984

¹³ Asano and Levine, 1996, Angelakis et al., 1997

¹⁴ Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995

ανεπεξέργαστα και μετά επεξεργασμένα σε σηπτικές δεξαμενές) στο Golden Gate Park στο San Francisco, για τη διαβροχή χλωροταπήτων και υδατοτροφοδοσία λιμνοδεξαμενών αναψυχής. Μια συμβατική μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων κατασκευάστηκε στην ευρύτερη περιοχή αυτού του πάρκου το 1932 και η επαναχρησιμοποίηση της εκροής της συνεχίστηκε μέχρι το 1985¹⁵.

Η εταιρεία Bethlehem Steel, στην Baltimore του Maryland, χρησιμοποιεί από το 1942 χλωριωμένη δευτεροβάθμια εκροή υγρών αποβλήτων. Σήμερα χρησιμοποιούνται πάνω από 0,378 εκατ. m³ / d τέτοιων εκροών σε μεταλλουργικές διεργασίες (ψύξη και μεταποίηση). Η προώθηση μεγαλύτερων τέτοιων χρήσεων και η υλοποίηση προγραμμάτων επαναχρησιμοποίησης έχουν το μειονέκτημα της μη εναλλακτικής τροφοδοσίας νερού¹⁶.

Ένα διπλό σύστημα υδροδότησης υλοποιήθηκε το 1960 στην πόλη Springs του Colorado. Στην πολιτεία αυτή των Η.Π.Α. επαναχρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα μετά από ανάκτηση τους, κυρίως για άρδευση κοινοχρήστων εκτάσεων, όπως είναι γήπεδα golf, πάρκα, νεκροταφεία και πρανή δρόμων¹⁷. Ένα παρόμοιο σύστημα επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων άρχισε στο St. Petersburg της Florida το 1977, ως μέρος του εφαρμοζόμενου τοπικά δημοτικού προγράμματος, για περιορισμό της ρύπανσης. Σήμερα, η εκροή, που ανακτάται από την επεξεργασία υγρών αποβλήτων σ' αυτό το έργο, διανέμεται δια μέσου ενός διπλού δικτύου 320km περίπου για άρδευση δημοσίων πάρκων, γηπέδων golf, σχολικών κήπων και άλλων χώρων πρασίνου, καθώς και για υδατοτροφοδοσία ψυκτικών υδατοπύργων¹⁸.

Ένα από τα πιο σημαντικά έργα εμπλουτισμού υπογείων υδροφορέων με ανακτώμενα υγρά απόβλητα άρχισε το 1962 στην επαρχία Whittier Narrows στο Los Angeles της California. Μετά από εκτεταμένη και μακροχρόνια έρευνα εκτίμησης πιθανών επιδράσεων στη δημόσια υγεία, επί 20 συνεχή έτη, το τελικό συμπέρασμα της είναι ότι δεν παρατηρήθηκε καμία ανεπιθύμητη επίδραση στον υδροφόρα και στον

¹⁵ Metcalf and Eddy, 1991

¹⁶ Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995

¹⁷ Water Pol. Control Feder., 1989

¹⁸ Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995

πληθυσμό της περιοχής, που να οφείλεται στην ανάκτηση και χρήση εκροών υγρών αποβλήτων¹⁹.

Η εκτιμώμενη συνολική ποσότητα ανακτώμενων υγρών αποβλήτων, που χρησιμοποιούνταν σ' αυτά τα έργα ήταν 2,571 εκατ. m³ / d . Τα πιο σημαντικά από αυτά βρίσκονται σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές των δυτικών και νοτιοδυτικών πολιτειών, όπως στην Arizona, στην California, στο Colorado και στο Texas. Όμως, ένας αυξανόμενος αριθμός έργων ανάκτησης - επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων, υλοποιείται και σε υγρές σχετικά περιοχές των Η.Π.Α., όπως στη Florida και τη Νότια Carolina, με σκοπό τον περιορισμό της ρύπανσης και τον εφοδιασμό με νερό αστικών περιοχών.

Παρόλο, που η άρδευση με τις εκροές προεπεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι από μόνη της ένας αποτελεσματικός τρόπος επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αποβλήτων, είναι απαραίτητο να προηγείται μία κατάλληλη επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθούν οι εκροές, ακόμη και στην περίπτωση άρδευσης γεωργικών, κτηνοτροφικών ή δασικών εκτάσεων. Η παραπάνω προεπεξεργασία επιβάλλεται να εφαρμόζεται για λόγους προστασίας της δημόσιας υγείας και για την πρόληψη ζημιών στις καλλιέργειες και στο έδαφος.

Με δεδομένο το ενδιαφέρον για προστασία της δημόσιας υγείας και της γενικότερης ασφάλειας, οι μη πόσιμες χρήσεις, όπως είναι η άρδευση γεωργικών και άλλων κοινόχρηστων εκτάσεων και χώρων αναψυχής, έχουν καταστεί μια σταθερή και αποδεκτή πρακτική στη μελέτη και το σχεδιασμό έργων ανάκτησης - επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων. Σε μερικές, όμως, πόλεις έχουν αναπτυχθεί σχέδια και για πόσιμη χρήση, όπου δεν υπάρχουν δυνατότητες πρόσφορης ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων. Παρόλο που σήμερα οι ποσότητες που ανακτούνται και χρησιμοποιούνται για αστική χρήση και κυρίως για ύδρευση είναι πολύ μικρές, η τεχνολογία αναπτύσσεται και στοχεύει στην επίλυση των ζητημάτων που σχετίζονται με τη δημόσια υγεία²⁰.

¹⁹ Nellor et al., 1985

²⁰ Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995

2.3 Χρήσεις επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

Οι καταρχήν δυνατοί τρόποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων είναι:

- άρδευση αγροτικών περιοχών,
- εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων,
- ανακύκλωση στη βιομηχανία,
- αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής,
- αστική χρήση και τέλος
- πόση.

2.3.1 Άρδευση αγροτικών περιοχών

Η άρδευση αποτελεί την πιο μαζική χρήση νερού, ιδιαίτερα σε ξηρές περιοχές.

Παγκοσμίως η αγροτική άρδευση αποτελεί το 70% της συνολικής χρήσης νερού και υπερβαίνει κάθε άλλη χρήση κατά τουλάχιστον 1000%. Όταν οι υδατικοί πόροι μιας περιοχής δεν επαρκούν για την ικανοποίηση της ζήτησης (αστικής και γεωργικής), τότε επιλέγεται το διαθέσιμο νερό να χρησιμοποιηθεί δύο φορές: αρχικά για αστική χρήση και μετά το επεξεργασμένο απόβλητο να χρησιμοποιηθεί για άρδευση. Έτσι σήμερα λειτουργούν αρκετά συστήματα επαναχρησιμοποίησης που παρέχουν ανακτημένο νερό για αγροτική άρδευση. Στις αναπτυσσόμενες χώρες η εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος αποτελούσε πάντα και συνεχίζει να αποτελεί τον κύριο τρόπο διάθεσης των αστικών λυμάτων και ικανοποίησης των αρδευτικών αναγκών.

2.3.2 Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων

Ο τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα αστικά απόβλητα μπορεί να έχει τους εξής σκοπούς:

- Την δημιουργία υδραυλικού φράγματος που θα εμποδίζει την διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων.

- Την αποθήκευση επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης π.χ. για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή.
- Την ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσής του, επειδή η φυσική ανανέωση συμβαίνει με πολύ αργό ρυθμό.
- Τον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους.
- Την περαιτέρω επεξεργασία των αστικών αποβλήτων ώστε να είναι δυνατή η μελλοντική χρησιμοποίησή τους.

2.3.3 Ανακύκλωση στη βιομηχανία

Η βιομηχανία προβλέπεται να αποτελέσει μελλοντικά σημαντικό χρήστη των ανακτημένων αστικών λυμάτων στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (Η.Π.Α.) και σε άλλες ανεπτυγμένες χώρες. Τα επεξεργασμένα αστικά λύματα είναι κατάλληλα για πολλές βιομηχανίες που χρησιμοποιούν νερό το οποίο δεν χρειάζεται να έχει την ποιότητα του πόσιμου. Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων είναι: 1) το νερό ψύξης, 2) το νερό τροφοδοσίας λεβήτων και 3) το νερό κατεργασίας ή βιομηχανικό νερό. Η κυρίαρχη όμως χρήση που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ζήτηση είναι το νερό ψύξης.

2.3.4 Αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος

Η χρήση ανακτημένων λυμάτων για αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργία χώρων αναψυχής περιλαμβάνει: 1) την δημιουργία τεχνητών υδροβιότοπων ή την διατήρηση φυσικών, 2) την δημιουργία χώρων αναψυχής, 3) την αύξηση της παροχής επιφανειακών ρευμάτων και 4) διάφορες άλλες χρήσεις.

Σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός περιβάλλοντος στο οποίο θα μπορεί να αναπτυχθεί η ζωή στο φυσικό περιβάλλον και η ανάπτυξη μιας περιοχής με αυξημένη αισθητική αξία.

Στην Καλιφόρνια το 7% περίπου της ολικής επαναχρησιμοποίησης για το έτος 1987 σχετιζόταν με την αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος και την δημιουργία χώρων αναψυχής. Για τον ίδιο λόγο στη Φλώριδα η

περιβαλλοντική χρήση αποτελούσε το 9% της ολικής επαναχρησιμοποίησης ανακτημένου νερού²¹.

2.3.5 Αστική χρήση

Τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων για αστική χρήση παρέχουν ανακτημένο νερό για οποιαδήποτε χρήση εκτός της πόσης. Αν και οι ποσότητες ανακτημένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα για αστική χρήση παγκοσμίως είναι πολύ περιορισμένες και προβλέπεται ότι θα παραμείνουν σε χαμηλά επίπεδα και στο προσεχές μέλλον, οι τεχνολογικές επιτεύξεις στον τομέα αυτό έχουν μεγάλο επιστημονικό και κοινωνικό ενδιαφέρον.

Μερικές μικρές κοινότητες λόγω της δυσκολίας ανάπτυξης άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων αναπτύσσουν και υλοποιούν μελέτες για τέτοια συστήματα. Έτσι το ενδιαφέρον για τη δημόσια υγεία επιβάλλει την ανάπτυξη σχετικής τεχνογνωσίας.

Μερικές από τις αστικές χρήσεις είναι οι ακόλουθες:

- Πότισμα δημόσιων πάρκων και κέντρων αναψυχής, αθλητικών γηπέδων, σχολικών αυλών, γηπέδων παιχνιδιού, νησίδων και κρασπέδων αυτοκινητοδρόμων, νεκροταφείων και κήπων που περιβάλλουν δημόσια κτίρια και εγκαταστάσεις.
- Πότισμα κήπων μονοκατοικιών και πολυκατοικιών, γενικό πλύσιμο και άλλες εργασίες συντήρησης.
- Πότισμα κήπων που περιβάλλουν εμπορικά κέντρα, γραφεία και βιομηχανικά κτίρια.
- Πότισμα γηπέδων γκολφ.
- Εμπορικές χρήσεις, όπως οι εγκαταστάσεις πλυσίματος οχημάτων, το πλύσιμο παραθύρων το νερό ανάμιξης για ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα και υγρά λιπάσματα.
- Διακόσμηση κήπων με διακοσμητικά σιντριβάνια, πισίνες και καταρράκτες.
- Έλεγχος σκόνης και παραγωγή σκυροδέματος σε δομικά έργα.
- Πυροπροστασία.
- Καθαρισμό τουαλετών σε εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια.

²¹ California State Water Resources Control Board, 1990

Κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων επαναχρησιμοποίησης ανακτημένων υγρών αποβλήτων για αστική χρήση, οι σημαντικότεροι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι η αξιοπιστία εξυπηρέτησης και η προστασία της δημόσιας υγείας. Γι' αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται:

- i. η απαιτούμενη ποιότητα νερού για την αποσκοπούμενη χρήση,
- ii. προστασία από εσφαλμένη λειτουργία του συστήματος,
- iii. προστασία από συνδέσεις με το σύστημα πόσιμου νερού, και
- iv. μη εσφαλμένη χρήση του ανακτημένου νερού²².

Για να αποφευχθούν συνδέσεις με το σύστημα του πόσιμου νερού, πρέπει όλος ο εξοπλισμός που σχετίζεται με το σύστημα διανομής του ανακτημένου νερού να σημαδεύεται ώστε να διακρίνεται εύκολα.

Τα συστήματα επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για αστική χρήση προϋποθέτουν την ύπαρξη συστημάτων διπλής διανομής στην αστική περιοχή. Το σύστημα διανομής του ανακτημένου νερού είναι παράλληλο με το κύριο σύστημα διανομής πόσιμου νερού. Το παλαιότερο αστικό σύστημα διπλής διανομής στις Η.Π.Α. βρίσκεται στην πόλη St. Petesburg της Φλόριδας (1977).

Στις οικιστικά διαμορφωμένες αστικές περιοχές η εκ των υστέρων εγκατάσταση δεύτερου δικτύου για διανομή ανακτημένου νερού και εσωτερικών υδραυλικών εγκαταστάσεων έχει συνήθως υψηλό κόστος που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαγορευτικό. Ωστόσο, σε μερικές περιπτώσεις τα οφέλη που προκύπτουν από την διατήρηση αποθεμάτων πόσιμου νερού μπορούν να δικαιολογήσουν το κόστος, π.χ. σε περιπτώσεις που το πόσιμο νερό μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις, ή όταν οι τοπικοί υδροφορείς έχουν τόσο κακή ποιότητα ώστε να απαιτείται μεγάλος βαθμός επεξεργασίας. Στις αναπτυσσόμενες όμως αστικές περιοχές η εγκατάσταση διπλού συστήματος διανομής από την αρχή εξασφαλίζει σημαντικά κέρδη.

2.3.6 Ύδρευση- Πόση

Η εφαρμογή των έργων επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για άμεση ή έμμεση (μέσω εμπλουτισμού υδροφορέων που εξυπηρετούν

²² Ανδρεαδάκης Α., 2001

ανάγκες ύδρευσης) ύδρευση είναι πολύ περιορισμένη και συμβαίνει μόνο σε κάποιες κοινότητες όπου δεν είναι δυνατή ή είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αξιοποίηση άλλων διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Γενικά προϋπήρχε και υπάρχει ακόμα και σήμερα σοβαρός προβληματισμός ως προς την άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για πόση. Ο κύριος προβληματισμός στα έργα επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων για αρδευτικούς σκοπούς, αφορά πιθανές χρόνιες επιδράσεις στην υγεία από πιθανή αντίδραση και ανάμειξη ανόργανων και οργανικών συστατικών που παραμένουν στην ανακτώμενη εκροή, ακόμα και υπό συνθήκες πολύ προχωρημένης επεξεργασίας²³.

Ενώ τα ποιοτικά κριτήρια για τα άλλα είδη επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων είναι ευκολότερο να ικανοποιηθούν και οι απαιτούμενες επεξεργασίες δεν πρόκειται να αλλάξουν σημαντικά στο μέλλον, τα ποιοτικά κριτήρια για το πόσιμο νερό προβλέπεται ότι στο μέλλον θα γίνονται όλο και πιο αυστηρά και επομένως θα απαιτείται όλο και μεγαλύτερη επεξεργασία για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση.

Είναι ευρύτατα παραδεκτό ότι τα συνήθη ποιοτικά κριτήρια του πόσιμου νερού επαρκούν μόνο στην περίπτωση που η υδροληψία γίνεται από πηγές που δεν έχουν ακόμα υποστεί ρύπανση και όχι από ανακτημένα λύματα. Στην περίπτωση των λυμάτων οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες και όχι καλά προσδιορισμένες. Έχει εκτιμηθεί ότι μόνο το 10% των οργανικών ενώσεων του πόσιμου νερού έχουν αναγνωρισθεί, ενώ για λίγα από αυτά έχουν εξακριβωθεί οι επιδράσεις τους στην υγεία. Επίσης σημαντική ασάφεια παρατηρείται στον προσδιορισμό της επίδρασης της συνισταμένης δράσης διαφόρων συνθετικών ενώσεων που περιέχονται στα λύματα, στη δημόσια υγεία. Οι έρευνες οι σχετικές με τις επιδράσεις στην υγεία κατά την επαναχρησιμοποίηση για πόση είναι εφαρμόσιμες μόνο για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, καθώς το μείγμα των ρύπων διαφέρει από πόλη σε πόλη. Ακόμα και για την ίδια πόλη είναι πιθανό τα επικίνδυνα συστατικά των λυμάτων να αλλάζουν με τη πάροδο του χρόνου. Αυτός ο περιορισμός επιδρά αρνητικά στην προσπάθεια

²³ WHO,1980 και U.S. Nat. Res. Council, 1982

ανάπτυξης πλήρων και συνολικών ποιοτικών κριτηρίων για επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων για πόση²⁴.

Ποιοτικά κριτήρια έχουν θεσπιστεί για πολλά ανόργανα συστατικά. Η Υπηρεσία Προστασίας της Δημόσιας Υγείας και το US EPA (USA Environmental Protection Agency) έχουν καθορίσει μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για περισσότερους από 100 ρύπους. οστόσο, ο αριθμός των ρύπων που πρέπει να παρακολουθούνται / ελέγχονται αυξάνεται συνεχώς, ενώ τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για πολλούς από αυτούς μειώνονται. Ιδιαίτερη δυσκολία παρουσιάζει το γεγονός ότι μόνον ένα σχετικά μικρό ποσοστό από το σύνολο των επικίνδυνων συστατικών των λυμάτων είναι δυνατό να προσδιορισθεί με ακρίβεια με τις σύγχρονες αναλυτικές μεθόδους.

Μερικές οργανικές ενώσεις, και ιδίως τα χλωριωμένα είδη, που αποτελούν παραπροϊόντα της χλωρίωσης των λυμάτων, είναι γνωστά ύποπτα καρκινογόνα, εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσης του πληθυσμού ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις τους. Πολλές επιδημιολογικές έρευνες έχουν γίνει για την αποτίμηση των πιθανών επιδράσεων στην υγεία που σχετίζονται με πόσιμο νερό το οποίο λαμβάνεται από πηγές που περιέχουν σημαντικά ποσοστά αποβλήτων. Τα αποτελέσματα γενικά ήταν ατελέσφορα, παρόλο που έχουν δώσει ικανοποιητικές αποδείξεις υπέρ της ύπαρξης κινδύνου για την υγεία. Μια έρευνα που έγινε από το Εθνικό Ινστιτούτο Καρκίνου έδειξε αυξημένη συχνότητα καρκίνου «bladder» σε ανθρώπους που έπιναν χλωριωμένο επιφανειακό νερό (πλούσιο σε οργανικές ενώσεις) σε σχέση με εκείνους που έπιναν μη χλωριωμένο υπόγειο νερό. Αν και υπάρχουν πολλοί περιορισμοί ως προς τις επιδημιολογικές έρευνες εξαιτίας των πολλών μεταβλητών που υπεισέρχονται, οι έρευνες φαίνεται να συγκλίνουν στην γενική παρατήρηση ότι η περιεκτικότητα του νερού σε οργανικές ενώσεις επηρεάζει σημαντικά την δημιουργία επικίνδυνων παραπροϊόντων της χλωρίωσης²⁵.

Μόνο ένα σχετικά μικρό ποσοστό από το σύνολο των επικίνδυνων συστατικών των λυμάτων είναι δυνατό σήμερα να προσδιοριστεί με ακρίβεια.

²⁴ National Research Council, 1980

²⁵ National Research Council, 1980

3. ΧΡΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Στο μέλλον, εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού παγκοσμίως και λαμβανομένης υπόψη της ύπαρξης κατάλληλης τεχνολογίας, συντρέχουν λόγοι ακόμη και για την παραγωγή πόσιμου νερού από μη πόσιμα νερά, παρόλο, που τίθενται σοβαρά θέματα όπως το υψηλό κόστος επεξεργασίας και η κοινωνική αποδοχή. Από την στιγμή που η επαναχρησιμοποίηση νερού εφαρμόζεται ακόμη και για την πόσιμη χρήση, σε κάθε περίπτωση απαιτείται συγκεκριμένη ποιότητα νερού, η οποία προσδιορίζει και τις απαιτούμενες τεχνολογίες επεξεργασίας και το ανάλογο κόστος. Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες για την απαιτούμενη για κάθε χρήση ποιότητα νερού. Γενικά, κάθε τύπος επαναχρησιμοποίησης απαιτεί τις δικές του προδιαγραφές ποιότητας.

Οι προδιαγραφές για την επαναχρησιμοποίηση **στη βιομηχανία** δεν είναι αμφιλεγόμενες, αφού η απαιτούμενη ποιότητα του νερού καθορίζεται από τις προδιαγραφές της βιομηχανικής ζήτησης.

Το ίδιο ισχύει και στην επαναχρησιμοποίηση νερού που προορίζεται για **πόση**, αλλά θέματα κοινωνικής αποδοχής και μόλυνσης, έχουν οδηγήσει στην περιορισμένη εφαρμογή της. Αντίθετα, ο **εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων**, ταυτόχρονα παρέχει μία συμπληρωματική επεξεργασία, που φαίνεται να είναι αποτελεσματική, οι συζητήσεις για την ποιότητα της εφαρμοζόμενης εκροής, περιορίζονται κυρίως στα επίπεδα των νιτρικών και στα υπολείμματα των φυτοφαρμάκων.

Η κατάσταση διαφοροποιείται στην περίπτωση της επαναχρησιμοποίησης **για άρδευση**. Επειδή οι εκροές είναι ένας πολύ ελκυστικός υδατικός πόρος για άρδευση, εξαιτίας της πλούσιας περιεκτικότητας τους σε θρεπτικά στοιχεία, λαμβάνουν χώρα έντονες συζητήσεις για τις προδιαγραφές ποιότητας που πρέπει να εφαρμόζονται, όσον αφορά στις μικροβιολογικές παραμέτρους ανάλογα με τη μέθοδο άρδευσης και το είδος της αρδευόμενης καλλιέργειας²⁶.

²⁶ Asano and Levine, 1996, Angelakis et al., 1997

Οι βιομηχανικές χώρες και οι παραγωγοί τεχνολογίας, προβάλλουν αυστηρές προδιαγραφές για την ποιότητα του νερού (συγκρίσιμες με αυτές του πόσιμου νερού), με τη βεβαιότητα ότι οι πιο ακριβείς τεχνολογίες εξασφαλίζουν υγιεινό νερό (δηλ. απαλλαγμένο από εντερροϊούς και παράσιτα), οι αναπτυσσόμενες χώρες που μαστίζονται από σοβαρές ελλείψεις νερού, επιδιώκουν την εκπόνηση επιδημιολογικών μελετών που υπερασπίζονται τις ισχύουσες λιγότερο αυστηρές οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization, WHO). Ο έλεγχος των παθογόνων είναι δύσκολος και υψηλού κόστους.

Εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που συνεπάγονται από την επαναχρησιμοποίηση των εκροών των υγρών αποβλήτων για άρδευση, διάφορες χώρες έχουν θεσπίσει ή έχουν αρχίσει διαδικασίες θέσπισης ποιοτικών κριτηρίων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης τους. Γι' αυτό, ορισμένες υπηρεσίες, όπως το Συμβούλιο Νερού του Ισραήλ και το τοπικό Υπουργείο Υγείας της Καλιφόρνιας, έχουν θεσπίσει κανονισμούς σχετικά αυστηρούς για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για άρδευση. Όμως, σε αναπτυσσόμενες χώρες έχουν υιοθετηθεί ποιοτικά κριτήρια προστασίας της δημόσιας υγείας από ανακτώμενα υγρά απόβλητα σχετικά με τις δυνατότητες ανάπτυξης και χρήσης άλλων υδατικών πόρων και τη μεγαλύτερη δυνατή υγειονομολογική τους αξία. Σε αρκετές, όμως, από αυτές τις χώρες δεν υπάρχουν καθορισμένα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και τα έργα ανάκτησης-επαναχρησιμοποίησης, ουσιαστικά, αποτελούν πηγές νερού και θρεπτικών στοιχείων.

Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στις ανεπτυγμένες χώρες δημιουργεί δύο κατηγορίες **νομικών ζητημάτων**. Οι κατηγορίες αυτές αναφέρονται :

α) Στην προστασία του δικαιώματος των χρηστών του νερού για τη χρήση του νερού και στην αντίστοιχη εξουσία της κυβέρνησης ή των περιφερειακών αρχών να απονέμουν δικαιώματα χρήσης νερού.

β) Στην προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Δεν μπορούν, βεβαίως, να αποκλεισθούν και άλλα ζητήματα που συνδέονται, ωστόσο, με συγκεκριμένες περιστάσεις.

A) Προστασία των δικαιωμάτων των χρηστών νερού.

Τα νερά που χρησιμοποιούνται συχνά για την άρδευση γεωργικών καλλιεργειών προέρχονται, πολλές φορές, από επιφανειακά νερά, όπως για παράδειγμα ποτάμια που είναι φυσικοί αποδέκτες υγρών αποβλήτων. Η παροχέτευση υγρών αποβλήτων προς τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας τους αλλάζει τη ροή των αποβλήτων προς το φυσικό τους αποδέκτη και κατά συνέπεια στερεί τους συνήθεις χρήστες των νερών του αποδέκτη από τη συγκεκριμένη ποσότητα νερού. Μία εγκατάσταση ανάκτησης των εκροών των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων πιθανόν να στερήσει εξ ολοκλήρου τους συνήθεις χρήστες από την ποσότητα νερού που λαμβάνουν, αφού το ανακτώμενο και επαναχρησιμοποιούμενο νερό, πιθανόν να πωλείται σε νέους χρήστες (π.χ. βιομηχανίες) ή να προορίζεται για νέες χρήσεις (π.χ. δημοτική χρήση).

Οι πρακτικές και το εθιμικό δίκαιο στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες, και το γραπτό δίκαιο σε πολλές από αυτές, αναγνωρίζουν το κεκτημένο δικαίωμα ενός χρήστη νερού να χρησιμοποιεί μία συγκεκριμένη ποσότητα νερού υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Σε περίπτωση που η ποσότητα αυτή μειωθεί ο παραπάνω χρήστης μπορεί να δικαιούται είτε χρηματική αποζημίωση είτε συμπληρωματική ποσότητα νερού. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι δημοτικές (τοπικές) αρχές θα πρέπει να έχουν ειδική αρμοδιότητα όσον αφορά στα παραπάνω δικαιώματα. Πάντως, όλα τα πρόσωπα που εμπλέκονται στο σχεδιασμό ενός έργου επαναχρησιμοποίησης θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους και να αναλύουν τις πιθανές επιπτώσεις του έργου στις τρέχουσες χρήσεις νερού, καθώς επίσης να ορίζουν τα μέτρα που θα λαμβάνονται (όπως αποζημιώσεις και επιδοτήσεις) στις περιπτώσεις που το έργο παρεμβαίνει και διαφοροποιεί τις τρέχουσες χρήσεις.

B) Προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.

Η χρήση του ανακτώμενου νερού για αγροτικές καλλιέργειες, καθώς και η αστική του χρήση (όπως άρδευση αστικού και περιαστικού πρασίνου) μπορεί να έχει ως συνέπεια τη δημιουργία προβλημάτων που συνδέονται με τη δημόσια υγεία (όπως είναι η έκθεση των ανθρώπων σε παθογόνους μικροοργανισμούς). Ακόμα, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση, αν δεν γίνουν με ορθή διαδικασία και τεχνολογία, μπορεί να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα του περιβάλλοντος.

Ο σχεδιασμός έργων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων θα πρέπει να περιλαμβάνει την ανάπτυξη και εφαρμογή κανονισμών, που θα προλαμβάνουν τη δημιουργία προβλημάτων που συνδέονται με τη δημόσια υγεία και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι κανονισμοί αυτοί θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- α) Σύστημα χορήγησης αδειών για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Επιπλέον τεχνικούς ελέγχους για την παραπάνω επεξεργασία.
- β) Προδιαγραφές ποιότητας για το ανακτώμενο νερό που προορίζεται για διάφορες χρήσεις.
- γ) Ελέγχους που μειώνουν την ανθρώπινη έκθεση σε κινδύνους που προέρχονται από το ανακτώμενο νερό, καθώς και περιορισμούς στις διάφορες χρήσεις του ανακτώμενου και επαναχρησιμοποιούμενου νερού.
- δ) Ελέγχους όσον αφορά στην πρόσβαση στο σύστημα συλλογής των υγρών αποβλήτων και προληπτικούς ελέγχους για την αποφυγή της σύνδεσης μεταξύ του δικτύου ύδρευσης και του δικτύου του ανακτώμενου και επαναχρησιμοποιούμενου νερού.
- ε) Μηχανισμούς που θα καθιστούν υποχρεωτικούς και θα δίνουν αναγκαστική ισχύ σε όλους τους παραπάνω κανονισμούς, συμπεριλαμβανομένων και των αρμοδιοτήτων για διενέργεια ελέγχων και επιβολή ποινών στις περιπτώσεις παραβιάσεων²⁷.

3.2 Κανονισμός Καλιφόρνιας

Η πολιτεία της Καλιφόρνιας έχει μακρά ιστορία επαναχρησιμοποίησης λυμάτων και θεσμοθέτησε τον πρώτο σχετικό κανονισμό το 1918. Ο κανονισμός αυτός έχει υποστεί αναθεωρήσεις και επεκτάσεις και με τη σημερινή του μορφή, όπως διαμορφώθηκε το 1978, αποτελεί τη βάση για τα κριτήρια επαναχρησιμοποίησης όχι μόνο στην Καλιφόρνια αλλά και σε άλλες πολιτείες των Η.Π.Α. και χώρες του κόσμου.

Τα μικροβιολογικά κριτήρια και τα συνεπαγόμενα σχήματα επεξεργασίας, όπως ήδη αναφέρθηκε δεν βασίζονται τόσο σε επιδημιολογικές έρευνες όσο σε μία προσπάθεια ελαχιστοποίησης των θεωρητικών κινδύνων από την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων. Βασική παράμετρος θεωρείται η πιθανότητα ανθρώπινης έκθεσης στα

²⁷ Αγγελάκης, 2000

επαναχρησιμοποιούμενα λύματα η οποία καθορίζει και το μέγεθος του κινδύνου. Έμμεσα με τον τρόπο αυτό αναγνωρίζεται η διάκριση σε περιορισμένη και απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση.

Τέλος στην περίπτωση της απεριόριστης επαναχρησιμοποίησης (η οποία περιλαμβάνει και την απεριόριστη άρδευση) κατά την οποία αναγνωρίζεται μεγάλη πιθανότητα άμεσης επαφής με το επαναχρησιμοποιούμενο νερό (είτε μέσω κολύμβησης ή μέσω κατανάλωσης προϊόντων που έχουν έρθει σε επαφή με το νερό άρδευσης), ο κανονισμός απαιτεί λύματα τα οποία πρακτικά είναι απαλλαγμένα από παθογόνους μικροοργανισμούς με όριο για ολικά κολοβακτηρίδια τα 2,2 ανά 100 ml ως διάμεση τιμή και τα 23 ανά 100 ml ως μέγιστη τιμή. Το προτεινόμενο σχήμα επεξεργασίας, εκτός της βιολογικής επεξεργασίας, περιλαμβάνει πλήρη τριτοβάθμια επεξεργασία με κροκίδωση, καθίζηση, δύλιση και απολύμανση και υποδηλώνει σαφώς πιο προχωρημένη επεξεργασία η οποία στοχεύει στην απομάκρυνση όλων σχεδόν των ιών.

3.3 Κανονισμοί άλλων χωρών εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στο Ισραήλ η χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών βαμβακιού άρχισε από πολύ νωρίς και πιο συγκεκριμένα στην δεκαετία του 1970. Από τότε έχει αποκτηθεί τεράστια εμπειρία και σήμερα όλα σχεδόν τα γεωργικά είδη αρδεύονται με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Εξαιτίας του υψηλού ποσοστού χρήσης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σ' αυτή τη χώρα και της εμπειρίας και τεχνογνωσίας που έχει αποκτηθεί, το Ισραήλ θεωρείται παγκοσμίως πρωτοπόρο σ' αυτό τον τομέα. Γι' αυτό το λόγο, από πολύ νωρίς έχουν θεσπισθεί κανονισμοί επαναχρησιμοποίησης εκροών αστικών υγρών αποβλήτων.

Εκτός από το Ισραήλ, που όπως προαναφέρεται πρωτοπορεί σε σχετικά αντικείμενα η επικρατούσα κατάσταση σε άλλες Μεσογειακές Χώρες έχει ως εξής:

Στην Κύπρο είναι αυστηρότερα από τις κατευθυντήριες οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαίτερες συνθήκες της περιοχής. Τα κριτήρια αυτά ακολουθούνται από ένα κώδικα πρακτικής που εξασφαλίζει την καλύτερη δυνατή εφαρμογή των εκροών για άρδευση. Ωστόσο, αυτά τα κριτήρια είναι εκτός από τη φιλοσοφία κανονισμού της Καλιφόρνιας²⁸.

Στην Τυνησία και στην Αλγερία, ο Νόμος νερού απαγορεύει τη χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για την άρδευση λαχανικών που μπορούν να καταναλωθούν ωμά. Απαιτείται σχετική άδεια χρήσης μη συμβατικών πηγών νερών.

Στην Αίγυπτο, δεν έχουν ακόμα υιοθετηθεί οδηγίες αλλά ο στρατιωτικός νόμος του 1984 απαγόρευσε την χρήση εκροών για την άρδευση καλλιεργειών, εκτός αν ήταν επεξεργασμένα σύμφωνα με τα απαιτούμενα ποιοτικά κριτήρια του αρδευτικού νερού. Επίσης, απαγορεύεται η άρδευση λαχανικών που καταναλώνονται ωμά, με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, ανεξάρτητα από την ποιότητα τους.

Στην Ιορδανία, τα κριτήρια για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων συστάθηκαν για πρώτη φορά το 1982 υπό μορφή στρατιωτικού νόμου. Το 1989, ενισχύθηκε μία πιο απελευθερωμένη άποψη αυτού του στρατιωτικού νόμου²⁹.

3.4 Κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Γενικά η διαχείριση των υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα όπως και στα υπόλοιπα κράτη - μέλη της Ε.Ε. διέπεται από την οδηγία 91/271/EEC.

Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως με αυτή της Ε.Ε.. Σύμφωνα με αυτήν, έχουν τεθεί κάποια χρονικά όρια προσαρμογής και τήρησης των όρων επεξεργασίας.

Όπως προαναφέρεται, ευρωπαϊκές οδηγίες για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση εκροών υγρών αποβλήτων είναι βέβαιο ότι θα θεσπιστούν σύντομα. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στη διαφορετικότητα Νοτίων και Βορείων χωρών σε ότι αφορά τη

²⁸ Papadopoulos, 1995

²⁹ Αγγελάκης, 2000

διαθεσιμότητα υδατικών πόρων. Στην οδηγία 91 / 271 / ΕΕC, άρθρο 12 παρ. 1, αναφέρεται ρητά ότι «επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα επαναχρησιμοποιούνται οποτεδήποτε θεωρούνται κατάλληλα»³⁰.

3.5 Το ισχύον θεσμικό πλαίσιο στην Ελλάδα- Διατάξεις

1. Η Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) **145116/2011** (Φ.Ε.Κ. 354/Β/8.3.2011) “Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις” .
2. Η υπ' αριθμόν 145447/23.6.2011 εγκύκλιος του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Υ.Π.Ε.ΚΑ) όπου παρέχονται διευκρινίσεις για την εφαρμογή της ΚΥΑ 145116/2011.
3. Η Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 - ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01: «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.
4. Η Υπουργική Απόφαση (Υ.Α.) Δ.ΥΓ2/5932/2006 –Περί χορήγησης παρεκκλίσεων σύμφωνα με την Υ2/2600/2001 κοινή υπουργική απόφαση «για την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης»
5. Η Υ.Α. ΔΥΓ2/26414/2006 –Περί χορήγησης παρεκκλίσεων σύμφωνα με την υπ αριθμ. Υ2/2600/2001 κοινή υπουργική απόφαση για την «ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» (Υγειονομική διάταξη).
6. Η Υ.Α. ΔΥΓ2/31265/2006 (ΦΕΚ 1221/Β`/5.9.2006) (Σχετ: 65414) Περί χορήγησης παρεκκλίσεων σύμφωνα με την υπ αριθμ. Υ2/2600/2001 κοινή υπουργική απόφαση για την «ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» (Υγειονομική διάταξη).
7. Η Υ.Α. ΔΥΓ2/Γ.Π. οικ. 38295/2007 (ΦΕΚ 630/Β`/26.4.2007) Τροποποίηση της Υγειονομικής Διάταξης κοινής υπουργικής απόφασης Υ2/2600/2001 «Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης», σε συμμόρφωση προς την οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.
8. Η υπ. αριθ. 5673/400/1997 ΚΥΑ «Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων» (Β'192) που εκδόθηκε σε

³⁰ Angelakis et al.,2002

συμμόρφωση με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ και τροποποιήθηκε με την υπ. Αριθ. 19661/1982/1999 ΚΥΑ (Β'1811) και την υπ. Αριθ. 48392/939/2002 ΚΥΑ (Β' 405)

9. Η υπ. αριθ. 39626/2208/2009 ΚΥΑ «Καθορισμός μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από την ρύπανση και την υποβάθμιση, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2006/118/ΕΚ «σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και την υποβάθμιση», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 2006» (Β'2075).
10. Η Υγειονομική Διάταξη Ε1β 221/65 «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων» (Β'138).
11. Ο Ν. 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων – εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (Α' 280).
12. Το Π.Δ. 51/2007 «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (Α'54).

3.6 Κ.Υ.Α. 145116/2011

3.6.1 Εισαγωγή

Η μέχρι τώρα απουσία ενός ολοκληρωμένου και σαφούς θεσμικού πλαισίου αποτελούσε ανασταλτικό παράγοντα για την προώθηση και ευρεία εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης η οποία μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ειδικότερα, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων αφ ενός από την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής, και αφ ετέρου από την έντονη ταπείνωση ή /και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας.

Με την Κ.Υ.Α. 145116/2011 θεσπίζονται τέσσερις βασικές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων:

- (α) άρδευση,
- (β) βιομηχανική χρήση,
- (γ) τροφοδότηση/ εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων και
- (δ) αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση.

Τίθενται όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους για τις διάφορες μεθόδους επαναχρησιμοποίησης, καθώς και ο αντίστοιχος βαθμός της κατ' ελάχιστον απαιτούμενης επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων (*δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ακολουθούμενη από απολύμανση*) και η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών.

3.6.2 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας Κοινής Υπουργικής Απόφασης απόφασης είναι:

α) η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων, η οποία θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από:

i) την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής,

ii) την έντονη ταπείνωση ή/και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την υπεράντληση, την προϊούσα λειψυδρία και την είσοδο του θαλάσσιου μετώπου σε παραλιακές περιοχές,

β) η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπογείων υδροφορέων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων είναι η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας.

3.6.3 Πεδίο εφαρμογής

Η ΚΥΑ εφαρμόζεται για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων:

1. Υγρών οικιακών ή αστικών λυμάτων ή βιομηχανικών λυμάτων που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης, και
2. Υγρών βιομηχανικών αποβλήτων που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία.

Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, είναι οι εξής:

1. Επεξεργασία του γάλακτος.
2. Παραγωγή οπωροκηπευτικών προϊόντων.
3. Παραγωγή και εμφιάλωση μη αλκοολούχων ποτών.
4. Μεταποίηση γεώμηλων.
5. Βιομηχανία κρέατος
6. Ζυθοποιία.
7. Παραγωγή αλκοόλης και αλκοολούχων ποτών.
8. Παραγωγή ζωοτροφών από φυτικά προϊόντα.
9. Παραγωγή ζελατίνας και κόλλας από δέρματα και οστά ζώων.
10. Μονάδες παραγωγής βύνης.
11. Μεταποιητική βιομηχανία ιχθύων.

3.6.4 Τύποι επαναχρησιμοποίησης

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων επιτρέπεται για γεωργική χρήση (άρδευση), για την τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, για αστική και περιαστική χρήση, για βιομηχανική χρήση και για τα υδατικά συστήματα του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007.

Δεν υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας απόφασης:

- i. η ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων,
- ii. η άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση, με εξαίρεση τις περιπτώσεις που αναφέρονται στο άρθρο 8,
- iii. επαναχρησιμοποίηση για χρήσεις κολύμβησης (πισίνες) και

iv. άλλες οικιακές χρήσεις.

Στην ΚΥΑ ορίζονται οι εξής δυνατότητες για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων:

1. **Άρδευση**, που διακρίνεται περαιτέρω σε:

- i. Περιορισμένη
- ii. Απεριόριστη

2. **Βιομηχανική χρήση**, που διακρίνεται περαιτέρω σε:

- i. Επαναχρησιμοποίηση ως νερό ψύξης μιας χρήσης
- ii. Άλλες βιομηχανικές χρήσεις, όπως επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης, νερό για λέβητες, νερό διεργασιών, κ.α.

3. **Τροφοδότηση/ Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων**, που διακρίνεται περαιτέρω σε:

- i. Τροφοδότηση με διήθηση διαμέσω εδαφικού στρώματος
- ii. Τροφοδότηση με γεωτρήσεις

4. **Αστική και Περιαστική** επαναχρησιμοποίηση

Οι προαναφερόμενοι τύποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων δεν είναι επιτρεπτοί για το σύνολο του πεδίου εφαρμογής της ΚΥΑ. Οι επιτρεπόμενες μορφές επαναχρησιμοποίησης σε συνάρτηση με την πηγή παραγωγής των υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1:

Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων

Πηγή/ Τύπος υγρών αποβλήτων	Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης
Οικιακά ή αστικά λύματα ή βιομηχανικά λύματα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης	1. Άρδευση 2. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων 3. Αστική και περιαστική χρήση

Πηγή/ Τύπος υγρών αποβλήτων	Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης
	4. Βιομηχανική χρήση
Υγρά βιομηχανικά απόβλητα που προέρχονται από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ασχέτως μεγέθους, που είναι μη επικίνδυνα, ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα μετά από προβλεπόμενη επεξεργασία	1. Βιομηχανική χρήση 2. Περιορισμένη άρδευση μέσω υπεδάφιου συστήματος άρδευσης 3. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007 και μόνο μέσω διήθησης.

Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

Διακρίνονται δύο τύποι επαναχρησιμοποίησης στην περίπτωση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα:

1. Περιορισμένη άρδευση, που αφορά μόνο καλλιέργειες τα προϊόντα των οποίων καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλου είδους επεξεργασία ή δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή οι καρποί τους δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος κατά τη διαδικασία συλλογής τους. Παραδείγματα των καλλιεργειών αυτών είναι καλλιέργειες ζωοτροφών, λιβάδια, βιομηχανικές καλλιέργειες, δέντρα (εκτός των οπωροφόρων), καλλιέργειες σπόρων κ.α.. Στην περιορισμένη άρδευση δεν επιτρέπεται η εφαρμογή του καταιονισμού ως μεθόδου άρδευσης. Η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη έκταση πρέπει να απαγορεύεται.
2. Απεριόριστη άρδευση, που αφορά σε είδη καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, π.χ. λαχανικά, αμπέλια,

οπωροφόρα δέντρα κ.α., ενώ αφορά επίσης και ανθοκομικές καλλιέργειες. Στις περιπτώσεις αυτές επιτρέπονται διάφοροι τύποι άρδευσης, συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού, ενώ δεν υπάρχουν περιορισμοί στην πρόσβαση του κοινού.

Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων

Διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων:

1. Άμεσος εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα.
2. Εμπλουτισμός με τη μέθοδο της διήθησης διαμέσου εδαφικού στρώματος εδάφους, με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος.

Με ορισμένες εξαιρέσεις, ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων επιτρέπεται μόνο στις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα υπόγεια νερά δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007.

Στην τροφοδότηση των υπόγειων υδροφορέων εντάσσονται τόσο η υπεδάφια όσο και η επιφανειακή διάθεση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, **συμπεριλαμβανομένης και της τελικής διάθεσης σε απορροφητικό βόθρο.**

Αστική και περιαστική επαναχρησιμοποίηση

Ο συγκεκριμένος τύπος επαναχρησιμοποίησης αναφέρεται κυρίως στο αστικό και περιαστικό πράσινο, τις δασικές εκτάσεις, την αναψυχή, την αποκατάσταση φυσικού περιβάλλοντος, την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών κλπ. Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης μεταξύ άλλων συμπεριλαμβάνουν: το πότισμα συγκεντρωμένων εκτάσεων πρασίνου όπως δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές κατοικιών, ελεύθερος χώρος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και εγκαταστάσεων αναψυχής, τη χρήση νερού για την πυρόσβεση, τη συμπύκνωση εδαφών, τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, τα διακοσμητικά συντριβάνια, τη δημιουργία τεχνητών ή τη διατήρηση φυσικών λιμνών ή υγροβιοτόπων καθώς και για την ενίσχυση παροχής επιφανειακών ρευμάτων.

Βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση

Η επαναχρησιμοποίηση αυτού του τύπου περιλαμβάνει εφαρμογές όπως χρήση νερών ψύξης (μιας χρήσης ή επανακυκλοφορούμενων), αναπλήρωση νερών λεβήτων και αξιοποίηση για τις διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Η βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Σημειώνεται ότι η ΚΥΑ δεν βρίσκει εφαρμογή στην περίπτωση διάθεσης σε υδάτινους αποδέκτες.

3.6.5 Όρια - παράμετροι χρήσης

Εισαγωγή

Τα όρια των μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 1

Όρια για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1						
Τυπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατ ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Περιορισμένη άρδευση						
Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων, με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, απολύμανση	BOD5, SS, N, P , σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97) EC : μια ανα εβδομάδα Υπολειμματικό Χλώριο : συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)
Βιομηχανική χρήση						
Νερό ψύξης μιας χρήσης						
Τροφодότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθ. 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγ. 4 και 5 του άρθ. 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά.						

Πίνακας 2:

Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για **απεριόριστη άρδευση** και **βιομηχανική χρήση** πλην νερού ψύξης μιας χρήσης

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατ ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Απεριόριστη άρδευση						BOD5, SS, N, P , σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97) Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. EC :
Όλες οι καλλιέργειες όπως οπωροφόρα δένδρα, λαχανικά, αμπέλια ή καλλιέργειες των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, θερμοκήπια. Η απεριορίστη άρδευση επιτρέπει την εφαρμογή διαφόρων μεθόδων εφαρμογής της άρδευσης συμπεριλαμβανομένου του καταιονισμού.	≤ 5 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 50 για το 95% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 διάμεση τιμή	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολούθου τρίτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	για ανακτημένο νερό απ' εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50.000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής μια ανά εβδομάδα. Υπολειμματικό Χλώριο Cl ₂ : συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)
Βιομηχανική χρήση πλην νερού ψύξης μιας χρήσης						
Επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης για λέβητες, νερό διεργασιών κλπ.						

Πίνακας 3:

Όρια μικροβιολογικών και συμβατικών παραμέτρων καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για **αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις**

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Escherichia coli (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα	Κατ ελάχιστο απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
Αστική χρήση						BOD5, SS, N, P , σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997 (ΦΕΚ 192/Β/14-3-97) Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δυο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. TC :
Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρηνή αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημοσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών συμπίκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά συντριβάνια. Πότισμα με κατιονισμό απαγορεύεται.	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95% των δειγμάτων	≤ 10 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2 για το 80% των δειγμάτων	≤ 2	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία, ακολούθουμένη από τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση	για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50.000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις. Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δυο ανά εβδομάδα. Υπολειμματικό Χλώριο Cl ₂ : συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)
Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπíπτουν στις διατάξεις του άρθ. 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ 54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις.						
Περιστικό πράσινο συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών.						

Πίνακας 4.

Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων σε επεξεργασμένα λύματα για : α) αστική επαναχρησιμοποίηση, β) περιορισμένη και απεριοριστη άρδευση, γ) βιομηχανική επαναχρησιμοποίηση και δ) τροφοδότηση – εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων.

ΜΕΤΑΛΛΟ	Μέγιστη συγκέντρωση ppm
Al (Αργίλιο)	5,00
As (Αρσενικό)	0,10
Be (Βηρύλλιο)	0,10
Cd (Κάδμιο)	0,01
Co (Κοβάλτιο)	0,05
Cr (Χρώμιο)	0,10
Cu (Χαλκός)	0,20
F (Φθόριο)	1,00
Fe (Σίδηρος)	3,00
Li (Λίθιο)	2,50
Mn (Μαγγάνιο)	0,20
Mo (Μολυβδαίνιο)	0,01
Ni (Νικέλιο)	0,20
Pb (Μόλυβδος)	0,10
Se (Σελήνιο)	0,02
V (Βανάδιο)	0,10
Zn (Ψευδάργυρος)	2,00
Hg (Υδράργυρος)	0,00
B (Βόριο)	2,00

Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις παραμέτρους του Πίνακα 4 καθορίζεται σε:

- 12 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 200,000 κατοίκους και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που δεν εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97).
- 4 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 50,000–200,000 κατοίκων
- 2 ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 10,000–50,000 κατοίκων και υγρά βιομηχανικά απόβλητα από βιομηχανικές δραστηριότητες που εμπίπτουν στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους δραστηριότητας) της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97).
- ανά έτος για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεταξύ 2,000–10,000 κατοίκων

Για εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μικρότερο των 2,000 και οικιακά ιδιωτικά συστήματα επεξεργασίας δεν απαιτείται έλεγχος για τη διαπίστωση τήρησης των ορίων του Πίνακα 4.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Η επεξεργασία των λυμάτων στοχεύει στην απαλλαγή τους από τις διάφορες ρυπαντικές ουσίες ή στην τροποποίηση των βλαβερών χαρακτηριστικών τους, ώστε να μειωθούν τα απορριπτόμενα σε ένα φυσικό αποδέκτη φορτία.

Μια τυπική εγκατάσταση αφαιρεί από τα λύματα στερεά αντικείμενα, άμμο, λίπη, ενώσεις που περιέχουν άνθρακα, άζωτο και φώσφορο καθώς και παθογόνους μικροοργανισμούς και ιούς.

Τα στάδια επεξεργασίας μιας τυπικής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, είναι τα παρακάτω:

- α) Έργα εισόδου (τα έργα εισόδου περιλαμβάνουν ένα φρεάτιο στο οποίο εισέρχονται τα λύματα)
- β) Προεπεξεργασία (απομάκρυνση μεγάλου σχετικά μεγέθους στερεών).
- γ) Πρωτοβάθμια επεξεργασία (μείωση οργανικού φορτίου σωματιδιακής μορφής, μείωση στερεών).
- δ) Δευτεροβάθμια επεξεργασία (μείωση οργανικού φορτίου, μείωση στερεών).
- ε) Τριτοβάθμια επεξεργασία [μείωση θρεπτικών (N, P), μείωση στερεών].
- στ) Απολύμανση (μείωση παθογόνων μικροοργανισμών)

Επίσης οι μέθοδοι επεξεργασίας διακρίνονται ανάλογα με το ποιά χαρακτηριστικά των αποβλήτων εκμεταλλεύονται σε φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Στις φυσικές, η απομάκρυνση γίνεται με την εκμετάλλευση των φυσικών χαρακτηριστικών των αποβλήτων, στις χημικές γίνεται με την πρόσθεση χημικών ουσιών και στις βιολογικές με κάποια βιολογική διεργασία.

Οι φυσικοχημικές διεργασίες περιλαμβάνουν την εσχάρωση, τον τεμαχισμό, την εξάμμωση, την απολίπανση, την κροκίδωση, τη συσσωμάτωση, την καθίζηση, τη διύλιση και την απολύμανση. Οι βιολογικές διεργασίες επικεντρώνονται στον αερόβιο και αναερόβιο μεταβολισμό των ετεροτροφικών βακτηρίων κατά την πρόσληψη οργανικής ύλης (τροφής) καθώς και στις βιοχημικές μετατροπές του αζώτου (νιτροποίηση - απονιτροποίηση).

Το κάθε στάδιο (ή βαθμίδα) μπορεί να περιλαμβάνει φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες απομάκρυνσης των διαφόρων ουσιών από τα απόβλητα.

Οι μέθοδοι που έχουν βρει ευρεία εφαρμογή στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι: η μέθοδος της ενεργού ιλύος με τις παραλλαγές της, η μέθοδος των βιολογικών φίλτρων, οι λίμνες αερισμού ή δεξαμενές σταθεροποίησης κ.α.

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η επιλογή της διαδικασίας επεξεργασίας είναι πολλοί. Από αυτούς άλλοι είναι σχετικά εύκολο να εκτιμηθούν, όπως το κόστος κατασκευής και το λειτουργικό κόστος, ενώ άλλοι όπως η σταθερότητα και η αξιοπιστία της κατασκευής είναι δύσκολο να εκτιμηθούν, παρόλο που συχνά είναι και οι πιο σημαντικοί παράγοντες³¹.

4.2 Αντίστροφη όσμωση

Όταν στο διάλυμα που έρχεται σε επαφή μέσω της ημιπερατής μεμβράνης με τον καθαρό διαλύτη ασκηθεί πίεση μικρότερη από την οσμωτική πίεση του διαλύματος (δηλ. όταν $P_{εξ} < \Pi$), τότε στο διάλυμα θα συνεχίσει να εισέρχεται διαλύτης, αλλά με μικρότερο ρυθμό.

Όταν στο διάλυμα ασκηθεί εξωτερική πίεση μεγαλύτερη από την οσμωτική πίεση του διαλύματος (δηλ. $P_{εξ} > \Pi$) (Σχ. 3), τότε το φαινόμενο αντιστρέφεται και μόρια διαλύτη θα εξέρχονται από το διάλυμα προς τον καθαρό διαλύτη (ή από το πυκνότερο προς το αραιότερο διάλυμα). Το φαινόμενο αυτό λέγεται **αντίστροφη όσμωση**. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συγκέντρωση του διαλύματος, αφού απομακρύνεται μέρος από την ποσότητα του διαλύτη.

Το φαινόμενο της αντίστροφης όσμωσης βρίσκει εφαρμογή στην αφαλάτωση του θαλασσινού νερού (Σχ. 3) για την αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας : Η οσμωτική πίεση του νερού των ωκεανών είναι 27 Atm. Αν ασκηθεί αρκετά μεγάλη εξωτερική πίεση

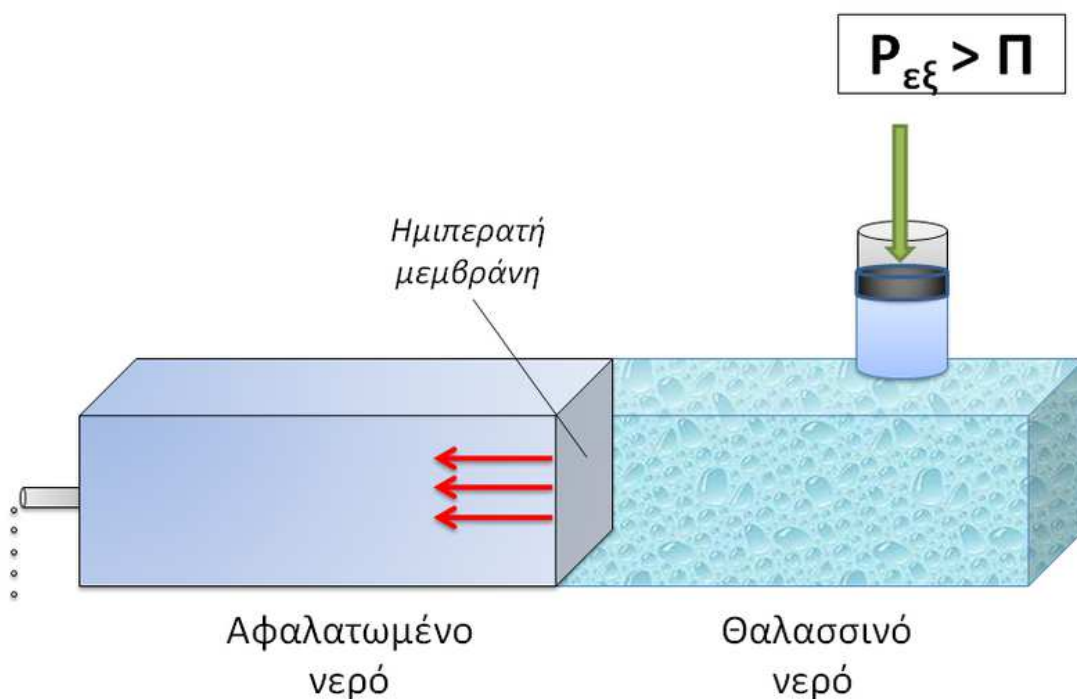
³¹ Μαρκαντωνάτος Γ., Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων: Αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα, Β' Έκδοση, Αθήνα 1990

(περίπου 70 Atm), η όσμωση μπορεί να σταματήσει και να αντιστραφεί, οπότε από τη μεμβράνη θα παρέχεται καθαρό νερό.

Οι ημιπερατές μεμβράνες κατασκευάζονται από οξική κυτταρίνη ή από πολυαμίδια με τη μορφή μικροσκοπικών διάτρητων ινών. Το θαλασσινό νερό τροφοδοσίας εισάγεται υπό πίεση στις ίνες και εξέρχεται αφαλατωμένο.

Η μεγαλύτερη εγκατάσταση αφαλάτωσης στον κόσμο βρίσκεται στη Σαουδική Αραβία όπου παράγεται το 50% του νερού που καταναλίσκεται, με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος αυτή έχει εξαπλωθεί και σε πολλές πόλεις των Η.Π.Α. Για παράδειγμα στην πόλη Σάντα Μπάρμπαρα από το 1992 λειτουργεί εγκατάσταση αντίστροφης όσμωσης για την παραγωγή 30400 m³ πόσιμου νερού τη μέρα.

Ανάλογες συσκευές, μικρής δυναμικότητας, είναι συχνά χειροκίνητες και χρησιμοποιούνται στα πλοία ή σε ορισμένες εγκαταστάσεις ξηράς π.χ. σε κάμπινγκ³².

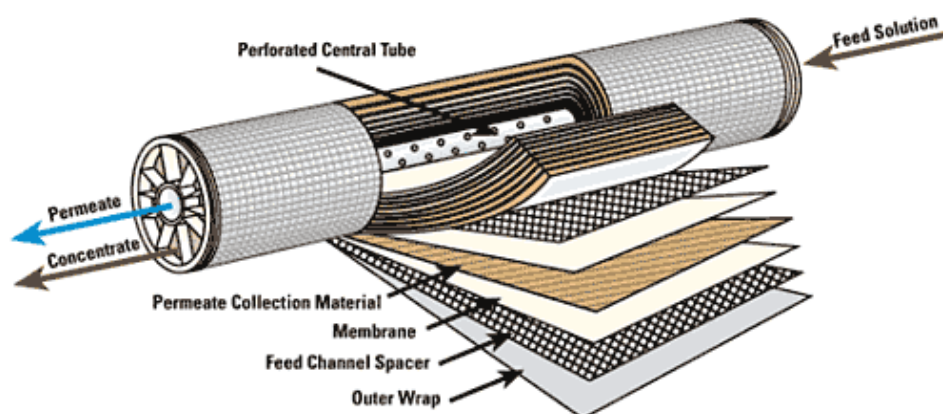


Σχήμα 3: Σχηματική διάταξη αρχής λειτουργίας της αντίστροφης όσμωσης

³² <http://el.wikipedia.org>

4.3 Μεμβράνες

Η μεμβράνη (Σχ.4) είναι μια περατή ή ημιπερατή φάση, συχνά ένα λεπτό πολυμερές ή άλλης φύσης υλικό, που περιορίζει την κίνηση ορισμένων συστατικών. Πρόκειται για «μια δομή, με πολύ μεγάλες πλευρικές διαστάσεις σε σχέση με το πάχος της και μέσω της οποίας, υπό την επίδραση διαφόρων κινητήριων δυνάμεων μπορεί να λάβει χώρα μεταφορά μάζας».



Σχήμα 4: Σχηματική τομή μεμβράνης

Ένας πιο γενικός ορισμός είναι ο εξής: «Μεμβράνη καλείται μια φάση ή ομάδα φάσεων κειμένη μεταξύ δυο διαφορετικών φάσεων, η οποία είναι φυσικώς ή/και χημικώς διακριτή από αυτές και η οποία, λόγω των ιδιοτήτων της και της εφαρμοζόμενης δύναμης πεδίου, μπορεί να ελέγξει τη μεταφορά μάζας μεταξύ αυτών των δυο φάσεων»

Πιο πρακτικά λοιπόν, είναι ένα υλικό διαμορφωμένο σε λεπτό στρώμα ή στοιβάδα, που παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο ρευστές φάσεις (μίγματα ή διαλύματα) και το οποίο είναι διαπερατό από τα συστατικά αυτών των δύο φάσεων. Όμως, επειδή κάθε συστατικό έχει διαφορετική δυνατότητα διέλευσης μέσω της μεμβράνης, μπορούμε να επιβάλλουμε, με τη βοήθεια κατάλληλης κινητήριας δύναμης (π.χ. πίεση) τη μετακίνηση υλικού από τη μία φάση προς την άλλη και έτσι, να πάρουμε διαφορετικές συστάσεις στην πλευρά προς την οποία γίνεται η κίνηση σε σχέση με την άλλη πλευρά. Δηλαδή, αυτή η επιπρόσθετη φάση συνιστά έναν φραγμό μεταξύ ενός ρεύματος τροφοδότησης προς διαχωρισμό και ενός ρεύματος προϊόντων. Η μεμβράνη ελέγχει τους σχετικούς ρυθμούς

μεταφοράς των συστατικών μέσω αυτής και χωρίζει την τροφοδοσία σε ένα ρεύμα εμπλουτισμένο σε συγκεκριμένα συστατικά και ένα χαμηλής συγκέντρωσης σε αυτά. Γι' αυτό, οι μεμβράνες χαρακτηρίζονται από μια εκλεκτικότητα ως προς τη διέλευση και μπορούν να χρησιμεύσουν σε διεργασίες διαχωρισμού μιγμάτων ή διαλυμάτων στα συστατικά τους. Η κινητήρια δύναμη για διαχωρισμό αερίων και ατμών είναι η διαφορά μερικής πίεσης διαμέσου της μεμβράνης, ενώ για υγρά είναι η διαφορά συγκέντρωσης.

Οι μεμβράνες, ανάλογα με το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένες, διακρίνονται σε ανόργανες και πολυμερικές. Οι πρώτες συνήθως αποτελούνται από κεραμικά υλικά ή ζεόλιθους (στερεά σώματα με πόρους πολύ συγκεκριμένων διαστάσεων που μπορούν να χρησιμεύσουν ως “μοριακά κόσκινα”), αν και δε λείπουν και περιπτώσεις κατάλληλα παρασκευασμένων μεταλλικών μεμβρανών. Οι ανόργανες μεμβράνες είναι μικροπορώδεις, δηλαδή η εκλεκτικότητά τους οφείλεται στην ύπαρξη πόρων με πολύ μικρές διαστάσεις που επιτρέπουν τη διέλευση μόνο σε σωματίδια με μέγεθος κάτω από ορισμένες διαστάσεις (μικρομόρια, μεγαλομόρια, κολλοειδή σωματίδια, ανάλογα με το μέγεθος πόρων της κάθε μεμβράνης). Επίσης, οι διαστάσεις, το σχήμα, η ευκαμψία ή δυσκαμψία και η μάζα των μορίων που μπορούν να διέλθουν μέσα από τους πόρους επηρεάζουν και την ταχύτητα διέλευσής τους, κάτι που εκφράζεται ποσοτικά ως μεγαλύτερος ή μικρότερος συντελεστής διάχυσης του αντίστοιχου συστατικού μέσω της μεμβράνης. Οι ανόργανες μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως στο διαχωρισμό αερίων μιγμάτων, και μάλιστα για συστατικά μικρού μοριακού βάρους, γιατί εκεί έχουμε μεγαλύτερους ρυθμούς διάχυσης αλλά και μεγαλύτερες διαφορές ως προς τη διαχυτότητα, πράγμα που καθιστά τη διεργασία πιο αποδοτική.

Πλεονεκτούν ως προς τη θερμική αντοχή και χημική σταθερότητα αλλά μειονεκτούν στο κόστος και στη μηχανική αντοχή. Ειδικά οι ζεόλιθοι με την ομοιόμορφη κατανομή των μοριακής κλίμακας πόρων τους θα μπορούσαν να είναι μια ιδανική λύση για τέτοιους διαχωρισμούς, πλην όμως αυτό ανάγεται στο δύσκολο τεχνικό πρόβλημα της κατασκευής ενός μακροσκοπικού μονοκρυστάλλου χωρίς δομικές ατέλειες.

Οι πολυμερικές μεμβράνες πλεονεκτούν εκεί όπου μειονεκτούν οι ανόργανες – και το αντίστροφο. Είναι κατάλληλες για διαχωρισμούς που λαμβάνουν χώρα σε πιο ήπιες συνθήκες, ιδίως όσον αφορά τη θερμοκρασία που δε μπορεί να ανεβεί σε πολύ υψηλά επίπεδα χωρίς να αποσυντεθεί το πολυμερικό υλικό. Μολονότι είναι δυνατό να σχηματιστούν μεμβράνες με πόρους διαφόρων διαστάσεων, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι λεγόμενες ασύμμετρες μη πορώδεις, πυκνές (dense) μεμβράνες. Ο χαρακτηρισμός τους ως ασύμμετρων οφείλεται στην ιδιόμορφη δομή τους από δύο στρώματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σε αυτές, υπάρχει ένα πολύ λεπτό στρώμα από ελαστομερές πολυμερές (με πάχος μικρότερο από 1μm) το οποίο δε διαθέτει πόρους, δηλαδή είναι μία συνεχής φάση. Αυτό το στρώμα είναι η καθ' αυτό μεμβράνη και είναι ενωμένο με ένα άλλο, παχύτερο πορώδες στρώμα, περισσότερο για λόγους μηχανικής αντοχής παρά για το ρόλο που παίζει στο διαχωρισμό. Το ελαστομερές πρέπει να είναι δικτυωμένο (cross-linked) αλλιώς είναι ρευστό και δε μπορεί να σταθεροποιηθεί. Η διέλευση των συστατικών προς διαχωρισμό εξαρτάται όχι μόνο από τη διάχυση των μορίων μέσω του συμπαγούς στρώματος της μεμβράνης αλλά και από τη διαλυτότητα αυτών μέσα στο πολυμερικό υλικό – πράγμα που συγκαθορίζει τη διακινούμενη ποσότητα. Γενικά, οι πυκνές, μη πορώδεις μεμβράνες έχουν πολύ μικρότερο συντελεστή διαπερατότητας από τις μικροπορώδεις, αλλά λόγω του πολύ μικρού πάχους τους, ο ρυθμός διερχόμενης ποσότητας ανά μονάδα εγκάρσιας επιφάνειας μπορεί να είναι πολύ μεγάλος.

Εκτός από τις ελαστομερείς υπάρχουν επίσης και μεμβράνες αποτελούμενες από υαλώδη πολυμερή των οποίων η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης είναι πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε αυτά, η διαχυτότητα παίζει πρωτεύοντα ρόλο, ενώ στα ελαστομερή υλικά, η διαλυτότητα είναι εξ ίσου, αν όχι περισσότερο σημαντική. Η ακαμψία που χαρακτηρίζει τη δομή των υαλωδών πολυμερών σε μοριακό επίπεδο τα καθιστά παρόμοια από αυτή την άποψη με τις ανόργανες μεμβράνες, αν και από την άποψη των στατικών χαρακτηριστικών μοιάζουν με τις ελαστομερείς μεμβράνες, γιατί πρόκειται για άμορφα υλικά. Έτσι, οι υαλώδεις πολυμερικές μεμβράνες θα βρουν εφαρμογή περισσότερο σε διαχωρισμούς αερίων μιγμάτων, κυρίως χαμηλού μοριακού βάρους, π.χ. για το διαχωρισμό του ατμοσφαιρικού αέρα σε

οξυγόνο και άζωτο. Τα ελαστομερή υλικά θα χρησιμεύσουν σε περιπτώσεις βαρύτερων συστατικών ή υγρών.

Ωστόσο, η διάκριση δεν είναι απόλυτη και σημαντικό ρόλο παίζει η χημική ομοιότητα μεταξύ πολυμερούς και διερχόμενων συστατικών.

Η τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων συνεχώς εξελίσσεται. Στα πλαίσια αυτά τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια νέα τεχνολογία επεξεργασίας λυμάτων, στηριζόμενη στην βασική μέθοδο της ενεργού ιλύος και στην δ्यूλιση³³.

Έτσι από το « πάντρεμα » αυτό, προέκυψε η μέθοδος MEMBRANE BIOREACTOR (MBR), που αποτελεί μέθοδο ενεργού ιλύος με πολύ έντονο χαρακτήρα βιοδιάσπασης της οργανικής ύλης σε συνδυασμό με δ्यूλιση (Μικροδ्यूλιση η Υπερδ्यूλιση) σε αντικατάσταση των Δεξαμενών Τελικής Καθίζησης.

Το χρησιμοποιούμενο μέσο είναι προφανώς οι μεμβράνες νέας τεχνολογίας.

Οι μεμβράνες αυτές έχουν σχετικά μεγάλο βαθμό διαπερατότητας με πόρους από 0,01μm ως 1,0 μm.

Στα συστήματα MBR διακρίνονται δυο είδη διατάξεων:

- i. στο εμβαπτιζόμενο MBR που οι μεμβράνες είναι βυθισμένες μέσα στο βιολογικό αντιδραστήρα και
- ii. στο εξωτερικό MBR που οι μεμβράνες είναι τοποθετημένες εκτός του αντιδραστήρα.

Με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνονται μεγάλοι βαθμοί επεξεργασίας ($B.O.D._5 < 5 \text{ mg/l}$), ενώ η απαιτούμενη έκταση είναι περίπου το 1/10 μιας κλασσικής μονάδος παρατεταμένου αερισμού.

Επίσης η πλεονάζουσα ιλύς είναι η ελάχιστη δυνατή και πλήρως σταθεροποιημένη.

Η όλη μονάδα τοποθετείται εντός οικίσκου προσαρμοσμένου στο περιβάλλον της περιοχής, γεγονός που καθιστά την μέθοδο αυτή πολύ ελκυστική για τουριστικές περιοχές με ακριβή κτήση γης.

³³ <http://el.wikipedia.org>

Το κόστος κατασκευής μιας τέτοιας μονάδος είναι περίπου ίδιο η κατά τι μικρότερο μιας αντίστοιχης μονάδος ενεργού ιλύος, ενώ το κόστος λειτουργίας/συντήρησης περίπου 5% ως 10% υψηλότερο αλλά με σαφείς τάσεις μείωσης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να αποτελέσει αυτοτελή επεξεργασία, μετά από κάποια ειδική απλή προεπεξεργασία, ή συμπλήρωμα επεξεργασίας σε υφιστάμενες μονάδες ως τριτογενής επεξεργασία³⁴.

5. ΜΕΘΟΔΟΣ MBR (MEMBRANE BIOREACTOR)³⁵

5.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα της επεξεργασίας λυμάτων σε τουριστικές περιοχές της χώρας μας είναι κυρίως ο απαιτούμενος χώρος, η αισθητική επίδραση στο άμεσο περιβάλλον και η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων. Η μέχρι τώρα σχετική τεχνολογία έχει λύσει το πρόβλημα της ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων αλλά με απαίτηση μεγάλης έκτασης και αύξησης του κόστους κατασκευής και κυρίως Λειτουργίας / Συντήρησης (Λ/Σ). Όμως το φλέγον πρόβλημα για μια τουριστική περιοχή είναι η απαίτηση μεγάλων εκτάσεων που χρειάζονται, για τα κλασσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, όπως είναι το σύστημα της ενεργού ιλύος. Πέραν τούτου, δεν πρέπει να αγνοηθεί και η παραμόρφωση της τουριστικής εικόνας που παρουσιάζει μια κλασσική μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Τα παραπάνω αποτελούν την κύρια αιτία της μη κοινωνικής αποδοχής μιας τέτοιας κλασσικής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, με αποτέλεσμα την χρονοβόρα εξεύρεση χώρου, που σε πολλές περιπτώσεις δεν έχει κατάληξη, η την απομακρυσμένη επιλογή χώρου, που απαιτεί σαφώς μεγαλύτερο κόστος κατασκευής και κυρίως Λ/Σ (αντλήσεις).

Το πρόβλημα διογκώνεται με την απαίτηση, για αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, καθ' όσον απαιτούνται περισσότεροι της μιας μονάδες επεξεργασίας λυμάτων για έναν εκτεταμένο Δήμο.

³⁴ Li X-Y., Wang X-M. (2006), Modelling of membrane fouling in a submerged membrane bioreactor, J. Membr. Sci.

³⁵ Li X-Y., Wang X-M. (2006), Modelling of membrane fouling in a submerged membrane bioreactor, J. Membr. Sci.

Για παράδειγμα, μια κλασσική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων για ισοδύναμους κατοίκους (PE) 10.000 απαιτεί έκταση περίπου 5 στρ., ενώ για PE=17.000 απαιτείται έκταση περίπου 8-9 στρ.

Δεδομένου δε ότι πολλές φορές οι παραπάνω εγκαταστάσεις επιδρούν αρνητικά στο τοπίο της περιοχής, η τοπική κοινωνία κατά κανόνα απορρίπτει τις κατά τα άλλα-λογικές-θέσεις τέτοιων μονάδων (μη κοινωνική αποδοχή). Αποτέλεσμα αυτού είναι η καθυστέρηση υλοποίησης μιας τέτοιας κλασσικής μονάδος, στην καλύτερη περίπτωση, ή η επιλογή πολύ απομακρυσμένου χώρου με ότι αυτό συνεπάγεται ή τέλος το πλήρες ναυάγιο για την αντιμετώπιση του προβλήματος της επεξεργασίας των λυμάτων.

Λύση στα παραπάνω προβλήματα δίνει η νέα τεχνολογία με χρήση μεμβρανών, όπως η μέθοδος MEMBRANE BIOREACTOR (MBR). Η μέθοδος MBR είναι κατ' ουσίαν συγκερασμός ενεργού ιλύος και δ्यूλωσης.

Σαν αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή απαιτεί πολύ μικρό χώρο, σε σύγκριση με την ενεργό ιλύ, δίνει πολύ καλύτερα ποιοτικά αποτελέσματα και μπορεί να «εγκλωβισθεί» σε κτιριακή εγκατάσταση έκτασης περίπου το 1/8-1/10 της απαιτούμενης για μια κλασσική μονάδα ενεργού ιλύος.

Στο παρελθόν δεν υπήρχαν συστήματα MBR και η τεχνολογία ήταν άγνωστη στην αγορά των μονάδων επεξεργασίας. Οι κύριοι λόγοι ήταν:

- Η μέθοδος δεν είχε δοκιμαστική εμπειρία
- Υψηλά κόστη κατασκευής και κυρίως λειτουργίας (Μεμβράνες-Ενέργεια).
- Απαίτηση για ειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας
- Άγνωστες οι απαιτήσεις λειτουργίας / συντήρησης
- Άγνωστος ο ρυθμός απόρριψης (αντικατάστασης) των μεμβρανών
- Μη απαίτηση υψηλών βαθμών απόδοσης.

5.2 Ανάλυση της μεθόδου

Η μέθοδος MBR είναι αρκετά διαδεδομένη στην Β. Αμερική και Ευρώπη ενώ στην Ασία η χρήση της αυξάνει αλματωδώς. Μέχρι τα μέσα του 2004, η WERF (Water Environment Research Foundation), αναφέρει πάνω από 1000 τέτοιες εγκαταστάσεις ανά την υφήλιο.

Η MBR λειτουργεί σαν μονάδα ενεργού ιλύος με ολικά αιωρούμενα στερεά (MLSS) της τάξης των 12 gr/m³ ως 20 gr/m³, και ηλικία λάσπης 30 ως 60 ημέρες, ελαχιστοποιώντας τον υδραυλικό χρόνο παραμονής και την πλεονάζουσα ιλύ που είναι πλήρως σταθεροποιημένη, ενώ οι δεξαμενές καθίζησης αντικαθίστανται από μονάδες δύλισης (μέσω μεμβρανών) με πόρους από 0,01μm ως 1μm και κατά μέσον όρο 0,4 μm.

Η επανακυκλοφορία της ενεργού ιλύος, (side-stream MBR), γίνεται με ταχείς ρυθμούς της τάξης των 5Q, σε αντίθεση με τα κλασσικά συστήματα ενεργού ιλύος που κυμαίνεται από 0,5Q ως 1,5Q. Η μεγάλη συγκέντρωση της βιομάζας στον βιολογικό αντιδραστήρα έχει ως συνέπεια την παντελή διάσπαση της οργανικής ύλης (ελάχιστη πλεονάζουσα ιλύς) και την νιτροποίηση μέσα σε περίπου 3 ώρες κατά μέσον όρο.

Το πρόβλημα του «μπουκώματος» των μεμβρανών χρήζει μεγάλης προσοχής και αντιμετωπίζεται τόσο με την σημερινή ποιότητα των μεμβρανών, όσο και με την πρέπουσα προεπεξεργασία των λυμάτων.

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

Δεδομένου ότι η ιλύς επαναφέρεται συνεχώς στον βιοαντιδραστήρα, που λειτουργεί κάτω από συνθήκες έντονης βιοδιάσπασης 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 (sMBR) είτε με εξωτερικές μεμβράνες (side-stream MBR).

5.3 Χρήση

Η μέθοδος MBR είναι μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων τελευταίας τεχνολογίας και αποτελεί μια έξυπνη, προσαρμοσμένη στο περιβάλλον και ορθή λύση στο πρόβλημα της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων ιδίως σε τουριστικές περιοχές, όπου η εξεύρεση χώρου επεξεργασίας των λυμάτων που να έχει και την κοινωνική αποδοχή είναι πολύ δύσκολη. Η μέθοδος MBR δίνει άριστα αποτελέσματα, ενώ επιτυγχάνει και πλήρη νιτροποίηση. Η μέθοδος MBR λειτουργεί άριστα και ως αποκεντρωμένο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων με μεγάλη ευελιξία ανάλογα με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό. Η επιλογή της μεθόδου MBR στις περιπτώσεις αυτές είναι κατά κανόνα μονόδρομος, ενώ ταυτόχρονα δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σ' ό,τι αφορά την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων από μια αντίστοιχη μονάδα ενεργού ιλύος (Παρατεταμένος Αερισμός).

Η αισθητική της περιοχής μιας τέτοιας μονάδος MBR, δεν επηρεάζεται αρνητικά, ενώ η εν λόγω μονάδα μπορεί να εγκατασταθεί εντός κτιρίου με οικιστικά χαρακτηριστικά εκείνα της γύρω περιοχής και έτσι να προσαρμοσθεί άριστα στο περιβάλλον. Η μέθοδος αυτή επιλέγεται με ταχείς ρυθμούς σε πολλά μέρη της Ευρώπης, Β. Αμερικής και Ασίας ιδίως σε τουριστικές περιοχές, και είναι ιδανική για τα τουριστικά νησιά μας.

Το κόστος κατασκευής μιας τυπικής μονάδος MBR είναι μικρότερο μιας αντιστοίχου μονάδος ενεργού ιλύος (Παρατεταμένος Αερισμός), ενώ το κόστος Λ/Σ κατά τι υψηλότερο, (5% ως 10%), με σαφείς τάσεις μείωσης.

5.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα μονάδας

Πλεονεκτήματα:

1. Υψηλής ποιότητας εκροή, ελεύθερη στερεών,
2. Δυνατότητα απολύμανσης εκροής χωρίς χρήση χημικών,
3. Στους Βιοαντιδραστήρες Μembranών λαμβάνει χώρα συνδυασμένη απομάκρυνση COD, στερεών και θρεπτικών σε μία ενιαία μονάδα με αλληπάλληλα στάδια αερόβιων – αναερόβιων –

ανοξικών σταδίων με μεγάλες δυνατότητες ευελιξίας στον προγραμματισμό λειτουργίας του συστήματος,

4. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών επιτυγχάνονται υψηλές συγκεντρώσεις βιομάζας στο μικτό υγρό που σύμφωνα με την βιβλιογραφία μπορεί να φτάσουν τις 25,000 mg/L (μίγματος σε αιωρούμενα στερεα, MLSS) στην περίπτωση επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, ενώ στην περίπτωση εφαρμογής τέτοιων συστημάτων στην επεξεργασία βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, οι συγκεντρώσεις της βιομάζας ανέρχεται και στις 80,000 mg/L MLSS. Συνεπάγεται λοιπόν πως εξαιτίας των αυξημένων συγκεντρώσεων βιομάζας στο μικτό υγρό λαμβάνει χώρα επιτάχυνση των μηχανισμών βιοαποδόμησης των ρυπαντικών φορτίων του ρεύματος εισόδου.
5. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών έχουμε την δυνατότητα επεξεργασίας αποβλήτων υψηλής οργανικής φόρτισης εξαιτίας των διαφορετικών συνθηκών που μπορούμε να εφαρμόσουμε στον λειτουργικό προγραμματισμό των συστημάτων MBR αλλά και εξαιτίας των υψηλών συγκεντρώσεων βιομάζας που αναπτύσσονται σε τέτοια συστήματα, όπως προαναφέρθηκε.
6. Οι Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών δύναται να λειτουργήσουν σε μικρούς υδραυλικούς χρόνους παραμονής (Hydraulic Retention Time – HRT) και μεγάλες ηλικίες λάσπης (Sludge Retention Time –SRT), χωρίς κίνδυνο έκπλυσης της βιομάζας, Το γεγονός αυτό συνεπάγεται την δυνατότητα ανεξάρτητου ελέγχου του υδραυλικού χρόνου παραμονής και της ηλικίας της ενεργού ιλύος.
7. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών λαμβάνει χώρα χαμηλή ή μηδενική παραγωγή περίσσειας ιλύος.
8. Ανεπηρέαστη λειτουργία από προβλήματα διόγκωσης της λάσπης.
9. Μειωμένες απαιτήσεις χώρου.
10. Ταχεία εκκίνηση (start-up).
11. Δυνατότητα τοποθέτησης μεμβρανών σε προϋπάρχουσες εγκαταστάσεις (retrofitting).
12. Υψηλής ποιότητας εκροή, ελεύθερη στερεών

Μειονεκτήματα

1. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών προκύπτουν περιορισμοί λόγω ανεπαρκούς αερισμού στον τρόπο λειτουργίας τους, εξαιτίας

των μεγάλων συγκεντρώσεων MLSS που αναπτύσσονται με αποτέλεσμα ο παροχτευόμενος αέρας να καταναλώνεται κατά βάση προς κάλυψη αναγκών κυτταρικής συντήρησης και παρά την αερόβια βιοαποδόμηση του ρυπαντικού φορτίου. Επίσης προκύπτουν λειτουργικοί περιορισμοί λόγω προβληματικής ανάμιξης στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται διακριτά στρώματα ενεργού ιλύος, η πυκνότητα των οποίων μειώνεται από την βάση του αντιδραστήρα προς της ελεύθερη επιφάνεια του.

2. Στους Βιοαντιδραστήρες Μembrανών ένα σημαντικό πρόβλημα που εντοπίζεται είναι η ρύπανση των μεμβρανών λόγω των επικαθήσεων βιομάζας και άλλων ανόργανων συστατικών στην ενεργό επιφάνεια αυτών, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η ροή διηθήματος μέσω των πόρων της μεμβράνης.

Οι Βιοαντιδραστήρες Μembrανών χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος αγοράς και αντικατάστασης των μεμβρανών. Το κόστος των απαιτούμενων μεμβρανών είναι κατά προσέγγιση ανάλογο του μεγέθους της εγκατάστασης, σε αντίθεση με τις συμβατικές μονάδες επεξεργασίας που επιδεικνύουν μία φθίνουσα οικονομία κλίμακας. Το γεγονός αυτό, θέτει ένα σαφή περιορισμό στο μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος μιας οικονομικά βιώσιμης μονάδας MBR.

6. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ³⁶

6.1 Οπτικές μέθοδοι

6.1.1 Θολερομετρία

Η θολερότητα, είναι ένα μέτρο των χαρακτηριστικών διάδοσης του φωτός μέσω του νερού.

Είναι ακόμη ένα ενδεικτικό τεστ της ποιότητας αποβλήτων ως προς τα αιωρούμενα συστατικά και σε κολλοειδής ενώσεις.

³⁶ Διπλωματική εργασία σχολής Χ.Μ. ΕΜΠ στις αναλυτικές μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού, της Θεώνης Αναγνωστοπούλου

Η μέτρηση της θολερότητας βασίζεται στην σύγκριση διαθλασιμότητας ή απορρόφησης φωτός σε σχέση μ' ένα πρότυπο διάλυμα. Κolloειδή συστατικά διαθλούν ή απορροφούν φως χαρακτηριστικού μήκους κύματος και δεν επιτρέπουν την διαπέραση. Γενικά δεν υπάρχει καμία άμεση σχέση μεταξύ θολερότητας και συγκέντρωσης αιωρούμενων συστατικών σ' ένα ακατέργαστο λύμα.

Η νεφελομετρία και η θολερομετρία βασίζονται στο σκεδασμό του φωτός από τα σωματίδια κolloειδών συστημάτων. Η εξάρτηση της εντάσεως σκεδασμού του φωτός από τον αριθμό των σωματιδίων που υπάρχουν σε ορισμένο όγκο κolloειδούς συστήματος είναι γραμμική, σε αυστηρά καθορισμένες πειραματικές συνθήκες

Η νεφελομετρία ή αλλιώς νεφελομετρική μέθοδος είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την μέτρηση της θολερότητας. Αποτελεί μια από της πλέον εξελιγμένες μεθόδους, η οποία διακρίνεται για την ακρίβειά της στον τρόπο προσδιορισμού θολερότητας σε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές.

Νεφελόμετρα ή αλλιώς θολερόμετρα (Σχ.5) ονομάζονται τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της θολερότητας σε δείγματα υγρών.



Σχήμα 5: Θολερόμετρο turbiquant 1100 R.

6.1.2 Ανακλασιμετρία (Reflectometer)

Το ανακλασίμετρο (Σχ.6) χρησιμεύει στον ποσοτικό προσδιορισμό διαφορετικών ουσιών (Αλουμίνιο, αμμώνιο, άργυρος, ασβέστιο, ασκορβικό οξύ, γλυκόζη, θειώδη, κάλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, μολυβδαίνιο, μόλυβδος, νικέλιο, νιτρικά, νιτρώδη, σίδηρος, υπεροξείδια, φωσφορικά, χαλκός, χλώριο, χρωμικά, ψευδάργυρος, κ.λ.π.).



Σχήμα 6: Ανακλασίμετρο τύπου RQflex plus 10 της Merck.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του είναι η αποθήκευση των δεδομένων από παλαιότερες μετρήσεις, ακόμα και η εξαγωγή του μέσου όρου τους, προσδίδοντας με αυτό τον τρόπο μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό εξαιτίας της τεχνικής της «οπτικής διπλής ακτίνας», η οποία εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε παρτίδα και επιτυγχάνει τη μέτρηση δυο ζωνών αντίδρασης.

6.1.3 Φασματομετρία

Η φασματομετρία υπερύθρου αποτελεί ένα σημαντικό και εύχρηστο εργαλείο για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό πολλών ουσιών. Ειδικότερα, η φασματομετρία απορρόφησης και ανάκλασης στη μέση υπέρυθη περιοχή βρίσκει εφαρμογή στη μελέτη της δομής μοριακών ενώσεων και ιδιαίτερα οργανικών ενώσεων και ουσιών βιοχημικού ενδιαφέροντος.

Διάφοροι κατασκευαστές οργάνων προσφέρουν σήμερα μη καταγραφικά φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης, χρήσιμα για μετρήσεις στην υπεριώδη και στην ορατή περιοχή. Η κατώτερη χρήσιμη περιοχή μήκους κύματος για τα όργανα αυτά κυμαίνεται από 190 έως 210 nm και η ανώτερη από 800 έως 1000 nm. Όλα διαθέτουν εναλλασσόμενες λυχνίες βολφραμίου και υδρογόνου ή δευτερίου. Τα περισσότερα διαθέτουν φωτοπολλαπλασιαστές ως μεταλλάκτες και μονοχρωμάτορες για διασπορά και επιλογή της ακτινοβολίας. Μερικά από τα όργανα είναι εξοπλισμένα με ψηφιακά συστήματα ανάγνωσης και άλλα έχουν μεγάλα αναλογικά όργανα βελόνας. (Σχ. 7, Σχ.8)

Τυπικές περιοχές εύρους φασματικής ζώνης είναι 2 έως 8 nm και αναφέρεται ακρίβεια επιλογής μήκους κύματος +/- 0,5 έως +/- 2 nm. Στα πλεονεκτήματα των οργάνων απλής δέσμης περιλαμβάνεται η ισχυρότερη ακτινοβολία, ο καλύτερος λόγος σήματος-προς-θόρυβο και οι απλοί και εύχρηστοι χώροι τοποθέτησης των δειγμάτων. Αντίθετα, η διαδικασία καταγραφής του σήματος του μεταλλάκτη για την κυψελίδα αναφοράς και στην συνέχεια και για την κυψελίδα δείγματος (ώστε στη συνέχεια να υπολογιστούν οι απορροφήσεις ή οι διαπερατότητες) δεν είναι ικανοποιητική, λόγω της ολίσθησης και του θορύβου flicker της πηγής και του μεταλλάκτη.



Σχήμα 7: Φασματοφωτόμετρο DR 2010 HACK



Σχήμα 8: Φασματοφotόμετρο DR 2800 HACK

6.2 Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι

6.2.1 Αυτόματοι τιτλοδότες

Η χρήση της αυτόματης τιτλοδότησης διαλυμάτων, όξινα ή βασικά, αποτελεί μια μέθοδο με πολλά πλεονεκτήματα. Με την εφαρμογή του αυτόματου τιτλοδότη (Σχ. 9) πετυχαίνουμε γρηγορότερες αναλύσεις με χαρακτηριστική ακρίβεια και ιδιαίτερη επαναληψιμότητα. Αποτελείται από μία αυτόματη προχοΐδα με την οποία γίνεται η εισαγωγή του πρότυπου διαλύματος. Η ροή του γίνεται στάγδην με σταθερό ρυθμό. Ακόμα, η συσκευή διαθέτει έναν ειδικό αισθητήρα που καταλήγει στην φιάλη όπου βρίσκεται το διάλυμα ώστε να γίνεται έλεγχος της αλλαγής των τιμών pH του διαλύματος μετά την εισαγωγή πρότυπου διαλύματος. Η τιτλοδότηση συνεχίζεται αυτόματα μέχρι την μεταβολή του χρώματος του διαλύματος, λόγω του δείκτη. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται εύκολα και με ακρίβεια το τελικό σημείο και γνωρίζουμε πόση ποσότητα πρότυπου διαλύματος απαιτήθηκε.



Σχήμα 9: Αυτόματος τιτλοδότης ORION

Ο αυτόματος τιτλοδότης αποτελείται από το μηχανικό το ηλεκτρονικό μέρος και τον εκτυπωτή.

Με τον ίδιο αυτόματο τιτλοδότη μπορεί να γίνει και μέτρηση των χλωριόντων με την χρήση ηλεκτροδίου REDOX. Ο τιτλοδότης μας θα είναι νιτρικός άργυρος (AgNO_3) πλέον και κατά την διάρκεια της τιτλοδότησης θα αρχίσει να θολώνει το διάλυμά μας το οποίο επιβεβαιώνει την ύπαρξη χλωριόντων .

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροδίου REDOX (σχ. 10) είναι:

- Μήκος Ηλεκτροδίου : 120 mm
- Διάμετρος Ηλεκτροδίου : 12 mm
- Υλικό σώματος : polysulfone
- Εύρος θερμοκρασίας : 0 - 80 C°
- Τύπος καλωδίου : 2 m coaxial
- Τύπος σύνδεσης : BNC



Σχήμα 10: Ηλεκτρόδιο REDOX

6.3 Ειδικές μέθοδοι

6.3.1 Εισαγωγή

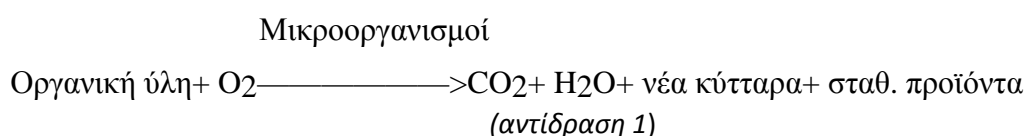
Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους ποιότητας του νερού είναι το ποσό του διαλελυμένου σε αυτό οξυγόνου DO (Dissolved Oxygen). Η μέγιστη συγκέντρωση (κορεσμού) του διαλελυμένου οξυγόνου στο νερό είναι μικρή, της τάξης των 8-15 mg/l, και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την αλατότητα του νερού. Οι ελάχιστες ποσότητες που απαιτούνται από ένα υγιή πληθυσμό ψαριών μπορεί να είναι υψηλές, της τάξης των 5-8 mg/l, ή και χαμηλότερες, της τάξης των 3 mg/l.

Η απαίτηση σε οξυγόνο μπορεί να μετρηθεί και εκφράζεται με διάφορους τρόπους. Οι σημαντικότεροι και ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι βασίζονται στη μέτρηση του **BOD** και του **COD**. Η **χημική απαίτηση οξυγόνου** ή το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand, COD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη χημική οξείδωση των αποβλήτων. Η **βιοχημική απαίτηση οξυγόνου** ή το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand, BOD) είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από μικροοργανισμούς παρακειμένου να αποικοδομήσουν βιολογικά τα απόβλητα.

6.3.2 Βιοχημικά απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)

Όταν βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη απορρίπτεται στο νερό, οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο απόβλητο, και ειδικότερα τα βακτήρια, την αποικοδομούν σε απλούστερα οργανικά και ανόργανα συστατικά. Όταν η αποσύνθεση αυτή της οργανικής ύλης λαμβάνει χώρα υπό αερόβιες συνθήκες, δηλαδή παρουσία οξυγόνου, τα προϊόντα της αποικοδόμησης είναι αβλαβή και σταθερά όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τα θειικά (SO₄), τα φωσφορικά (PO₄) και τα νιτρικά (NO₃).

Μία πλουστευμένη αναπαράσταση αερόβιας αποσύνθεσης δίνεται από την αντίδραση (1):



Όταν το διαθέσιμο οξυγόνο είναι ανεπαρκές, λαμβάνει χώρα αναερόβια αποσύνθεση και γίνεται από εντελώς διαφορετικούς μικροοργανισμούς. Αυτοί παράγουν τελικά προϊόντα που είναι επιβλαβή και ανεπιθύμητα, όπως το υδρόθειο (H_2S), η αμμωνία (NH_3) και το μεθάνιο (CH_4).

Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για να οξειδώσουν αερόβια τα οργανικά απόβλητα, όπως ήδη αναφέρθηκε, ονομάζεται **βιοχημική απαίτηση οξυγόνου** ή **βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο BOD**. Το BOD συνήθως εκφράζεται σε χιλιοστογραμμάρια απαιτούμενου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτου (mg/l) ή σε ισοδύναμες μονάδες: γραμμάρια ανά κυβικό μέτρο (g/m³).

Η ολική ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για τη βιοαποικοδόμηση είναι μία σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση των επιπτώσεων που θα έχει μία εκροή αποβλήτων σε ένα τελικό υδάτινο αποδέκτη.

Η πρακτική που υιοθετήθηκε είναι να μετρείται και να αναφέρεται ως αποτέλεσμα η απαίτηση οξυγόνου κατά τη διάρκεια μίας περιόδου 5 ημερών, αν και η τελική απαίτηση σε οξυγόνο είναι αρκετά μεγαλύτερη. Το BOD-πέντε ημερών ή BOD₅, είναι η συνολική ποσότητα οξυγόνου που καταναλώνεται από τους μικροοργανισμούς κατά τις πέντε πρώτες ημέρες της βιοαποικοδόμησης.

Μέθοδοι μέτρησης του BOD

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι μέτρησης του BOD ενός διαλύματος. Η κλασική **μέθοδος των Αραιώσεων** και η συντομότερη **Μανομετρική Μέθοδος**.

Η κλασική **Μέθοδος των Αραιώσεων** (Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, AWWA, 1990) χρησιμοποιεί μια μεγάλη σειρά δειγμάτων με διαφορετικές αραιώσεις το κάθε ένα. Στο κάθε δείγμα, μετά από 5 ημέρες, μετράται η κατανάλωση του διαλυμένου οξυγόνου στοχεύοντας να επιτευχθεί η αραιώση που θα επιτρέψει κατανάλωση μέχρι 80% - 90% του οξυγόνου που υπήρχε διαλελυμένο στο διάλυμα αρχικά.

Η **Μανομετρική μέθοδος** αντιθέτως, έχει μεγάλη ευελιξία διότι χρησιμοποιεί όχι μόνο το οξυγόνο που υπάρχει διαλελυμένο στο δείγμα αλλά και αυτό που υπάρχει στον αέρα πάνω από το δείγμα, μέσα στη

φιάλη μέτρησης (21% v/v οξυγόνο). Η κατανάλωση του οξυγόνου μετράται μέσω της μείωσης της μερικής πίεσεως του οξυγόνου στο εσωτερικό του σφραγισμένου χώρου της μέτρησης κατά τη διάρκεια των 5 ημερών που διαρκεί η μέτρηση. Η μείωση αυτή αντανακλάται και στη συνολική πίεση των αερίων μέσα στη φιάλη της συσκευής μέτρησης. Για να αποφευχθεί η επίδραση του παραγόμενου CO₂ (αντίδραση (1)) στη συνολική μανομετρική πίεση του χώρου της φιάλης, η πειραματική διάταξη προβλέπει την ύπαρξη κρυστάλλων LiOH οι οποίοι απορροφούν μέσω χημικής αντιδράσεως το παραγόμενο CO₂

6.3.3 Χημικά απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)

Το COD είναι μία μετρήσιμη ποσότητα η οποία δεν εξαρτάται ούτε από την ικανότητα βιοαποικοδόμησης των μικροοργανισμών ούτε από την γνώση της χημικής σύστασης και δομής των μορίων που υπάρχουν σε ένα απόβλητο. Κατά τη μέτρηση του COD, χρησιμοποιείται ένα ισχυρό οξειδωτικό αντιδραστήριο για να οξειδώσει ποσοτικά την οργανική ύλη. Η μέθοδος μέτρησης του COD είναι αρκετά γρηγορότερη από αυτήν του BOD και διαρκεί μόνο λίγες ώρες

Η τιμή του COD ενός αποβλήτου είναι πάντα μεγαλύτερη από αυτήν του BOD. Στην περίπτωση που το σύνολο των ενώσεων του αποβλήτου είναι βιοαποικοδομήσιμες, το COD αντιπροσωπεύει την τελική απαίτηση του αποβλήτου σε οξυγόνο και παρουσιάζει ελαφρά μεγαλύτερη τιμή από αυτήν που αντιστοιχεί στο BOD. Η διαφορά COD-BOD δίνει μία καλή εκτίμηση του μη βιοαποικοδομήσιμου οργανικού φορτίου των αποβλήτων.

Το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Chemical Oxygen Demand COD) προσδιορίζεται, σε mg/L ως τα mg του καταναλισκόμενου οξυγόνου ανά λίτρο δείγματος.

Οι μέθοδοι προσδιορισμού COD περιλαμβάνουν δύο στάδια:

2. της διαδικασίας οξείδωσης της οργανικής ύλης,
3. της εκτέλεσης του προσδιορισμού.

ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ

Για την πλήρη οξείδωση των οργανικών ουσιών που περιέχονται στο δείγμα, χρησιμοποιείται ένα ισχυρά οξειδωτικό αντιδραστήριο: το διχρωμικό κάλιο. Τα οξειδώσιμα οργανικά συστατικά του δείγματος αντιδρούν, ανάγοντας το διχρωμικό ιόν ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) σε χρωμικό (Cr^{3+}).

Η οξείδωση γίνεται υπό θέρμανση (σε κατάλληλη συσκευή στους $150\text{ }^\circ\text{C}$, επί δύο ώρες) παρουσία θειικού οξέος, καταλύτη συνήθως αργύρου και θειικού υδραργύρου. Η προσθήκη θειικού υδραργύρου δεσμεύει τα χλωριόντα που τυχόν υπάρχουν στο δείγμα .

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ COD

Υπάρχουν δύο μέθοδοι προσδιορισμού που μπορεί να χρησιμοποιηθούν μετά την οξείδωση:

Χρωματομετρική - φασματοφωτομετρική: Με αυτήν προσδιορίζεται η ποσότητα των ιόντων Cr^{6+} που απομένουν στο διάλυμα μετά την οξείδωση της οργανικής ύλης, φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 420 nm . Γνωρίζοντας την αρχική τους ποσότητα και αυτήν που απομένει στο διάλυμα, υπολογίζεται έμμεσα το COD που αντιστοιχεί στο δείγμα, σε mg/L . Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε δείγματα που το αναμενόμενο COD δεν είναι πολύ υψηλό ($0\text{-}150\text{ mg/L}$). Για μεγαλύτερες τιμές COD, (έως 15000 mg/L) κατά την εκτέλεση της χρωματομετρικής μεθόδου, προσδιορίζεται η ποσότητα του παραγομένου Cr^{3+} . Στην περίπτωση αυτή, ο προσδιορισμός εκτελείται σε μήκος κύματος 620 nm .

6.3.4 Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

Η μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα (Total Organic Carbon) είναι ενδεικτική για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων της οργανικής ύλης που ενδεχομένως υπάρχουν στο νερό, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντική κατά τη διαδικασία παραγωγής πόσιμου νερού. Συνεπώς αποτελεί και ένα τρόπο εκτίμησης της ποιότητας των υδάτων.

Η μέτρηση της συγκέντρωσης του ολικού οργανικού άνθρακα πραγματοποιείται με τη βοήθεια του ανακλασιμέτρου (σχ. 11).

B ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΙΛΟΤΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ MBR

7.1 Εισαγωγή

Η μονάδα αφορά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων εργοστασίου ζαχαροπλαστικής με την μέθοδο MBR.

Τα **υγρά απόβλητα** από τα διάφορα στάδια της παραγωγής, μαζί με τα διάφορα νερά (πλυσίματα), οδηγούνται μέσω του αποχετευτικού δικτύου της μονάδας σε **φρεάτιο συλλογής**. Από εκεί, τα απόβλητα οδηγούνται στη μονάδα του **βιολογικού καθαρισμού** όπου υπόκεινται σε στάδιο προεπεξεργασίας και σε δευτεροβάθμια επεξεργασία με μονάδα MBR.

Συνοπτικά η μονάδα απαρτίζεται από τα παρακάτω στάδια:

Προεπεξεργασία:

- **Δεξαμενή εξισορρόπησης – ομογενοποίησης** με κατάλληλη αντλία ανύψωσης και εξοπλισμό για την αρχική ρύθμιση του pH. Στη δεξαμενή αυτή εξομαλύνονται τα υδραυλικά φορτία των αποβλήτων της μονάδας και ομογενοποιούνται τα απόβλητα ώστε η σύστασή τους να είναι ίδια σε όλο τον όγκο της δεξαμενής.
- **Δεξαμενή DAF (Dissolved AirFlotation)**, για την απομάκρυνση των λιπών και σημαντικού μέρους των αιωρούμενων στερεών και του οργανικού φορτίου μέσω επίπλευσης με διαλελυμένο αέρα.

Δευτεροβάθμια επεξεργασία

- **Δεύτερη βαθμίδα βιολογικής επεξεργασίας** αποτελούμενο από **δεξαμενή αερισμού και MBR**, απ' όπου μέσω υπερδιήθησης με τη βοήθεια των μεμβρανών εξάγονται τα επεξεργασμένα απόβλητα.

- **Δεξαμενή Συγκέντρωσης Καθαρών** όπου τα επεξεργασμένα λύματα θα διατίθενται σύμφωνα με την περιβαλλοντική αδειοδότηση της μονάδας.

7.2 Στάδιο Προεπεξεργασίας

Από την παραγωγή τα υγρά απόβλητα οδηγούνται στη **δεξαμενή εξισορρόπησης**. (σχ. 12)

Οι στόχοι της δεξαμενής αυτής είναι:

- Εξομάλυνση της διακύμανσης της συγκέντρωσης του οργανικού φορτίου και των τοξικών για την αποφυγή υπερφόρτισης ή παρεμπόδισης των κατάντη μονάδων βιολογικής επεξεργασίας.
- Αδρομερής ρύθμιση pH
- Εξομάλυνση της διακύμανσης της παροχής για την αποφυγή υπερφόρτισης των κατάντη μονάδων φυσικοχημικής επεξεργασίας.
- Συνεχής τροφοδοσία των μονάδων βιολογικής επεξεργασίας και κατά τις ώρες που δεν λειτουργεί η βιομηχανία.



Σχήμα 12: Δεξαμενή εξισορρόπησης πρωτογενών λυμάτων πριν την είσοδο στη βιομηχανική μονάδα DAF.

(1) Δεξαμενή εξισορρόπησης, (2) Δυο μονάδες χημικών.

Από την δεξαμενή εξισορρόπησης τα απόβλητα μέσω σωληνώσεων οδηγούνται στην μονάδα επίπλευσης με διαλυμένο αέρα (Dissolved AirFlotation, DAF). (Σχ. 13)



Σχήμα 13: Μονάδα DAF βιομηχανικής μονάδας επεξεργασίας λυμάτων ζαχαροπλαστικής, με το πιεστικό.

- 1: Δοχείο πιεστικό κορεσμένο σε αέρα επεξεργασμένων αποβλήτων
- 2: Δεξαμενή DAF
- 3: Κομπρεσέρ αέρα

Πριν την είσοδο στη μονάδα DAF, δοσομετρούνται κροκιδωτικά από δύο μονάδες χημικών, (σχ.12) με σκοπό την επίτευξη συσσωματωμάτων. Τα κροκιδωτικά που χρησιμοποιούνται για επεξεργασία αποβλήτων της συγκεκριμένης βιομηχανίας είναι χλωριούχο πολυαργίλιο (PAC), καθώς και ένας τύπος ανιονικού πολυηλεκτρολύτη. Η προετοιμασία και ανάμιξη των κροκιδωτικών πραγματοποιείται σε ξεχωριστά δοχεία υπό ταχεία ανάδευση. Οι αναδευτήρες είναι κτενοειδούς μορφής, ισχύος 0,18 kW.

Για την παρασκευή των κροκιδωτικών χρησιμοποιείται δοσομετρική αντλία μέγιστης παροχής 16 lt/h.

Στη συνέχεια, τα απόβλητα αναμιγνύονται με νερό κορεσμένο σε αέρα. Το νερό το οποίο μπορεί να είναι είτε καθαρό, είτε να προέρχεται από την εκροή της μονάδας (ανακυκλοφορία), που εισάγεται σε ειδικά σχεδιασμένο πιεστικό δοχείο όγκου 230 lt (σχ.13) κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304.

Έπειτα μέσω αεροσυμπιεστή (5 bars), δημιουργείται το μίγμα αέρα νερού μέσα στο πιεστικό δοχείο με αποτέλεσμα τον κορεσμό του υπό πίεση νερού με αέρα. Το κορεσμένο με αέρα νερό, αναμιγνύεται με τα απόβλητα, απελευθερώνοντας φυσαλίδες αέρα οι οποίες συμπαρασύρουν τα σχηματισμένα συσσωματώματα (φλόκους) στην επιφάνεια του υγρού, δημιουργώντας ένα στρώμα λάσπης υψηλής συγκέντρωσης σε λίπη και στερεά. Παράλληλα, τα στερεά με βάρος μεγαλύτερο από αυτό του νερού καθιζάνουν στον πυθμένα της μονάδας, όπου και αφαιρούνται μέσω ειδικά διαμορφωμένης διάταξης. Το επιπλέον στρώμα λάσπης, αφαιρείται με τη βοήθεια ενός βραδέως κινούμενου επιφανειακού ξέστρου, (σχ.14) με ισχύ κινητήρα 0,5 HP, το οποίο διαθέτει πέντε ανοξείδωτες λεπίδες και κατόπιν οδηγείται στη δεξαμενή συγκέντρωσης λάσπης μέσω του καναλιού ξαφρισμάτων (σχ. 15). Από εκεί οδηγούνται μέσω κοχλιωτής αντλίας σε διάταξη σακκόφιλτρων, και τα στραγγίδια που προκύπτουν οδηγούνται στην δεξαμενή εξισορρόπησης.

Τα επεξεργασμένα απόβλητα, οδηγούνται σε ενδιάμεση δεξαμενή επεξεργασμένων και από εκεί ένα μέρος τους (30% feedwater), μέσω αντλίας ανακυκλοφορίας ισχύος 5,5 HP διοχετεύεται στο πιεστικό δοχείο, και το υπόλοιπο 70 % οδηγείται στο επόμενο Β' στάδιο της επεξεργασίας, προς τη δεξαμενή αερισμού και τη μονάδα MBR.

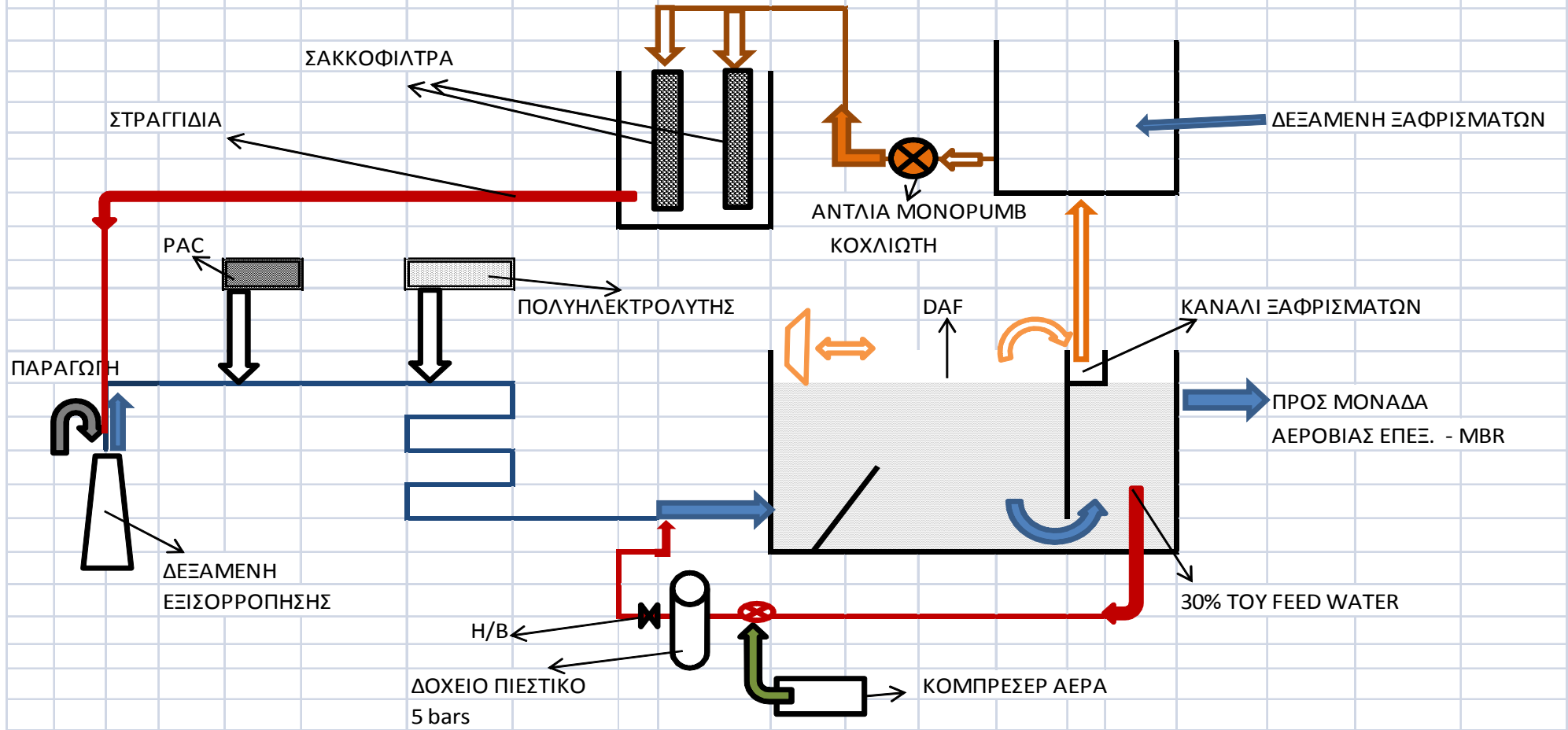


*Σχήμα 14: Επιφανειακό ζέστρο μονάδας DAF βιομηχανικής μονάδας
(1) Επιφανειακό ζέστρο , (2) κανάλι ξαφρισμάτων , (3) λύματα
για τροφοδοσία προς αερόβια επεξεργασία- MBR*



*Σχήμα 15: Κανάλι ξαφρισμάτων το οποίο βρίσκεται μετά επιφανειακό
ζέστρο της μονάδας DAF.*

ΠΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΥΜΑΤΟΣ



Διάγραμμα ροής προπεξεργασίας λυμάτων - DAF

7.3 Αερόβια επεξεργασία - MBR

Τα υγρά απόβλητα μετά την δεξαμενή DAF οδηγούνται στην δεξαμενή απονιτροποίησης (σχ.16) , όπου γίνεται ελαφρά ανάδευση, απουσία O_2 προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες διεργασίες για την αποβολή του N_2 . Τα απονιτροποιητικά βακτήρια αναπτύσσονται ταχύτατα χρησιμοποιώντας σαν τροφή τις οργανικές ουσίες των λυμάτων. Τα νιτρικά (NO_3^-) μετατρέπονται σε άζωτο (N_2) το οποίο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα με τον αερισμό των υγρών αποβλήτων στην δεξαμενή νιτροποίησης που ακολουθεί. Η απομάκρυνση του αζώτου επιβάλλεται με σκοπό κυρίως την αποφυγή του φαινομένου του ευτροφισμού στους φυσικούς αποδέκτες. Πιο συγκεκριμένα αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου είναι δυνατό να προκαλέσουν την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη φυκών και υδρόβιων φυτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι με το θάνατο των φυτών αυτών, οι οργανικές ουσίες που περιέχουν, δεσμεύουν το διαλυμένο οξυγόνο κατά την βιολογική τους αποδόμηση. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται θάνατος στα ψάρια και σε όλους τους ζωικούς οργανισμούς οι οποίοι διαβιούν στους αποδέκτες.



Σχήμα 16: Βιομηχανική διάταξη διασύνδεσης μονάδας DAF με δεξαμενή αερισμού- απονιτροποίησης

(1) DAF, (2) δεξαμενή αερισμού-απονιτροποίησης

Στη συνέχεια τα υγρά απόβλητα εισέρχονται στην δεξαμενή αερισμού (νιτροποίησης) (σχ.17). Η νιτροποίηση είναι μέρος του Κύκλου του Αζώτου και πρόκειται για μια αερόβια βιολογική διαδικασία δύο σταδίων κατά την οποία αυτότροφα βακτήρια οξειδώνουν τα αμμωνιακά ιόντα ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) σε νιτρώδη (NO_2^-) και στη συνέχεια σε νιτρικά (NO_3^-).

Στο πρώτο βήμα η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη κυρίως από αυτότροφα νιτρωδοποιητικά βακτήρια *Nitrosomonas*.

Στο δεύτερο βήμα (νιτρικοποίηση), τα νιτρώδη οξειδώνονται σε νιτρικά κυρίως από αυτότροφα νιτρικοποιητικά βακτήρια *Nitrobacter*. Παράλληλα συντίθεται βιομάζα.

Η παρουσία του οξυγόνου είναι απολύτως απαραίτητη για την ανάπτυξη τόσο των *Nitrosomonas* όσο και των *Nitrobacter*. Η μικρότερη ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να είναι 0.3mg/lt ώστε να πραγματοποιείται ελάχιστη νιτροποίηση και το 1.0 mg/lt και πάνω θεωρείται ικανοποιητικό επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου στο νερό για τα *Nitrosomonas* και 2.0 mg/lt και πάνω για τα *Nitrobacter*.

Επειδή δε, η διάλυση οξυγόνου στο νερό, εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία, ο συνδυασμός ανόδου θερμοκρασίας και οξυγόνωσης πρέπει να είναι ανάλογος.

Η τροφοδοσία με αέρα γίνεται μέσω επιδαπέδιων κεραμικών διαχυτών λεπτής φυσσαλίδας και ενός φυσητήρα (κομπρεσερ αερος). Με τον τρόπο αυτό γίνεται η βιολογική τους επεξεργασία με την πλήρη αποικοδόμηση και ανοργανοποίηση του ρυπαντικού τους φορτίου. Παράλληλα σταθεροποιείται η λάσπη και γίνεται επεξεργασία της αζωτούχου ρύπανσης, ενώ η νιτροποίηση που επιτυγχάνεται, οφείλεται στην αύξηση της ποσότητας του οξυγόνου.

Μετά την δεξαμενή αερισμού οδηγούνται στις δύο μεμβράνες (σχ. 18) που βρίσκονται εκτός, αφού πρώτα διέλθουν από ένα φίλτρο. Οι μεμβράνες είναι εν σειρά, είναι υπερδιήθησης, κεραμικές INOCEP (HYFLUX), και το υγρό απόβλητο διέρχεται πρώτα από τη μία και μετά από την άλλη. Είναι της μορφής SMBR. (sidestream membrane bioreactor).

Αφού το επεργασμένο απόβλητο διέλθει και από την δεύτερη, είναι πλέον καθαρό, οδηγείται στη δεξαμενή καθαρών (σχ.19), μέσω ενός

υδρομετρητή (σχ. 20) για τη μέτρηση της παροχής και από εκεί στον αποδέκτη.

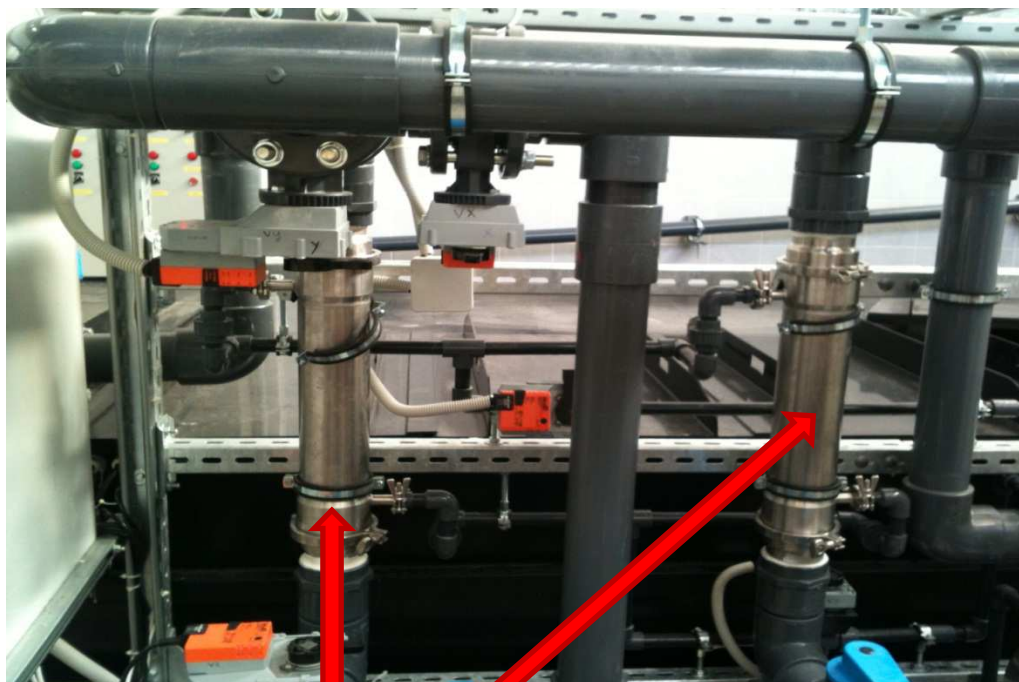
Για το καθαρισμό των μεμβρανών χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι που είναι οι εξής:

- a. Από την δεξαμενή καθαρών, έχει κατασκευαστεί δίκτυο σωληνώσεων, προς τις μεμβράνες, ώστε να διοχετεύεται το νερό μέσω αντλίας 3 bars, αντίστροφα και να επιτυγχάνεται σε κάποιο βαθμό ο καθαρισμός τους.
- b. Έχει κατασκευαστεί δεξαμενή με όξινα διαλύματα ή βασικά (CIP), που μέσω σωληνώσεων οδηγεί το διάλυμα στην σωλήνα εισόδου προς τις μεμβράνες. Από εκεί διοχετεύεται στην 1^η μεμβράνη και με νέο δίκτυο σωλήνων στην δεύτερη. Από τη δεύτερη στη συνέχεια με κατάλληλη σωλήνωση οδηγείται το διάλυμα στη δεξαμενή CIP. Με τη διέλευση του διαλύματος επιτυγχάνεται σε σημαντικό βαθμό η απόφραξη των μεμβρανών.

Από την 2^η μεμβράνη επιστρέφει μια ποσότητα αποβλήτων στην δεξαμενή αερισμού, ώστε να εμπλουτίζεται με τους απαραίτητους μικροοργανισμούς που χρειάζονται για τη βιολογική επεξεργασία.



Σχήμα 17: Δεξαμενή αερισμού βιομηχανικής μονάδας.



Σχήμα 18: Η διάταξη των μεμβρανών της βιομηχανικής μονάδας με τις σωληνώσεις μετά τη δεξαμενή αερισμού.

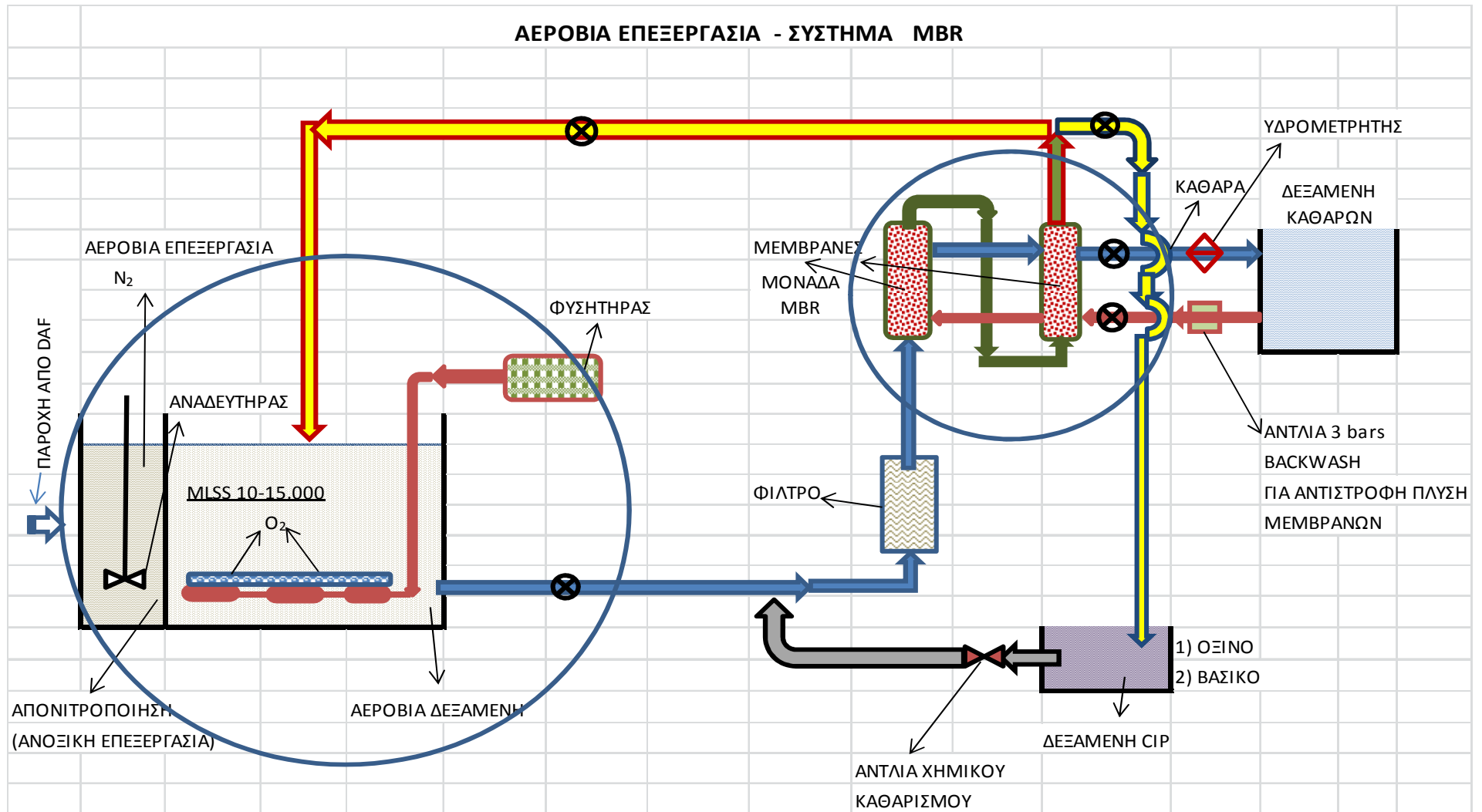


Σχήμα 19: Δεξαμενή καθαρών αποβλήτων της βιομηχανικής μονάδας μετά την επεξεργασία με MBR.



Σχήμα 20 : Μονάδα παρακολούθησης παροχής των λυμάτων της βιομηχανικής μονάδας μετά την επεξεργασία MBR προς δεξαμενή καθαρών.

ΑΕΡΟΒΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ - ΣΥΣΤΗΜΑ MBR



Διάγραμμα ροής αερόβιας επεξεργασίας λυμάτων –σε συνδυασμό με το τελικό στάδιο επεξεργασίας με MBR

8 Σύνθεση αποβλήτου ζαχαροπλαστικής μονάδας

Παρόλο που τα λύματα ποικίλουν ευρέως, η σύνθεση τους περίπου είναι η εξής :

- **Παθογόνοι μικροοργανισμοί** όπως είναι μερικά βακτήρια, ιοί, πρωτόζωα κ.α.
- **Μη παθογόνα βακτήρια.**
- **Σωματίδια οργανικής προέλευσης** όπως περιττώματα, ίνες χαρτιού, τρίχες, τρόφιμα κ.α.
- **Διαλυτό οργανικό φορτίο** (όπως η φρουκτόζη, διαλυτές πρωτεΐνες).
- **Διαλυτό ανόργανο υλικό** όπως αμμωνία, άλατα, κ.α.
- **Γαλακτώματα** όπως μαγιονέζα, γάλα κ.α.

9. Αναλυτική τεχνική COD - Μέθοδοι.

1. Προθερμαίνουμε τον θερμοαντιδραστήρα στους 150°C.
2. Ξεβιδώνουμε το καπάκι ενός δοκιμαστικού σωλήνα ο οποίος περιέχει τα αντιδραστήρια για την οξείδωση της οργανικής ύλης σε κατάλληλες αναλογίες και ποσότητα.
3. Με πιπέτα μεταφέρουμε 2 ml ή 0,20 ml ανάλογα με το εύρος των αντιδραστηρίων σε ppm από το φυαλλίδιο στον δοκιμαστικό σωλήνα που κρατούμε με προσοχή κεκλιμένο.
4. Βιδώνουμε με προσοχή το πώμα και αναδεύουμε ζοηρά, κρατώντας το σωλήνα από το πώμα (ο σωλήνας θερμαίνεται).
5. Τοποθετούμε το σωλήνα στον θερμοαντιδραστήρα αφού πριν βεβαιωθούμε ότι τα εξωτερικά του τοιχώματα είναι στεγνά και καθαρά.
6. Χρονομετρούμε τη θέρμανση για 2 ώρες, χρησιμοποιώντας το χρονόμετρο του θερμοαντιδραστήρα.
7. Επαναλαμβάνουμε τα στάδια 3, 4, 5 και 6 χρησιμοποιώντας απιονισμένο νερό, για την δημιουργία τυφλών δειγμάτων.

Φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός COD

Το φασματοφωτόμετρο είναι προβαθμονομημένο ώστε να παρέχει απ' ευθείας ανάγνωση της ποσότητας του COD του δείγματος. Άρα, η ποσότητα του COD που αντιστοιχεί σε κάθε δείγμα, δίνεται από την απ' ευθείας ανάγνωση στο φασματοφωτόμετρο.

1. Μετά την πάροδο 2 ωρών, βγάζουμε τους δοκιμαστικούς σωλήνες από τη συσκευή χώνευσης και τους αφήνουμε να κρυώσουν.
2. Θέτουμε σε λειτουργία το φασματοφωτόμετρο (power I - 0).
3. Επιλέγουμε την μέθοδο και το κατάλληλο μήκος κύματος (420 nm ή 620 nm).
4. Πατάμε το πλήκτρο Read/Enter και λαμβάνουμε την ένδειξη mg/L COD L.
5. Τοποθετούμε το ειδικό στέλεχος-βάση του δοκιμαστικού σωλήνα στην υποδοχή της κυψελίδας του φασματοφωτομέτρου.
6. Καθαρίζουμε με μαλακό χαρτί την εξωτερική επιφάνεια του δοκιμαστικού σωλήνα αποφεύγοντας να τον αγγίζουμε με τα δάκτυλα.

7. Τοποθετούμε το δείγμα με το απιονισμένο νερό στην υποδοχή του φασματοφωτομέτρου έτσι ώστε να έχουμε μπροστά μας την ένδειξη HACH.
8. Πατάμε το πλήκτρο Zero.
9. Στο όργανο, μετά από λίγα δευτερόλεπτα, εμφανίζεται η ένδειξη 0mg/L COD L.
10. Επαναλαμβάνουμε τα στάδια 6 και 7 για τα δύο δείγματα.
11. Πατάμε το πλήκτρο Read/Enter και μετά από λίγα δευτερόλεπτα παίρνουμε την ένδειξη που αντιστοιχεί στο μετρούμενο δείγμα.
12. Σημειώνουμε στο τετράδιο μας τις ενδείξεις.

Για τη μέτρηση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συσκευές:

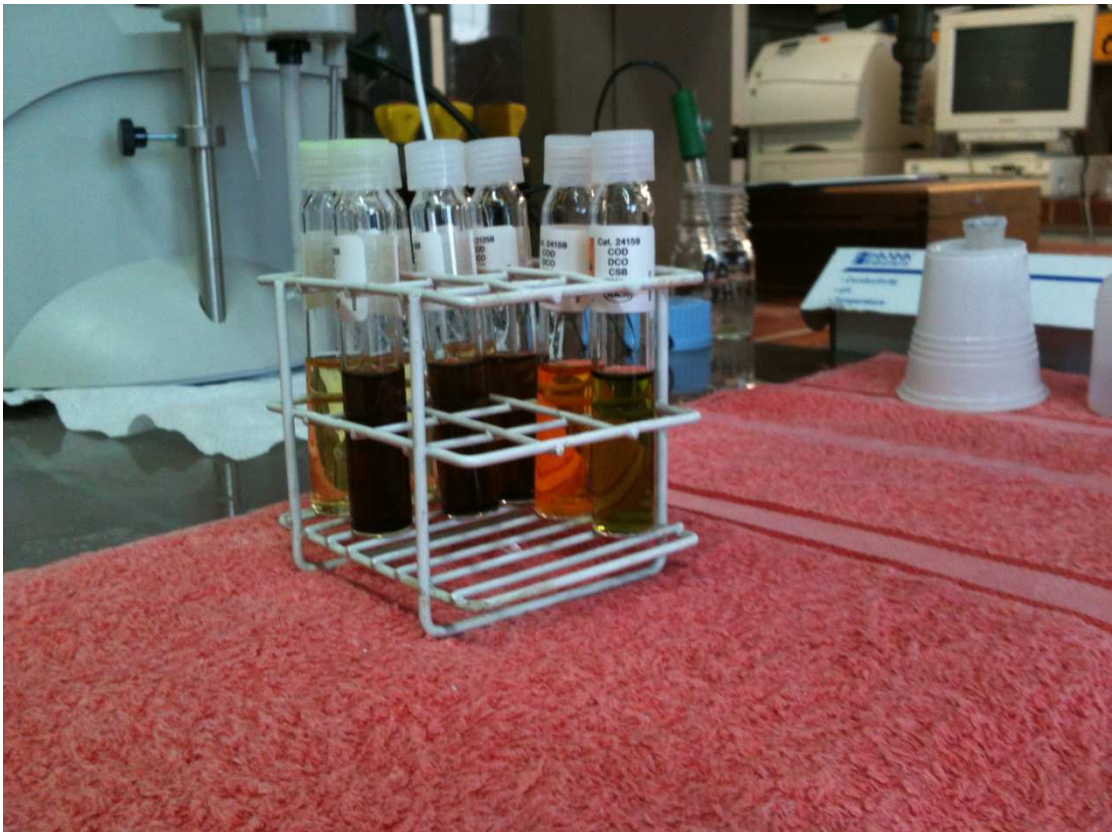
- (i) Ειδικά φιαλίδια χώνευσης, με ορισμένες διαστάσεις, από κατάλληλο υλικό που δεν απορροφά ακτινοβολία των εταιρειών HACH, MERK , AQUAL.
- (ii) Θερμοαντιδραστήρας (TR 320 MERCK) (σχ. 21), η οποία διαθέτει ανοίγματα όπου εφαρμόζουν τέλεια τα φιαλίδια.
- (iii) Φασματοφωτόμετρα HACH DR2010και HACH DR2800 (σχ.22), στα οποία τοποθετηθήκαν τα φιαλίδια χώνευσης (σχ. 23) μετά την εστία.



Σχήμα 21 : Θερμοαντιδραστήρας TR 320 MERCK



Σχήμα 22: Φασματοφωτόμετρο DR 2800 HACH



Σχήμα 23: Ανάπτυξη χρωμάτων σε φιαλίδια μέτρησης COD.

10. Αποτελέσματα ανάλυσης COD - συζήτηση

10.1 Αποτελέσματα εισόδου υγρών αποβλήτων στη μονάδα

Για τη μέτρηση των αποβλήτων εισόδου, χρησιμοποιήθηκαν φιαλίδια της Hach με εύρος 0-15000 ppmγια COD.

Χρησιμοποιήθηκε η κλασική αναλυτική τεχνική για COD.

Στη 1^η σειρά μετρήσεων πήραμε δυο αποτελέσματα COD:

- Το πρώτο των 12400ppm προέκυψε αφού είχαμε προβεί σε αραιώση 1:1 ενώ
- το δεύτερο των 12200ppm επίσης από αραιώση 1:1, αλλά ήταν της εταιρείας Merk.

Στη 2^η σειρά μετρήσεων πήραμε τέσσερα αποτελέσματα COD. Χρησιμοποιήθηκαν φιαλίδια της εταιρείας Hach και στις τέσσερις μετρήσεις.

- Η πρώτη με αραιώση 1:2 και διήθηση έδωσε 12250ppm COD.
- Η δεύτερη χωρίς καμιά αραιώση ή διήθηση έδωσε 12530ppm COD.
- Η τρίτη με αραιώση 1:1 έδωσε 12435ppm COD και
- Η τέταρτη με αραιώση 1:2 χωρίς διήθηση έδωσε 11900ppm COD.

Στη 3^η και τελευταία σειρά μετρήσεων για τα υγρά απόβλητα εισόδου παρατηρήθηκαν τα εξής αποτελέσματα :

- Η πρώτη έδωσε 11800ppm COD.
- Η δεύτερη έδωσε 12000ppm COD.
- Η τρίτη έδωσε 12100ppm COD και
- Η τέταρτη έδωσε 11600 ppm COD

Οι μετρήσεις της 1^{ης} και 2^{ης} σειράς έγιναν με τα φασματοφωτόμετρα DR 2010 Hach ενώ της 3^{ης} σειράς με το νέο φασματοφωτόμετρο DR2800 HACH.

10.2 Αποτελέσματα εισόδου υγρών αποβλήτων σε MBR επεξεργασμένα με DAF και δεξαμενή αερισμού

Για τις αναλύσεις δειγμάτων πριν τη μονάδα MBR χρησιμοποιήθηκαν φυαλλίδια της εταιρείας Hach των 0-1500 ppm . Αναλύθηκαν με την κλασική αναλυτική μέθοδο για COD και έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Η πρώτη σειρά μετρήσεων έδωσε δυο αποτελέσματα. Ένα των 8280 ppm και ένα των 7910 ppm. Στο πρώτο έγινε αραιώση 1:2 και στο δεύτερο αραιώση 1:2 και διήθηση. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο HACH, DR2010.

Στη δεύτερη σειρά μετρήσεων στην οποία έχουμε τέσσερα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο DR2800 HACH. Δεν έγινε καμιά περαιτέρω επεξεργασία στα δείγματά μας, δεν είχαμε δηλαδή ούτε διήθηση ούτε αραιώση και τα αποτελέσματά μας ήταν :

- i. 7900ppm
- ii. 7700 ppm
- iii. 7700 ppm
- iv. 7800 ppm.

10.3 Αποτελέσματα εξόδου υγρών αποβλήτων από MBR

Στις μετρήσεις των δειγμάτων εξόδου, μετά τη μονάδα MBR, χρησιμοποιήθηκαν φυαλλίδια των εταιρειών Hach, Merk και Aqual των 0-1500 ppm.

Στη 1^η σειρά μετρήσεων που είχαμε τέσσερα αποτελέσματα μέτρησης το COD κυμάνθηκε από 2981 έως 3150ppm. Αναλυτικά τα αποτελέσματα της κάθε μιας μέτρησης ήταν τα παρακάτω:

- Στη πρώτη μέτρηση με φυαλλίδιο Merk και αραιώση 1:1 πήραμε 3150ppm.
- Στη δεύτερη μέτρηση με φυαλλίδιο Merk και αραιώση 1:2 πήραμε 2978ppm.

- Στη τρίτη μέτρηση με φυαλλίδιο Hach και αραιώση 1:1 πήραμε 3048ppm.
- Στη τέταρτη μέτρηση με φυαλλίδιο Hach και αραιώση 1:2 πήραμε 2981ppm.

Στη 2^η σειρά μετρήσεων είχαμε τέσσερα αποτελέσματα μέτρησης του COD. Αναλυτικά τα αποτελέσματα της κάθε μιας μέτρησης ήταν τα παρακάτω:

- Στη πρώτη μέτρηση με φυαλλίδιο Hach και αραιώση 1:2 πήραμε 3300ppm.
- Στη δεύτερη μέτρηση με φυαλλίδιο Hach και αραιώση 1:5 πήραμε 3241ppm.
- Στη τρίτη μέτρηση με φυαλλίδιο Aqual και αραιώση 1:1 πήραμε 3340ppm.
- Στη τέταρτη μέτρηση με φυαλλίδιο Aqual και αραιώση 1:5 πήραμε 2871ppm.

Στις παραπάνω μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο DR2010 Hach.

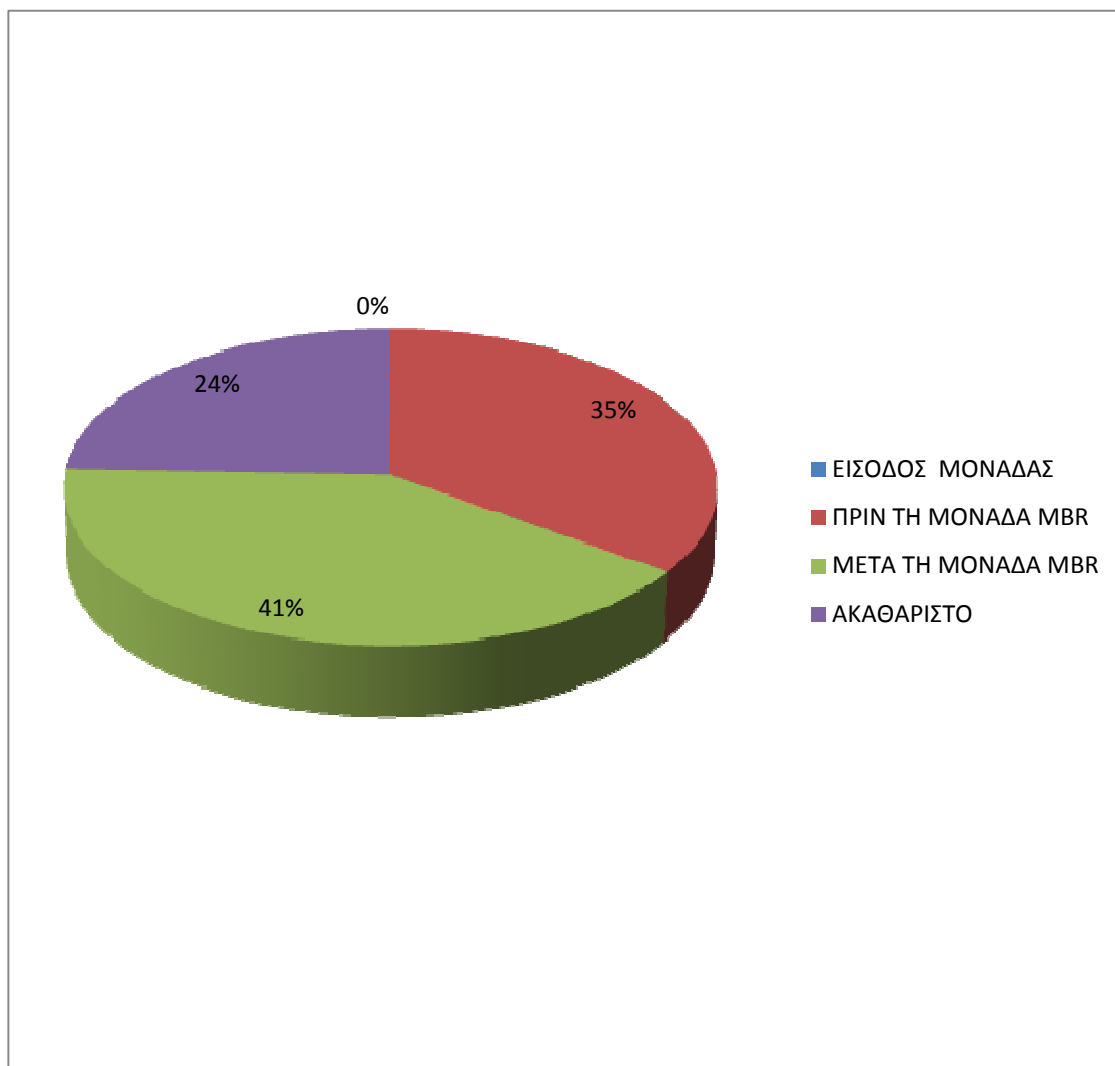
Στη 3^η σειρά μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτόμετρο DR2800 HACH είχαμε τρία αποτελέσματα μέτρησης του COD. Αναλυτικά τα αποτελέσματα της κάθε μιας μέτρησης ήταν τα παρακάτω:

- Στη πρώτη μέτρηση με φυαλλίδιο Hach χωρίς αραιώση ή διήθηση πήραμε 2500ppm.
- Στη δεύτερη μέτρηση με φυαλλίδιο Hach χωρίς αραιώση ή διήθηση πήραμε 2700ppm.
- Στη τρίτη μέτρηση με φυαλλίδιο Hach χωρίς αραιώση ή διήθηση πήραμε 2500ppm.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ COD ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΤΙΜΗ COD (σε ppm)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΙΜΗΣ COD (σε ppm)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ COD (ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΕΙΣΟΔΟΥ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΙΩΣΗΣ COD (ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΘΕΣΗ)
ΕΙΣΟΔΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	12400	12126,50	236,50		
	12200				
	12530				
	12250				
	12435				
	11900				
	11850				
	12000				
	12100				
	11600				
ΠΡΙΝ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ MBR	8280	7881,67	148,33	35%	35%
	7910				
	7900				
	7700				
	7700				
	7800				
ΜΕΤΑ ΤΗ ΜΟΝΑΔΑ MBR	3150	2964,45	233,97	41%	62%
	3048				
	2978				
	2981				
	3300				
	2871				
	3340				
	3241				
	2500				
	2700				
	2500				

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ Μ.Ο. ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΜΕΙΩΣΗΣ COD ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΑΠΟΒΛΗΤΟ



11. Συμπεράσματα

- Κάνοντας μετρήσεις COD με αναλυτική τεχνική πήραμε αποτελέσματα αναπαραγωγίσιμα στην απόδοσή τους.
- Τα αποτελέσματα που πήραμε δείχνουν ότι ίσως να πρέπει να γίνει νέα ρύθμιση παραμέτρων για το συγκεκριμένο φορτίο και αυτό διότι οι μονάδες του COD μετά τη μονάδα MBR κινήθηκαν στα 2900rpm κατά μέσο όρο ενώ σύμφωνα με τις διατάξεις επιθυμείται COD < 1000 rpm.
- Αναλύσεις δημοσιεύσεων δίνουν παρόμοια αποτελέσματα για μείωση του COD σε ποσοστό 75-85 % για αρχικό απόβλητο 12000 rpm κατά μέσο όρο.
- Το απόβλητο της βιομηχανικής μονάδας πρέπει να υποστεί δευτερογενή επεξεργασία για να μπορέσει να διατεθεί σε αποδέκτη.

Να προστεθεί εδώ ό,τι :

Το ποσοστό απομάκρυνσης COD κυμάνθηκε κατά μέσο όρο στο 76%.

Στην πορεία λειτουργίας της μονάδας παρουσιάστηκαν και μερικά προβλήματα για αυτό και είχαμε κάποια όχι και τόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα σε μερικές μετρήσεις μας. Μετά από λειτουργία 5 μηνών η διάταξη του DAF παρουσίασε λειτουργικά προβλήματα που ίσως να οφείλεται στην παροχή ή στην πίεση που ασκούσαμε. Επομένως έπρεπε να γίνουν οι απαραίτητες διορθωτικές κινήσεις για να φτάσουμε πάλι στα επιτρεπτά όρια του COD .

Μετά από την λειτουργία 6 μηνών είχαμε εμφάνιση του φαινομένου της έμφραξης των μεμβρανών. Λύση σε αυτό αποτελεί ο εντοπισμός μιας κατάστασης ισορροπίας μεταξύ του χρόνου διήθησης, αλλά και του όγκου του διηθήματος που διέρχεται μέσω των μεμβρανών αυτών

καθώς, αναλόγως των κατασκευαστικών προδιαγραφών λειτουργίας τους, και με σωστό προγραμματισμό του σταδίου διήθησης μπορεί να μεγιστοποιηθεί το διάστημα εμφάνισης έμφραξης των μεμβρανών, να περιορισθεί η ανάγκη καθαρισμού των μεμβρανών και κατ' επέκταση ο κίνδυνος καταστροφής τους από πιθανή αστοχία της διαδικασίας καθαρισμού.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι με την σωστή και καλή λειτουργία της μονάδας όλης, η μείωση του COD του λύματος ήταν σε πάρα πολύ καλά επίπεδα. Ακόμα και όταν παρουσιάστηκαν τα προβλήματα λειτουργίας στο DAF και στην δεξαμενή αερισμού το ποσοστό που καθάριζαν οι μεμβράνες μας ήταν πολύ καλό.

12. Προοπτικές

- Να χρησιμοποιηθούν και άλλες αναλυτικές τεχνικές για παρακολούθηση και άλλων αναλυτικών παραμέτρων.
- Να γίνει ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας της μονάδας για πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα απομάκρυνσης ρύπων.
- Να επεξεργαστούν με την ίδια μονάδα και άλλου είδους φορτία π.χ. απόβλητα τυροκομείου, κ.α., για να δοθεί η δυνατότητα παρακολούθησης της ανάλυσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://el.wikipedia.org>
- [2] Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.
- [3] Τσαγκαράκης κ.ά., 1999]
- [4] Καβουράκη και Μαυράκη, 2001
- [5] Αγγελάκης κ.ά., 1999, Αγγελάκης και Διαμαντόπουλος, 1999,
- [6] Tsagarakis et al., 2000.
- [7] Angelakis and Diamantopoulos, 1995
- [8] Angelakis and Spyridakis, 1996.
- [9] Reed and Crites, 1984
- [10] Asano and Levine, 1996, Angelakis et al., 1997
- [11] Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995
- [12] Metcalf and Eddy, 1991
- [13] Water Pol. Control Feder., 1989
- [14] Nellor et al., 1985
- [15] California State Water Resources Control Board, 1990
- [16] Ανδρεαδάκης Α., 2001
- [17] WHO, 1980 και U.S. Nat. Res. Council, 1982
- [18] National Research Council, 1980
- [19] Αγγελάκης, 2000
- [20] Papadopoulos, 1995

- [21] Angelakis et al.,2002
- [22] Μαρκαντωνάτος Γ., Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων: Αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα, Β' Έκδοση, Αθήνα 1990
- [23] Li X-Y., Wang X-M. (2006), Modelling of membrane fouling in a submerged membrane bioreactor, J. Membr. Sci.
- [24] ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ – Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΒR - Μ. Ζαχαρίας
- [25] WHO, 1980 και U.S. Nat. Res. Council, 1982
- [26] Διπλωματική εργασία σχολής Χ.Μ. ΕΜΠ στις αναλυτικές μεθόδους και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποιότητας του νερού, της Θεώνης Αναγνωστοπούλου