



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ –
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΙΤΛΟΣ : ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ MBR & RO.**

**ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΠΡΑΣΑΣ
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΤΖΑΜΤΖΗΣ -
ΠΙΛΑΛΗΣ**

Αθήνα 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ήδη η παγκόσμια κοινότητα, και που οι προβλέψεις αναφέρουν ότι πρόκειται να αυξηθεί έντονα τις επόμενες δεκαετίες, είναι αυτό της έλλειψης πόσιμου νερού. Κάτι τέτοιο μπορεί να αντιμετωπιστεί με την επαναχρησιμοποίηση υδάτων με τρόπο ασφαλή για τη δημόσια υγεία και με γνώμονα πάντα την ποιότητα ζωής.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που τίθενται από την Νομοθεσία, απαιτείται η κατάλληλη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, που γίνεται σε ειδικές εγκαταστάσεις, οι οποίες ονομάζονται «βιολογικοί καθαρισμοί». Συνήθως στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κυρίως η μέθοδος της ενεργού ιλύος (E.I.). Αναφορές έχουν γίνει στην χρήση και άλλων μεθόδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων όπως η μέθοδος μεμβρανών (MBR) και η αντίστροφη όσμωση (RO).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν η εξέταση της αποτελεσματικότητας της συνδυασμένης εφαρμογής MBR και RO (τεταρτογενής καθαρισμός) στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων με σκοπό την περαιτέρω βελτίωση της ποιότητας νερού. Επίσης, πρέπει να αναφέρουμε πως ο συνδυασμός αυτός χρησιμοποιήθηκε λόγω της φύσης των υγρών αποβλήτων, όπως για παράδειγμα η πολύ υψηλή συγκέντρωση σε στερεά (TDS) και μακρομοριών, τα οποία θα έφραζαν ταχύτητα τις μεμβράνες της RO.

Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε βελτίωση στη σκληρότητα (95%), αγωγιμότητα (92%), αλκαλικότητα (84%), καθώς και ελάτωση σε πολύ υψηλό βαθμό των χλωριόντων, αζώτου, φωσφόρου και νιτρικών (99%) σε σχέση με το αρχικό απόβλητο με χρήση των αναφερόμενων συνδυασμένων τεχνικών.

Αντίστοιχα αποτελέσματα με χρήση μόνο της τεχνικής MBR ήταν 55% , 38% και 38% αντίστοιχα για σκληρότητα, αγωγιμότητα και αλκαλικότητα, ενώ για την απομάκρυνση των χλωριόντων, αζώτου, φωσφόρου και νιτρικών ήταν αντίστοιχα 81%, 65%, 99% και 47%. Επομένως, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε με τον συνδυασμό του RO έχουμε για τα ανωτέρω επιπλέον βελτίωση της τάξης από 1 – 56% των παραπάνω παραμέτρων.

Τα αποτελέσματα της ανωτέρω περιραματικής εργασίας κρίνονται ικανοποιητικά και επομένως προτείνεται η ασφαλής χρήση της συνδυασμένης τεχνικής RO και MBR για να γεωργική και οικιακή χρήση. Επόμενο βήμα ο έλεγχος εφαρμογής της στην βιομηχανία.

ABSTRACT

The lack of potable water is one of the biggest problems which the world community is already facing and the forecasts report that it is to increase intensely the next decades. Something like that can be faced with the re-use of waters with safe way for the public health and always taking into consideration the quality of life.

So that are achieved the objectives that are placed by the Legislation, is required the suitable treatment of humid waste, that becomes in special installations, that are named "biological cleanings". Usually in Greece the method of active silt is mainly used. Reports also inform us about the use of other methods of humid waste treatment over the method of membranes (MBR) and reverse osmosis (RO).

The goal of this thesis was the effectiveness estimation of a waste water treatment system, combining MBR & RO units in order to succeed further improvement of the quality of water. Also, we should report that this combination was used because of some quality characteristics of the waste such as TDS.

Furthermore, concerning the initial waste the use of combined techniques presented improvement in hardness (95%), conductivity (92%), alkalinity (84%), as well as an improvement A_{pin} in high degree in chlorid, nitrogen, phosphat and nitrat (99%).

The use only of the MBR technique presented 55%, 38% and 38% respectively for hardness, conductivity and alkalinity, while for chlorid, nitrogen, phosphat and nitrat were respectively 81%, 65%, 99% and 47%. Consequently, as we can observe the combination of RO technique has as a result an additional improvement of 30%, 54%, 56%, 17%, 30%, 0,99% and 47% respectively.

The results of this experimental procedure are judged satisfactory, so the combined techniques MBR and RO in agricultural and domestic use can be characteristic as a safe one. Next step the application of this method in the industry.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί την διπλωματική μου εργασία, η οποία εκπονήθηκε στην Σχολή «Χημικών Μηχανικών» στο τελευταίο έτος σπουδών προκειμένου να ολοκληρωθεί η φοίτησή μου και να λάβω το πτυχίο μου από την σχολή «Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών» του ΕΜΠ.

Η εκπόνηση της παρούσας υλοποιήθηκε στο εργαστήριο Φυσικών Μεθόδων Ανάλυσης της Σχολής Χημικών Μηχανικών, όπου μου έκανε ιδιαίτερη εντύπωση η διαθεσιμότητα πιλοτικής μονάδας τόσο MBR, όσο και RO, γεγονός που διαδραμάτισε καθοριστικό παράγοντα στην εμπειριστατομένη ολοκλήρωσή της διπλωματικής μου.

Επίσης, η διπλωματική αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια ευρύτερης ερευνητικής εργασίας που αφορούσε την μελέτη της συμπεριφοράς της πιλοτικής μονάδας του MBR, εξού και ο λόγος ύπαρξης αυτής της πιλοτικής μονάδας.

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 την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Χατζηκωσταντίνου για την αμέριστη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τους κυρίους Λουκά Λιντζό και Αβραάμ Αβραμίδη για την τεχνική, αλλά και θεωρητική υποστήριξη που μου παρείχαν.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ζώντας σε μια εποχή που η οικονομική, κυρίως, κρίση κυριαρχεί, η πλειονότητα των κατοίκων αυτού του πλανήτη θεωρούν ως δεδομένη την φύση και τους θησαυρούς της. Ένας από αυτούς είναι και το νερό.

Με μια πρώτη ματιά, ο καθένας θα μπορούσε να μιλήσει για την αφθονία του. Όμως, μόλις το 3% αυτής της παγκόσμιας «αφθονίας» είναι πόσιμο και βρίσκεται στους παγετώνες, σε λίμνες, ρέματα, υγροτόπους και σε υπόγεια ύδατα. Με αποτέλεσμα στην πραγματικότητα λιγότερο από 1% να είναι διαθέσιμο για τον άνθρωπο.

Αναλυτικότερα, το νερό διατίθεται για βιομηχανική, γεωργική και οικιακή χρήση. Θα μπορούσε να συμπεράνει κανείς, πως μέσω των ποσοστών στις ανωτέρω χρήσεις αποκαλύπτεται που βασίζεται η οικονομία της κάθε χώρας. Για παράδειγμα, έχουμε: ΗΠΑ 46%, 41,3%, 12,7%, Ηνωμένο Βασίλειο 75,4 %, 2,94%, 21,7% και Ινδία 5,45%, 86,5 % και 8,09% σε βιομηχανικές, γεωργικές και οικιακές χρήσεις αντίστοιχα. Πιο στοχευόμενα, σύμφωνα με τους υπολογισμούς του FAO¹ ένας μέσος άνθρωπος χρειάζεται για τις ανάγκες του 600 m³/έτος, το οποίο μεταφράζεται σε παγκόσμια κλίμακα σε 3,8 τρισεκατομμύρια m³/έτος.

Αναφορικά με την Ελλάδα, η χώρα μας θεωρείται πλούσια σε νερό, καθώς η μέση ετήσια βροχόπτωση φτάνει την τιμή των 700mm/έτος. Όμως, η κατανομή των υδάτινων πόρων είναι ανομοιόμορφη στην συνολική έκταση, λόγω ποικίλων παραμέτρων όπως το έντονο ανάγλυφο, η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την συγκέντρωση του πληθυσμού κ.ά. Όσον αφορά την κατανομή των ποσοτήτων του νερού ανάλογα με τις χρήσεις, στην Ελλάδα διακρίνουμε 3%, 87% και 10% σε βιομηχανικές, γεωργικές και οικιακές αντίστοιχα, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες.

Η διάθεση υδάτινων πόρων αποτελεί κυρίαρχη συνιστώσα, τόσο για την επιβίωση των ανθρώπων, όσο και για την ανάπτυξη και την οικονομική ευημερία του κάθε κράτους. Η ανθρωπογενής δραστηριότητα και ακολούθως η ταχύτατη αύξηση του πληθυσμού προσβάλλουν και δυσχεραίνουν την διαχείρισή των υδάτινων πόρων.

Επομένως, όπως είναι φανερό επιτακτική ανάγκη αποτελεί η εύρεση λύσεων προκειμένου να διασφαλιστεί η ύπαρξη μιας ποιοτικής και ασφαλούς μεθόδου διαχείρισης. Μια τέτοια μέθοδο επιλέγουμε να εξετάσουμε αναφορικά με την χρήση επεξεργασμένων αποβλήτων.

Γενικότερα υπάρχουν οι μέθοδοι επεξεργασίας, οι οποίες όμως χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας του αποβλήτου. Πιο αναλυτικά έχουμε :

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

¹ FAO : Διακυβερνητική οργάνωση με σκοπό την ενίσχυση της παγκόσμιας γεωργικής επίδοσης, προωθώντας παράλληλα την βιώσιμη χρήση του νερού για παραγωγή τροφίμων.

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).

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 διύλιση, η προσρόφηση από ενεργό άνθρακα και διεργασίες με μεμβράνες.

Ως καινοτόμες μέθοδοι θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν οι βιο-αντιδραστήρες μεμβρανών, αντίστροφη όσμωση αλλά και οι συνδυασμοί τεχνικών επεξεργασίας, όπως για παράδειγμα των δύο προαναφερθέντων.

Η διπλωματική συμβάλει στην ερευνητική μελέτη αναφορικά με την εξεύρεση νέων συνδυασμένων τεχνικών επεξεργασίας αποβλήτων, με σκοπό την μεγιστοποίηση της ποιότητας του επεξεργασμένου νερού.

Η διάρθρωση της διπλωματικής έχει ως ακολούθως :

Στο θεωρητικό μέρος θα γίνει αναφορά στα απόβλητα, στην νομοθεσία, στις τεχνικές επεξεργασίας MBR και RO, αλλά και στον συνδυασμό τους, και στις αναλυτικές τεχνικές.

Στο πειραματικό θα γίνει αναφορά στα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, στις πιλοτικές μονάδες MBR και RO, στην παρασκευή του αποβλήτου, και στα αποτελέσματα – συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν την διπλωματική.

Πιο συγκεκριμένα η παρούσα διπλωματική μελετά τις εξής παραμέτρους ελέγχου αποτελεσματικότητας στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων από MBR και MBR-RO :

- Θολότητα
- Αγωγιμότητα
- Αλκαλικότητα
- Σκληρότητα
- BOD & COD
- Χλωριόντα, ολικός φώσφορος, ολικό άζωτο και νιτρικά

Δίνει χρήσιμα στοιχεία και αποτελέσματα για την επεξεργασία του συγκεκριμένου τύπου απόβλητου, το οποίο παρασκευάστηκε με στόχο να είναι αντιπροσωπευτικό αστικού αποβλήτου.

Τέλος, τα αποτελέσματα δύναται επίσης να αξιοποιηθούν σε μεγαλύτερης κλίμακας εγκαταστάσεις, όπως για παράδειγμα εργοστασιακές εφαρμογές, το οποίο βέβαια μένει να φανεί στην πράξη.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Απόβλητα	13
1.1 Ρύπανση υδάτινων πόρων	13
1.2 Πηγές ρύπανσης	14
1.3 Αστικά απόβλητα	14
1.4 Βιομηχανικά απόβλητα	16
1.5 Νομοθεσία	16
1.6 Χρήσεις επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων με Τεχνολογία Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών (Membrane BioReactor)	29
2.1 Σύστημα επεξεργασίας MBR	29
2.2 Εφαρμογές MBR	30
2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MBR.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων με Τεχνολογία Αντίστροφης Οσμωσης (Reverse Osmosis –RO)	33
3.1 Σύστημα Επεξεργασίας RO	33
3.2 Εφαρμογές RO.....	37
3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα RO.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συνδυασμός Τεχνολογιών MBR & RO	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Αναλυτικές Μέθοδοι και Τεχνικές Ελέγχου Ρύπανσης Υγρού Απόβλητου	40
5.1 Εισαγωγή	40
5.2. Οπτικές μέθοδοι	44
5.3. Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι	46
B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Όργανολογία.....	48
6.1 : Όργανα.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Πιλοτικές Μονάδες (Παρουσίαση) – Απόβλητο Σύσταση.....	61
7.1 Απόβλητο – Παρασκευή - Σύσταση	61
7.2 : Πιλοτική Μονάδα MBR - Παρουσίαση	65
7.3 : Πιλοτική Μονάδα RO - Παρουσίαση	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Συνδυασμένες Τεχνικές MBR – RO στην Επεξεργασία Συνθετικού Υγρού Αποβλήτου – Αποτελέσματα – Συζήτηση	82
8.1. Εισαγωγή	82
8.2. Έλεγχος Σκληρότητας - Θολότητας	83
8.3. Έλεγχος Αγωγιμότητας – Αλκαλικότητας	86
8.4. Έλεγχος Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD) – Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD).....	88
8.5. Έλεγχος Χλωριόντων – Ολικού Αζώτου (TN) – Ολικού Φωσφόρου (TP) – Νιτρικών (NO ₃)	91
Γ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	100

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Απόβλητα

1.1 Ρύπανση υδάτινων πόρων

Το φυσικό και κυρίως το επιφανειακό νερό περιέχει πλήθος ανεπιθύμητων συστατικών από διάφορους παθογόνους ή μη μικροοργανισμούς και διάφορα στοιχεία όπως χώμα και διάφορα άλλα αιωρούμενα σωματίδια. Πηγές μόλυνσης του νερού είναι οι εξής:

- επικίνδυνα απόβλητα των νοικοκυριών, των σηπτικών συστημάτων
- χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στο γρασίδι και τον κήπο
- καύσιμα προερχόμενα από διαρροές δεξαμενών αποθήκευσης
- ζωικά απόβλητα
- γεωργικά χημικά προϊόντα
- χώροι υγειονομικής ταφής
- η έκπλυση των μετάλλων από υδραυλικές εγκαταστάσεις

Διαφορά μεταξύ ρύπανσης και μόλυνσης:

- Ρύπανση είναι οποιαδήποτε εισαγωγή ή διασπορά στο περιβάλλον (αέρας, νερό, έδαφος) όπως:
- Ενώσεις και ουσίες σε συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να καθιστούν βλαβερές, επικίνδυνες και τοξικές για τον άνθρωπο καθώς επίσης και ικανές να διαταράξουν ανεπανόρθωτα μια ισορροπία.
- Ενέργεια όπως θερμότητα, φως ή θόρυβος.
- Μόλυνση ορίζεται ως η οποιαδήποτε εισαγωγή ή διασπορά στο περιβάλλον (αέρας, νερό, έδαφος) παθογόνων μικροοργανισμών σε συγκεντρώσεις αρκετά μεγάλες ώστε να καθιστούν επικίνδυνες για τον άνθρωπο ή ικανές να διαταράξουν ανεπανόρθωτα μια ισορροπία.

Η ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών λόγω της απόρριψης σε αυτούς μη επαρκώς επεξεργασμένων βιομηχανικών υγρών αποβλήτων επιβαρυνμένων με βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες έχουν τεθεί αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια αναφορικά με την απόρριψη υγρών αποβλήτων που προέρχονται από βιομηχανικές δραστηριότητες. Τα όρια μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χώρα, την περιοχή και το βιομηχανικό κλάδο (US EPA, 2005). Είναι, λοιπόν, επιτακτική ανάγκη η ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων διεργασιών-συστημάτων επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των υγρών αποβλήτων στα πλαίσια της κάθε βιομηχανίας προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το ρυπαντικό φορτίο σε επιτρεπτά επίπεδα πριν την απόρριψή τους. Ωστόσο, η επιλογή του κατάλληλου συστήματος επεξεργασίας πρέπει να λαμβάνει υπόψη την προέλευση και την αρχική σύσταση των υγρών αποβλήτων, την ισχύουσα νομοθεσία που καθορίζει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της επεξεργασμένης εκροής και το κόστος της επεξεργασίας. Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή του κατάλληλου συστήματος προϋποθέτει τη διεξαγωγή εργαστηριακών και πιλοτικών δοκιμών. Μια μέθοδος μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη όταν

χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση, είναι περιβαλλοντικά φιλική και οικονομικά βιώσιμη.

1.2. Πηγές ρύπανσης

Σημειακές πηγές ρύπανσης αποτελούν οι πηγές που εκβάλλουν ρύπους σε εντοπισμένα σημεία όπως σε αγωγούς, τάφρους και αποχετευτικά δίκτυα που καταλήγουν είτε σε υδάτινους αποδέκτες, είτε στο υπέδαφος. Ως πηγές θεωρούνται κυρίως :

- Βιομηχανικές μονάδες
- Μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων που απομακρύνουν μέρος των ρύπων

Μη σημειακές πηγές ρύπανσης είναι πηγές οι οποίες δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν σε κανένα ειδικό σημείο απορροής. Είναι συνήθως μεγάλες περιοχές που ρυπαίνουν το νερό με επιφανειακή απορροή, υπεδάφια ροή ή απόθεση στην ατμόσφαιρα. Τέτοιες είναι:

- Οι απορροές χημικών στα επιφανειακά νερά και η διαρροή τους στο έδαφος μέσα από χωράφια, υλοτομημένα δάση, δρόμοι, αποχετεύσεις

1.3. Αστικά απόβλητα

Αστικά απόβλητα είναι τα απόνερα αστικής προέλευσης. Αποτελούνται από νερό που προέρχεται από ανθρώπινη χρήση και απορρίπτεται σαν έκκριμα ή απόκριμα(κόπρανα, ούρα, κτλ.) και από νερό που έχει χρησιμοποιηθεί στις συνηθισμένες οικιακές χρήσεις (πλυσίματα, καθαριότητα, κτλ.).

Η μέση ποσότητα που αποχετεύει ο άνθρωπος την ημέρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι η αφθονία ή η έλλειψη νερού στο σπίτι και την περιοχή, το κόστος του νερού, το πολιτιστικό επίπεδο, η οικονομική κατάσταση.

Χαρακτηριστικά αποβλήτων:

- Τα απόβλητα παρουσιάζονται σαν πολυφασικό μίγμα, στο οποίο συνυπάρχουν στερεά, τέλεια διαλύματα, ελαιώδη υγρά και κολλοειδείς διασπορές.
- Η κύρια μάζα των λυμάτων είναι νερό.
- Το οργανικό περιεχόμενο των αποβλήτων αποτελείται από πρωτεΐνες (40-60%), υδατάνθρακες (25-50%) και λιπαρές ενώσεις (5-10%).
- Οι οργανικές αυτές ενώσεις συνυπάρχουν με τα προϊόντα αποικοδόμησης τους που είναι: αμινοξέα, αμμωνία, υδρόθειο, αλκοόλες, λιπαρά οξέα, φαινόλες, ινδόλη, διοξειδίο του άνθρακα, μεθάνιο, υδρογόνο, νιτρικά και νιτρώδη άλατα, θείο και θειικά άλατα καθώς και διάφορες άλλες οργανικές ενώσεις, όπως απορρυπαντικά και άλατα (ορθοφωσφορικά, πολυφωσφορικά κ.ά.).

- Το pH των αποβλήτων είναι ελαφρώς όξινο.
- Η θερμοκρασία τους είναι μερικούς βαθμούς μεγαλύτερη από εκείνη του περιβάλλοντος το χειμώνα και κάπως κατώτερη το καλοκαίρι.

Παρακάτω αναγράφονται οι πίνακες με την τυπική και ενδεικτική σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων :

Πίνακας 1 : Τυπική σύσταση ανεπεξέργαστων υγρών αστικών αποβλήτων (mg/l)

Παράμετρος (mg/l)	Αστικά απόβλητα		
	Ισχυρά	Μεσαία	Αδύνατα
Ολικά στερεά	1200	720	350
BOD	400	220	110
COD	1000	500	250
TOC	290	160	80
Ολικό Άζωτο	85	40	20
Ολικός Φώσφορος	15	8	4
Χλωρικά	100	50	30
Θειικά	50	30	20

Πίνακας 2 : Ενδεικτική σύσταση υγρών αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας

Αστικά κέντρα	Παράμετροι			
	Αιωρούμενα Στερεά (mg/l)	BOD ₅ (mg/l)	COD (mg/l)	Ολικό Άζωτο(mg/l)
Βόλος	300	330	720	56
Καβάλα	282	355	750	43
Αικατερίνη	230	280	450	35
Κως	300	240	620	45
Σπάρτη	230	323	700	31

Στον πίνακα 1 παρουσιάζεται η κατάταξη των Metcalf and Eddy τυπικών αστικών αποβλήτων σε ισχυρά, μεσαία και αδύνατα. Στον πίνακα 2 βλέπουμε τις παραμέτρους αστικών αποβλήτων σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας.

Τα αστικά ανεπεξέργαστα απόβλητα αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες (40 – 60%), υδρογονάνθρακες (25 – 50%), λιπίδια (10%), ουρία και από ένα μεγάλο πλήθος μετάλλων και ιχνοστοιχείων (As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Na, W, V, Zn, ενώσεις του βενζολίου, χλωριωμένες ενώσεις, φαινόλες). Τα σημαντικότερα θρεπτικά των αστικών αποβλήτων είναι το άζωτο και ο φώσφορος. Το άζωτο των οικιακών αποβλήτων βρίσκεται κυρίως με τη μορφή της ουρίας καθώς και στα κόπρανα και σε άλλες οργανικές ύλες. Η συγκέντρωση του ολικού αζώτου στα οικιακά απόβλητα μπορεί να ποικίλει από 20 – 70 mg/l. Σε νωπά απόβλητα, το αμμωνιακό άζωτο, που βρίσκεται με την μορφή ιόντων αμμωνίου και αμμωνίας, είναι περίπου το 60% του ολικού αζώτου. Νιτρώδη και νιτρικά, οξειδωμένες δηλαδή μορφές αζώτου, βρίσκονται σε ελάχιστες συγκεντρώσεις στα απόβλητα. Το οργανικό άζωτο των αποβλήτων και η ουρία υδρολύονται εύκολα σε αμμωνιακό άζωτο, έτσι ώστε σε απόβλητα που παραμένουν επί σημαντικό διάστημα στο δίκτυο, το ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου να φτάνει ή και να ξεπερνά το 80% του ολικού αζώτου.

Στα αστικά απόβλητα η ποσότητα του φωσφόρου ανά κάτοικο και ημέρα κυμαίνεται από 2,5 έως 4 g. Σημαντικό ποσοστό από τις ποσότητες αυτές (μέχρι και 50%) οφείλεται στη χρήση απορρυπαντικών.

Οι παραγόμενες ποσότητες αστικών αποβλήτων παρουσιάζουν μια σχετική σταθερότητα και εκτιμάται πως - με την προϋπόθεση ότι η εφαρμοζόμενη πολιτική διαχείρισης του νερού δεν ευνοεί την υπερκατανάλωσή του - η μέση ημερήσια παραγωγή ανά κάτοικο κυμαίνεται περίπου στα 160 με 170 λίτρα. Επομένως, για συγκεκριμένο πληθυσμό μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων.

1.4. Βιομηχανικά απόβλητα

Βιομηχανικά απόβλητα είναι τα απόβλητα υγρά διαφόρων βιομηχανιών ή άλλων εγκαταστάσεων, τα οποία περιέχουν υπολείμματα των χρησιμοποιούμενων ή των παραγόμενων υλών. Στα βιομηχανικά απόβλητα δεν περιλαμβάνονται αυτά που προέρχονται από τους χώρους εξυπηρέτησης προσωπικού όπως αποχωρητήρια, μαγειρεία, πλυντήρια κ.τ.λ.

1.5. Νομοθεσία

1.5.1 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 καλλιέργειας.

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 :

1. 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.
2. 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:

- a) Σύστημα χορήγησης αδειών για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Επιπλέον τεχνικούς ελέγχους για την παραπάνω επεξεργασία.
- b) Προδιαγραφές ποιότητας για το ανακτώμενο νερό που προορίζεται για διάφορες χρήσεις.
- c) 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.
- d) 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.
- e) 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.

1.5.2 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 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, διύλιση και απολύμανση και υποδηλώνει σαφώς πιο προχωρημένη επεξεργασία η οποία στοχεύει στην απομάκρυνση όλων σχεδόν των ιών.

1.5.3 Κανονισμοί άλλων χωρών εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στο Ισραήλ η χρήση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευσηκαλλιεργειών βαμβακιού άρχισε από πολύ νωρίς και πιο συγκεκριμέναστην 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 εκρών αστικών υγρών αποβλήτων. Εκτός από το Ισραήλ, που όπως προαναφέρεται πρωτοπορεί σε σχετικάαντικείμενα 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 εκρών για άρδευση. Ωστόσο, αυτά τα κριτήρια είναι εκτός από τη φιλοσοφία κανονισμού της Καλιφόρνιας 28.
- 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 απαγόρευε την χρήση εκρών 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 νόμου.

1.5.4 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 εκρών υγρών αποβλήτων είναι βέβαιο ότι θα θεσπιστούν σύντομα. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στη διαφορετικότητα Νοτίων και Βορείων χωρών σε ότι αφορά τη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων. Στην οδηγία 91 / 271 / EEC, άρθρο 12 παρ. 1, αναφέρεται ρητά ότι «επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα επαναχρησιμοποιούνται οποτεδήποτε θεωρούνται κατάλληλα»³⁰.

1.5.5 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 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).

1.5.6 Η κοινή υπουργική απόφαση 145116/2011

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 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 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:

- άρδευση
- βιομηχανική χρήση
- τροφοδότηση/ εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων
- 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.

1.5.6.1 Σκοπός

Η παρούσα Κοινή Υπουργική Απόφαση στοχεύει στην :

- Προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και, μέσω αυτής, την εξοικονόμηση των υδατικών πόρων, γεγονός το οποίο θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την προϊούσα λειψυδρία και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, θα βοηθήσει στην μείωση της έντονης ταπείνωσης και υφαλμύρισης των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την υπεράντληση, την λειψυδρία και την είσοδο του θαλάσσιου μετώπου σε παραλιακές περιοχές.
- Βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της τροφοδότησης των υπόγειων υδροφορέων.

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

1.5.6.2 Πεδίο εφαρμογής

Η **ΚΥΑ** εφαρμόζεται για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων:

- Υγρών οικιακών ή αστικών λυμάτων ή βιομηχανικών λυμάτων που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της **ΚΥΑ 5673/400/1997**, ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης.
- 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:

- Επεξεργασία του γάλακτος
- Παραγωγή σπυροκηπευτικών προϊόντων
- Παραγωγή και εμφιάλωση μη αλκοολούχων ποτών
- Μεταποίηση γεώμηλων
- Βιομηχανία κρέατος
- Ζυθοποιία
- Παραγωγή αλκοόλης και αλκοολούχων ποτών
- Παραγωγή ζωοτροφών από φυτικά προϊόντα
- Παραγωγή ζελατίνας και κόλλας από δέρματα και οστά ζώων
- Μονάδες παραγωγής βύνης
- Μεταποιητική βιομηχανία ιχθύων

1.5.6.3 Τύποι επαναχρησιμοποίησης

Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων επιτρέπεται για:

- γεωργική χρήση (άρδευση),
- τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων,
- αστική και περιαστική χρήση,
- βιομηχανική χρήση
- υδατικά συστήματα του άρθρου 7 του Π.Δ. 51/2007.

Δεν υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας απόφασης:

- η ανακύκλωση βιομηχανικών αποβλήτων
- η άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση, με εξαίρεση τις περιπτώσεις που αναφέρονται στο άρθρο 8
- επαναχρησιμοποίηση για χρήσεις κολύμβησης (πισίνες)
- άλλες οικιακές χρήσεις

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

- a) Άρδευση, που διακρίνεται σε:
- Περιορισμένη
 - Απεριόριστη
- b) Βιομηχανική χρήση, που διακρίνεται σε:
- Επαναχρησιμοποίηση ως νερό ψύξης μιας χρήσης.
 - Άλλες βιομηχανικές χρήσεις όπως:
 - επανακυκλοφορούμενο νερό ψύξης
 - νερό για λέβητες
 - νερό διεργασιών
- c) Τροφοδότηση/ Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, που διακρίνεται σε:
- Τροφοδότηση με διήθηση μέσω εδαφικού στρώματος
 - Τροφοδότηση με γεωτρήσεις
 - Αστική και Περιαστική επαναχρησιμοποίηση

Οι προαναφερόμενοι τύποι επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν είναι επιτρεπτοί για το σύνολο του πεδίου εφαρμογής της **KYA**.

Οι επιτρεπόμενες μορφές επαναχρησιμοποίησης σε συνάρτηση με την πηγή παραγωγής των υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3 : Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης ανάλογα με την πηγή των υγρών αποβλήτων

Τύπος υγρών αποβλήτων	Απόβλητα	Δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης
Απόβλητα που εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/1997 , ασχέτως μεγέθους εγκατάστασης	Οικιακά Αστικά Βιομηχανικά	1. Άρδευση 2. Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων 3. Αστική και περιαστική χρήση 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	Υγρά βιομηχανικά απόβλητα	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

Πιο αναλυτικά οι τέσσερις δυνατοί τύποι επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων:

Επαναχρησιμοποίηση για άρδευση

Δύο τύποι επαναχρησιμοποίησης υπάρχουν στην περίπτωση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα:

- 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.
- Απεριόριστη άρδευση, που αφορά σε είδη καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα καταναλώνονται ωμά, π.χ. λαχανικά, αμπέλια, οπωροφόρα δέντρα, 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:

- Άμεσος εμπλουτισμός μέσω γεωτρήσεων υπό πίεση ή με βαρύτητα.
- 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, συμπεριλαμβανόμενης 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. Οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης μεταξύ άλλων νυμπεριλαμβάνουν: 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.

1.6 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.

1.6.1 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.

1.6.2 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.

1.6.3 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 νερόκατεργασίας ή βιομηχανικό νερό.
4. το νερό ψύξης (κυρίαρχη χρήση με την μεγαλύτερη ζήτηση).

1.6.4 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 νερού.

1.6.5 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, γήπεδων 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.
- Έλεγχο σκόνης και παραγωγή σκυροδέματος σε δομικά έργα.
- Πυροπροστασία.
- Καθαρισμό τουαλετών σε εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια.

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 Η προστασία από εσφαλμένη λειτουργία του συστήματος,
- *iii Η προστασία από συνδέσεις με το σύστημα πόσιμου νερού, και
- *iv Η μη εσφαλμένη χρήση του ανακτημένου νερού.

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 Φλώριδας (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.

1.6.6 Ύδρευση- Πόση

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

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

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων με Τεχνολογία Βιοαντιδραστήρα Μεμβρανών (Membrane BioReactor)

2.1 Σύστημα επεξεργασίας MBR

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 του κόστους λειτουργίας - συντήρησης. 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, αλλά και βέβαια οι οσμές και ο θόρυβος που παράγει.

Τα παραπάνω αποτελούν την κύρια αιτία της μη κοινωνικής αποδοχής μιας τέτοιας κλασσικής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, με αποτέλεσμα την δυσχέρεια στην εξεύρεση χώρου. Το πρόβλημα διογκώνεται με την απαίτηση, για αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων, καθ' όσον απαιτούνται περισσότερες της μιας μονάδες επεξεργασίας λυμάτων για έναν εκτεταμένο Δήμο.

Για παράδειγμα, μια κλασσική μονάδα επεξεργασίας λυμάτων για 10.000 ισοδύναμους κατοίκους απαιτεί έκταση περίπου 5 στρεμμάτων, ενώ για 17.000 απαιτείται έκταση περίπου 8-9 στρεμμάτων. 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 τοποθεσίες τέτοιων μονάδων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η καθυστέρηση υλοποίησης μιας τέτοιας κλασσικής μονάδας, στην καλύτερη περίπτωση ή η επιλογή πολύ απομακρυσμένου χώρου με ό,τι 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 είναι η μέθοδος Membrane BioReactor (MBR).

Η μέθοδος MBR είναι κατ' ουσίαν συγκερασμός ενεργού ιλύος και διύλισης. 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 ίσης περίπου με το 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:

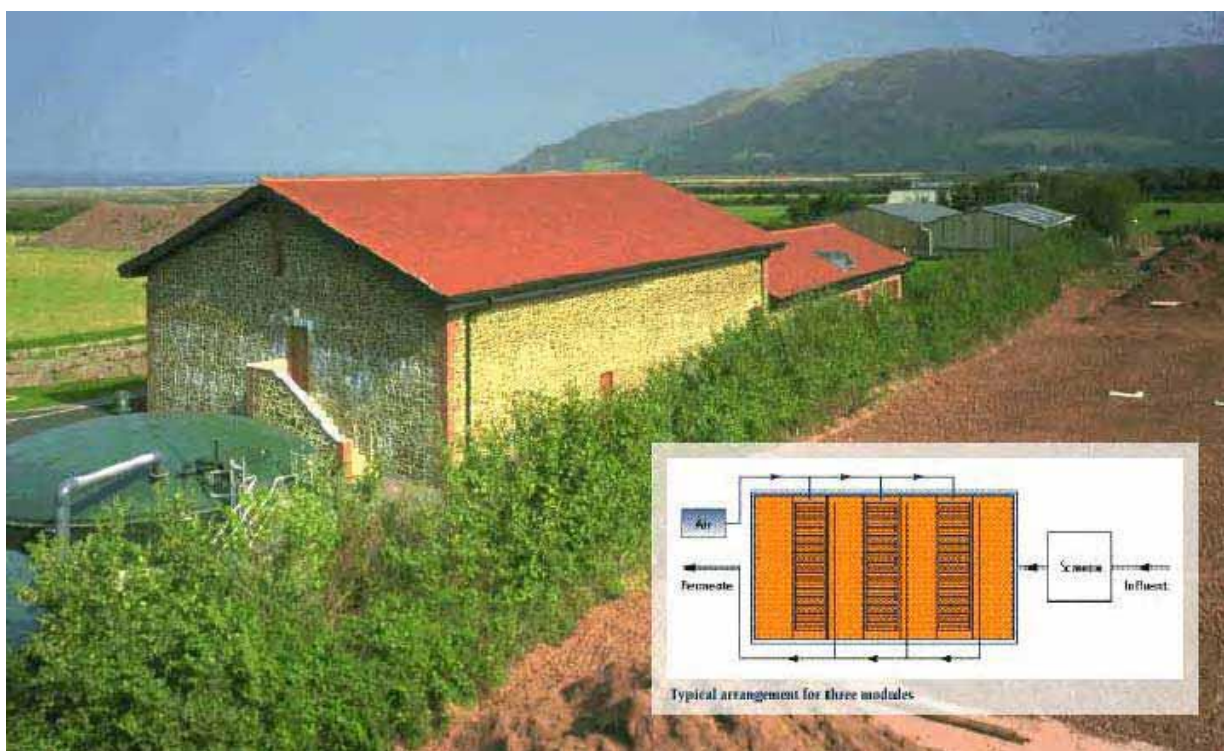
- Η μέθοδος δεν είχε δοκιμαστική εμπειρία
- Υψηλά κόστη κατασκευής και κυρίως λειτουργίας (Μεμβράνες - Ενέργεια).
- Απαίτηση για ειδικευμένο προσωπικό λειτουργίας
- Άγνωστες οι απαιτήσεις λειτουργίας και συντήρησης
- Άγνωστος ο ρυθμός απόρριψης (αντικατάστασης) των μεμβρανών
- Μη απαίτηση υψηλών βαθμών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

2.2 Εφαρμογές MBR

Η μέθοδος MBR είναι μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων τελευταίας τεχνολογίας και αποτελεί μια έξυπνη, προσαρμοσμένη στο περιβάλλον και ορθή λύση στο πρόβλημα. Ιδιαίτερα όταν μιλάμε για τουριστικές περιοχές, όπου η εξεύρεση χώρου επεξεργασίας λυμάτων που να έχει 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 σε ό,τι αφορά την ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων από μια αντίστοιχη μονάδα ενεργού ιλύος.

Η αισθητική της περιοχής δεν επηρεάζεται αρνητικά, ενώ η εν λόγω μονάδα μπορεί να εγκατασταθεί εντός κτιρίου με οικιστικά χαρακτηριστικά της γύρω περιοχής και έτσι να προσαρμοσθεί άριστα στο περιβάλλον (Βλέπε Εικόνες 1 και 2). Η μέθοδος αυτή επιλέγεται με ταχείς ρυθμούς σε πολλά μέρη της Ευρώπης, της Βόρειας Αμερικής και της 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, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι λίγο υψηλότερο(5% έως 10%), με σαφείς όμως τάσεις μείωσης.



Εικόνα 1: Παράδειγμα πραγματικής μονάδας MBR στην Αγγλία.



Εικόνα 2: Το κτήριο στα αριστερά, αν και φαινομενικά απίστευτο, είναι μονάδα επεξεργασίας MBR στις Η.Π.Α.

2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα MBR

Πλεονεκτήματα

1. Υψηλής ποιότητας εκροή, ελεύθερη στερεών.
2. Δυνατότητα απολύμανσης εκροής χωρίς χρήση χημικών.
3. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών 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 στερεά, 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 και μεγάλες ηλικίες λάσπης, 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).

Μειονεκτήματα

1. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών προκύπτουν περιορισμοί λόγω ανεπαρκούς αερισμού στον τρόπο λειτουργίας τους, εξαιτίας των μεγάλων συγκεντρώσεων MLSS που αναπτύσσονται με αποτέλεσμα ο παροχετευόμενος αέρας να καταναλώνεται κατά βάση για την κάλυψη των αναγκών της κυτταρικής συντήρησης και όχι για 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 τηςελεύθερη επιφάνεια του.
2. Στους Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών 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 μεμβράνες πρέπει να καθαρίζονται με συγκεκριμένους τρόπους, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και να αντικαθιστούνται όταν χαλάσει η λειτουργικότητά τους

Οι Βιοαντιδραστήρες Μεμβρανών 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων με Τεχνολογία Αντίστροφης Οσμωσης (Reverse Osmosis –RO)

3.1 Σύστημα Επεξεργασίας RO

Η αντίστροφη ώσμωση είναι μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδος επεξεργασίας του νερού που βασίζεται στη χρήση ημιπερατών μεμβρανών και πίεσης. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική στην απαλλαγή του νερού από τα διαλυτά άλατα και οργανικούς ρύπους.

Οι μεμβράνες αυτές είναι συνήθως οξικής κυτταρίνης και διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος των ρύπων και το pH. Σε αρκετές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία των ρύπων με σκοπό την απομάκρυνση των κολλοειδών σωματιδίων, ώστε να μειωθεί το φράξιμο των πόρων της μεμβράνης και περαιτέρω να αποφευχθεί η θολερότητα και η ύπαρξη ορισμένων μετάλλων (π.χ. σίδηρος).

Η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης βρίσκει εφαρμογή για την απομάκρυνση πληθώρας ουσιών. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οργανικές ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους οργανικά συστατικά και όχι τα ελεύθερα πτητικά οξέα. Υπερτερεί έναντι άλλων μεθόδων επεξεργασίας νερού καθότι επιτυγχάνει απόρριψη μεγάλων τιμών ρυπαντικού φορτίου. Επιπλέον οι εγκαταστάσεις δεν απαιτούν πολύ χώρο, κρατώντας το κόστος χαμηλό. Η μέθοδος αυτή θα αναλυθεί λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες.

3.1.1 Ιστορική αναδρομή

Οι έννοιες της ώσμωσης και της αντίστροφης ώσμωσης είναι γνωστές εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Το 1748 ο Γάλλος επιστήμονας Nollet πραγματοποίησε τις πρώτες μελέτες σχετικά με την ώσμωση και ακολούθησαν πολλοί άλλοι ερευνητές κατά τη διάρκεια των επόμενων δύο αιώνων. Το 1877, οι βοτανολόγοι Wilhelm Pfeffer και Hugo de Vries ήταν αυτοί που ουσιαστικά αναφέρθηκαν στην ωσμωτική πίεση χρησιμοποιώντας παράλληλα την έννοια της υδροστατικής πίεσης. Τα πειράματα του Pfeffer έθεσαν τις βάσεις για την ερμηνεία του φαινομένου της ωσμωτικής πίεσης δια μέσου του νόμου του van't Hoff (Williams M., 2003ii).

Ωστόσο, η χρήση της αντίστροφης όσμωσης (RO) ως μια διαδικασία διαχωρισμού είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία. Στην πραγματικότητα, στα τέλη της δεκαετίας του 1950 ο Reid χρησιμοποιώντας οξική κυτταρίνη ως μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης απέδειξε ότι η μεμβράνη αυτή είναι ικανή να διαχωρίζει το αλάτι από το νερό, ακόμα κι αν η ροή του νερού που υπάρχει είναι πολύ μικρή ώστε να είναι πρακτικό. Στη συνέχεια, στις αρχές της δεκαετίας του 1960, οι Loeb και Sourirajan ανέπτυξαν μια μέθοδο για την παραγωγή ασύμμετρων μεμβρανών οξικής κυτταρίνης με σχετικά υψηλή ικανότητα διαχωρισμού και υψηλή ροή νερού, καθιστώντας έτσι τους διαχωρισμούς με RO εφικτούς και χρήσιμους (S. Loeband, S. Sourirajan, 1963).

3.1.2 Το φαινόμενο της αντίστροφης ώσμωσης

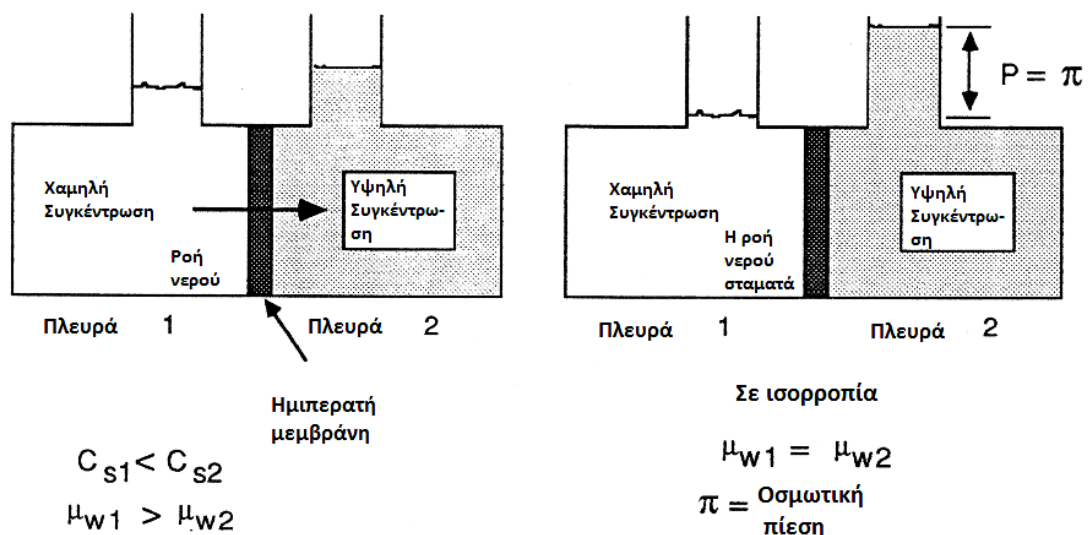
Η αντιστρεπτή όσμωση είναι μια διαδικασία ιδιαίτερης σημασίας όσον αφορά τις μεθόδους αφαλάτωσης. Η τεχνική αυτή βρίσκει εφαρμογές από τις πιο μικρές έως τις μεγάλες εγκαταστάσεις ύδρευσης. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου έναντι

άλλων μεθόδων επεξεργασίας νερού, όπως της απόσταξης είναι ότι το κόστος λειτουργίας της είναι μικρότερο για την παραγωγή μικρών ποσοτήτων γλυκού νερού.

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία, η οποία έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό τη χρήση των ημιπερατών μεμβρανών. Οι ημιπερατές μεμβράνες είναι διαπερατές από το νερό, αλλά ουσιαστικά αδιαπέραστες από το αλάτι, δηλαδή λειτουργούν ως μέσον διαχωρισμού που επενεργεί στην όλη διαδικασία σαν φίλτρο καθαρισμού του νερού.

Το φαινόμενο της αντιστρεπτής ώσμωσης μπορεί να περιγραφεί με ένα δοχείο που χωρίζεται σε δύο διαμερίσματα με μια μεμβράνη (Αλεξάκης Α., 2003). Η μεμβράνη αποτελείται από πορώδες υλικό, με πολύ μικρούς πόρους. Στο ένα διαμέρισμα (διαμέρισμα Α), υπάρχει διάλυμα καθαρού, αποσταγμένου νερού. Στο άλλο διαμέρισμα (διαμέρισμα Β), υπάρχει διάλυμα (ίδια ποσότητας σε σχέση με αυτήν του Α), αλλά στην οποία περιέχονται άλατα (γραμμάρια χλωριούχου νατρίου, NaCl). Οι στάθμες τους βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Όσο περνάει η ώρα παρατηρείται ότι ανεβαίνει η στάθμη του διαλύματος Β, αυτού που περιέχει το διάλυμα άλατος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια του νερού του Α διαμερίσματος, διαπερνούν τη λεπτή διαχωριστική μεμβράνη και εισέρχονται στο διάλυμα Β. Συνεπώς ο όγκος διαλύματος στο διαμέρισμα Β αυξάνεται (Καραϊσκάκης Γ., 1998).

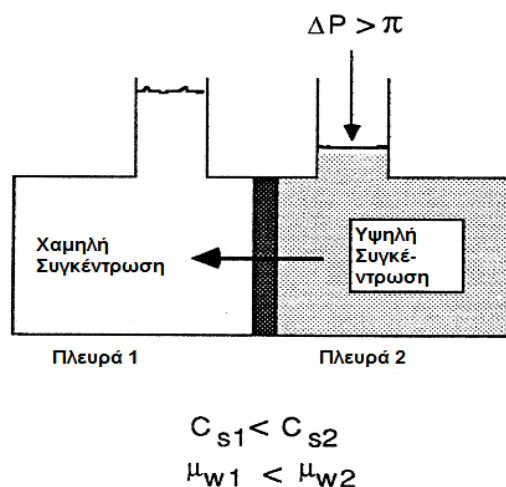
Η μετακίνηση αυτή που εκτελείται ανάμεσα στα δυο διαλύματα αποτελεί ουσιαστικά ένα φυσικό φαινόμενο. Σκοπός αυτής της διέλευσης των μορίων είναι η εξίσωση των συγκεντρώσεων στα δυο επικοινωνούντα δοχεία. Το φαινόμενο τερματίζεται όταν ο όγκος του διαλύματος στο πυκνότερο διάλυμα έχει αυξηθεί από την είσοδο του διαλύτη, οπότε και μεταβάλλεται η υδροστατική πίεση. Όταν όμως χρησιμοποιηθεί ένας πλωτήρας στην επιφάνεια του υγρού Β με τέτοιο τρόπο που να εφαρμόζει στα τοιχώματα του δοχείου και ασκηθεί πίεση, τότε το διάλυμα Β παύει να έχει ανοδική πορεία και εμφανίζεται αντίσταση στην πορεία του νερού από το Α προς το Β. Η ροή νερού παύει να υπάρχει, ενώ υπάρχει ισορροπία πιέσεων ανάμεσα στα δύο διαλύματα. Η πίεση που προκλήθηκε για να σταματήσει αυτή η άνοδος της στάθμης του διαλύματος Β, είναι η οσμωτική πίεση (εικόνα 3).



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της ώσμωσης (WilliamsM., 2003ii).

Όσο η ασκούμενη πίεση προς το διάλυμα B αυξάνεται, το νερό σταματά να διαπερνά τη μεμβράνη και παρατηρείται αναστροφή του φαινομένου. Συγκεκριμένα παρατηρείται ροή νερού που υπάρχει στο διάλυμα B προς το διαμέρισμα A, με αποτέλεσμα η στάθμη του A να ανυψώνεται και, φυσικά, του B να κατεβαίνει. Ουσιαστικά πραγματοποιείται διέλευση μόνο του καθαρού νερού από τους πόρους της μεμβράνης, ενώ το άλας (NaCl) δεν διέρχεται και παραμένει στο χώρο του διαμερίσματος B.

Συνέπεια αυτού του φαινομένου είναι η αύξηση της πίεσης στο διαμέρισμα B, ενώ ο όγκος του νερού στην πλευρά A να αυξάνεται με νέο καθαρό νερό από την πλευρά B. Παρατηρείται επίσης άνοδος της στάθμης του νερού του A, που είναι υψηλότερη σε σχέση με του B, ενώ στο B υπάρχει ακόμα μια μικρή ποσότητα συμπυκνωμένου διαλύματος NaCl. Στην πλευρά A θα υπάρχει περισσότερη ποσότητα καθαρού νερού σε σχέση με την αρχική ποσότητα (εικόνα 4).



Εικόνα 4 : Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της αντίστροφης ώσμωσης (Williams M., 2003ii).

3.1.3 Ερμηνεία της αντίστροφης ώσμωσης

Η κίνηση του μορίου του διαλύτη σε ένα διάλυμα μετριάζεται από τα μόρια του διαλύματος που το περιβάλλουν. Η κίνηση του διαλύτη καθορίζεται ολοκληρωτικά από τις θερμικές του συγκρούσεις με τα μόρια του διαλύματος που το περιβάλλουν. Ωστόσο, η μέση θερμική ταχύτητα του μορίου του διαλύτη είναι ίδια με αυτή που θα είχε αν ήταν ελεύθερο σε αέρια φάση, χωρίς να υπάρχουν κοντά του άλλα διαλυτά μόρια.

Κάθε φορά η κίνηση του διαλύτη παρεμποδίζεται από τη μεμβράνη, θα μεταφέρει ορμή, και, κατά συνέπεια, θα δημιουργεί μια πίεση προς αυτήν. Δεδομένου ότι η ταχύτητα είναι η ίδια με εκείνη ενός ελεύθερου μορίου, η πίεση θα είναι η ίδια με την πίεση ενός ιδανικού αερίου της ίδιας μοριακής συγκέντρωσης. Ως εκ τούτου, η οσμωτική πίεση π , δίνεται από τον τύπο van't Hoff, η οποία είναι ταυτόσημη με τον τύπο πίεσης ενός ιδανικού αερίου:

$$P = cRT$$

Όπου,

C: η μοριακή συγκέντρωση του.

R: η σταθερά των αερίων.

T: η θερμοκρασία.

Η οσμωτική πίεση δεν εξαρτάται από το είδος της διαλυτής ουσίας, ή το μοριακό μέγεθος, αλλά μόνο από τη μοριακή συγκέντρωσή του, όπως αναφέρει ο τύπος.

$$C = n/V$$

$$P = cRT = (n/V)RT$$

$$PV = nRT$$

Όπου V: ο όγκος του διαλύματος και n: ο αριθμός των μορίων του διαλύτη.

Σύμφωνα με τους νόμους διατήρησης της ενέργειας και της ορμής κάθε φορά που τα σωματίδια συγκρούονται με έναν κινούμενο τοίχο, θα αλλάξουν κατεύθυνση και θα αυξήσουν ή θα μειώσουν την ταχύτητά τους. Έτσι, μεταφέρουν τόσο ορμή όσο και ενέργεια στον τοίχο. Ως εκ τούτου, η διαδικασία των ελαστικών συγκρούσεων με κινούμενο τοίχο είναι ο μηχανισμός με τον οποίο η μικροσκοπική κινητική ενέργεια των σωματιδίων μετατρέπεται σε μακροσκοπικό μηχανικό έργο. Ο νόμος διατήρησης της ορμής απαιτεί τα μόρια της διαλυτής ουσίας, που δημιουργούν οσμωτική πίεση στην ημιπερατή μεμβράνη, να μπορούν να παράγουν, μέσω του όγκου του διαλύματος, την ίδια οσμωτική πίεση σε όλα τα όρια του διαλύματος, περιλαμβάνοντας την ελεύθερη επιφάνειά του. Από την άποψη αυτή η οσμωτική πίεση ενεργεί σύμφωνα με το νόμο Pascal. Η αρχή του Pascal δηλώνει ότι "η αλλαγή της πίεσης ενός κλειστού ασυμπίεστου ρευστού μεταφέρεται αμείωτη σε κάθε μέρος του ρευστού και προς όλες τις διευθύνσεις και σε όλο το βάθος του".

Το αλάτι και το νερό διαπερνούν τις μεμβράνες αντίστροφης όσμωσης σύμφωνα με ένα μηχανισμό που στηρίζεται στη διάχυση. Η ροή του νερού (J_i) συνδέεται με την πίεση και τη συγκέντρωση των συστατικών που υπάρχουν στις δύο πλευρές της μεμβράνης σύμφωνα με την εξίσωση

$$J_i = A(\Delta p - \Delta \pi)$$

Όταν η ασκούμενη πίεση είναι μικρή και η διαφορά πίεσης κατά μήκος της μεμβράνης (Δp) είναι μικρότερη από την οσμωτική πίεση ($\Delta \pi$), τότε το νερό μετακινείται από την πλευρά του αραιού προς την πλευρά της μεμβράνης του πυκνού διαλύματος άλατος λόγω του φαινομένου της όσμωσης. Χωρίς την άσκηση πίεσης η ροή θα πραγματοποιούνταν των υδάτων με αντίθετη φορά προς το πυκνότερο διάλυμα.

Η ροή του άλατος μπορεί να περιγραφεί ως συνάρτηση της συγκέντρωσης του άλατος στη διατροφή (C_{jo}) και διήθημα (C_{jl}) πλευρές της μεμβράνης

$$J_j = B(C_{jo} - C_{jl})$$

Όπως προκύπτει από τις δύο αυτές εξισώσεις η ροή του νερού είναι ανάλογη προς την ασκούμενη πίεση, αλλά η ροή του άλατος είναι ανεξάρτητη. Αυτό σημαίνει ότι η μεμβράνη γίνεται πιο επιλεκτική, καθώς αυξάνεται η πίεση.

Οι πιο σημαντικές παράμετροι λειτουργίας στη ροή του νερού και την κατακράτηση άλατος από την μεμβράνη είναι: η ασκούμενη πίεση, η συγκέντρωση

του άλατος στο διάλυμα και η θερμοκρασία. Όσο αυξάνεται η πίεση, τόσο αυξάνεται η ροή νερού και η απόρριψη του άλατος, αλλά η ροή του νερού αυξάνεται κατά γραμμικό τρόπο, ενώ του άλατος αυξάνεται πιο δραματικά. Η αύξηση της συγκέντρωσης άλατος στο διάλυμα αυξάνει αποτελεσματικά την οσμωτική πίεση, ως εκ τούτου, σε σταθερή πίεση τροφοδοσίας, η ροή του νερού μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης άλατος. Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι πιο περίπλοκη. Η μεταφορά τόσο του άλατος και του νερού διαμέσου της μεμβράνης είναι μια ενεργοποιημένη διαδικασία, και τόσο το άλας όσο και το νερό αυξάνονται εκθετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η επίδραση της στη ροή του νερού είναι αρκετά δραματική, ωστόσο η επίδραση της στη ροή του άλατος είναι ακόμη πιο αισθητή. Αυτό σημαίνει ότι η απόρριψη του συντελεστή άλατος (B/A), μειώνεται ελαφρά καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.

3.2 Εφαρμογές RO

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια καθιερωμένη τεχνολογία διήθησης η οποία εφαρμόζεται ευρέως οπουδήποτε το καθαρό νερό απαιτείται. Οι συνηθέστερες χρήσεις και εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- Επεξεργασία πόσιμου νερού δικτύων ύδρευσης - γεωτρήσεων
- Αφαλάτωση υφάλμυρου – θαλασσινού νερού
- Βιοϊατρικές εφαρμογές
- Φαρμακευτική παραγωγή
- Εργαστηριακές εφαρμογές
- Χημικές εφαρμογές
- Αιμοδιάλυση
- Πλυντήρια αυτοκινήτων
- Βιομηχανίες παρασκευής τροφίμων
- Πάγος-παραγωγή
- Ξενοδοχεία
- Χώροι εστίασης - Εστιατόρια
- Θερμοκήπια

3.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα RO

Πλεονεκτήματα

- Το σύστημα μπορεί να απαλλαγούμε από τη σκουριά και τα μικροσκοπικά συντρίμια.
- Μπορεί να φιλτράρει επίσης, σίδηρο, μαγγάνιο και αλάτι, καθώς και άλλα επιβλαβείς ορυκτά.
- Επίσης χημικές ουσίες όπως το φθόριο και το χλώριο μπορεί να απομακρυνθεί.
- Βακτήρια δεν μπορούν να περάσουν διαμέσου των φίλτρων.
- Το σύστημα αντίστροφης όσμωσης δεν σπαταλά τόσο πολύ νερό, σε σύγκριση με άλλα συστήματα διήθησης.
- Το νερό προέκυψε από η διήθηση κατεργάζεται και γίνεται πιο αποτελεσματική ενάντια λεκέδες.

- Το νερό γίνεται πόσιμο και μπορείτε να εξοικονομήσετε κάποια χρήματα για εμφιαλωμένο νερό.

Μειονεκτήματα

- Τα ευεργετικά αλκαλικά μέταλλα απομακρύνονται επίσης μαζί με άλλες επιβλαβείς ορυκτά, καθιστώντας το νερό πιο όξινο.
- Πόσιμο νερό που έχει χαμηλότερη ή μηδενική περιεκτικότητα σε αλκαλικά απορροφά το ασβέστιο και άλλα μέταλλα από το σώμα σας.
- Επίσης το νερό μπορεί να γίνει πολύ όξινο και διαβρώνουν σωλήνες και άλλες συσκευές του συστήματος νερού.
- Για κάθε γαλόνι 1 του νερού που παράγεται από την αντίστροφη όσμωση, σπαταλώνται 3 έως 5 γαλόνια. Αυτό κάνει τη διαδικασία λίγο ακριβό.
- Η διαδικασία είναι αρκετά βραδεία, ένα σύστημα που παράγει 15 γαλόνια την ημέρα.
- Μεμβράνες διήθησης χρειάζεται αντικατάσταση μία φορά σε μια στιγμή, την προσθήκη στο κόστος.
- Η διαδικασία εγκατάστασης είναι αρκετά πολύπλοκη και χρειάζεται επαγγελματική βοήθεια.
- Για οικιακή χρήση, το σύστημα αντίστροφης όσμωσης γίνεται αναποτελεσματική και μη πρακτικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Συνδυασμός Τεχνολογιών MBR & RO

Μία διεργασία συνεπεξεργασίας με μεμβράνες όπως μικροδιήθησης ή υπερδιήθησης με αντίστροφη ώσμωση γίνεται πολύ ελκυστική ως τεχνολογία για την ανάκτηση υγρών αποβλήτων κυρίως για την υψηλή απόδοση. Αποδεικνύεται μια εύκολη λειτουργικά και πλέον αρκετά οικονομική λύση (Tam et al., 2007). Τα αιωρούμενα στερεά και τα κολλοειδή αφαιρούνται από τη μεμβράνη (MF ή UF), ενώ η μεμβράνη αντίστροφης ώσμωσης (RO) απομακρύνει τα διαλυμένα στερεά και τις οργανικές ουσίες (Tam et al., 2007). Ο συνδυασμός MBR+RO έχει μια πολύ καλή δυναμική για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και ταυτόχρονα την παραγωγή πολύ υψηλής καθαρότητας ανακυκλωμένου νερού (Tam et al., 2007).

Η τεχνολογία RO έχει καταγράψει πολύ υψηλές απομακρύνσεις (>95%) φυσικών οργανικών ουσιών (NOM) (Comerton et al., 2005). Ακόμη προσφέρει πολύ καλή απομάκρυνση της διαλυμένης οργανικής μάζας και TOC με απομακρύνσεις 88% και >97% αντίστοιχα (Comerton et al., 2005). Ακόμη η αντίστροφη ώσμωση αφαιρεί τα θρεπτικά των αποβλήτων και ιδιαίτερα το άζωτο (σε μορφή νιτρικού χαλκού) με απομακρύνσεις 88-97% (Comerton et al., 2005). Η ελλιπής απονιτροποίηση σε ένα σύστημα MBR μπορεί να επιφέρει μεγάλες συγκεντρώσεις νιτρικών στην εκροή. Ο συνδυασμός λοιπόν των δύο μεμβρανών δίνει ασφαλή αποτελέσματα σε αυτόν τον τομέα. Ο συνδυασμός επεξεργασίας ακόμη έδωσε πολύ υψηλή απομάκρυνση ιών (>5,3 log) και μηδενίζει τους αριθμούς των παθογόνων στην εκροή (Comerton et al., 2005).

Η τεχνολογία αυτή προτείνεται ως μια πολλά υποσχόμενη, αλλά μένουν πολλά ζητήματα να ερευνηθούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σχετιζόμενες με αυτό το θέμα επιστημονικές δημοσιεύσεις είναι πολύ περιορισμένες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Αναλυτικές Μέθοδοι και Τεχνικές Ελέγχου Ρύπανσης Υγρού Απόβλητου

5.1 Εισαγωγή

Όλα τα φυσικά νερά περιέχουν αιωρούμενες ή αδιάλυτες ανόργανες ή οργανικές χημικές ουσίες σε κάποιο βαθμό. Ανεξάρτητα της υψηλής συγκέντρωσης τους ή μη πρέπει να θεωρούνται ως προσμείξεις ανάλογα με τον τρόπο χρήσης του νερού. Οι ακαθαρσίες μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής στον παρακάτω πίνακα :

Πίνακας 1 : Ακαθαρσίες που απαντώνται στο νερό, ταξινομημένες ανά κατηγορία (Robert C. Rosaler, 2002)

Ανόργανες	Οργανικές	Βιολογικά ενεργές
Αιωρούμενες	Αιωρούμενες	Βακτήρια
Κολλοειδείς	Αμιγείς	Ιοί
Διαλυτές	Ανάμεικτες	Άλγη
	Ευδιάλυτες	Πρωτόζωα

Το τρεχούμενο νερό μπορεί να περιέχει :

- Από άμμο μέχρι και χαλίκια διαφόρου μεγέθους
- Οργανικά στερεά, άλγη, και βακτήρια
- Διαλυμένα ανόργανα στερεά όπως:
 1. τα διττανθρακικά
 2. τα θειικά και χλωριούχα άλατα ασβεστίου
 3. το μαγνήσιο
 4. τα νάτριο
- Ενώσεις του διοξειδίου του πυριτίου, του σιδήρου και του μαγγανίου
- Μέταλλα και οργανικές ενώσεις χωρίς σίδηρο μπορούν να είναι παρόντες σε χαμηλές συγκεντρώσεις ,τα οποία ,ωστόσο, υπερβαίνουν τα προτεινόμενα όρια της EPA (Environmental Protection Agency)
- Διαλυμένο ασβέστιο και ενώσεις του μαγνησίου (που ορίζεται ως σκληρότητα)τα οποία οδηγούν σε προβλήματα λειτουργίας των λεβήτων και των συστημάτων ψύξης
- Άλλα διαλυμένα στερεά που μπορούν να θεωρηθούν ως προσμείξεις, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις τους και την προβλεπόμενη χρήση του νερού

Έχει αποδειχτεί εμπειρικά ότι ποικίλοι παράγοντες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν παρθεί μια απόφαση σχετικά με την ποιότητα των υδάτων. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να πραγματοποιούνται μετρήσεις και έλεγχος των συγκεντρώσεων των διαλυμένων ανόργανων και οργανικών ουσιών. Ο έλεγχος αυτός πρέπει να επεκταθεί και σε άλλα συστατικά, όπως βαρέα μέταλλα, απορρυπαντικά, φυτοφάρμακα κ.α. Προς την ποιοτική προσέγγιση του πόσιμου νερού έχουν τεθεί κάποια όρια στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού προς ανθρώπινη κατανάλωση. Τα ποιοτικά όρια ορίζονται με βάση χημικές και βιοχημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Παρακάτω ,στον πίνακα 10, παρουσιάζονται επιγραμματικά οι δείκτες ποιότητας του νερού:

Πίνακας 2 : Ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού (Νταρακάς Ε., 2009)

Ποιοτικά χαρακτηριστικά	Παράμετρος
<p>Φυσικοχημικά</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Θερμοκρασία • Οξύτητα – Αλκαλικότητα • Αγωγιμότητα – Αλατότητα • Θολότητα • Οσμή • Χρώμα • Στερεές ουσίες • Άλατα – Σκληρότητα • Διάφορα κατιόντα (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, NH_4^+) • Διάφορα ανιόντα (NO_2^-, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^-) • Θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si) • Ιχνοστοιχεία και μέταλλα
<p>Βιοχημικά</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Διαλυμένο οξυγόνο (DO) • Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) • Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD) • Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

<p>Μικροβιολογικά</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ιοί • Βακτήρια • Μύκητες • Φύκια • Πρωτόζωα • Έλμινθες • Μαλακόστρακα
------------------------------	---

Πιο αναλυτικά οι παράμετροι ρύπανσης του νερού :

- **Θερμοκρασία νερού**

Η θερμοκρασία νερού είναι μια σημαντική παράμετρος γιατί συμμετέχει σε μια πληθώρα φυσικοχημικών και βιοχημικών αντιδράσεων. Το νερό σε ένα υδάτινο περιβάλλον έχει σχέση με την ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου και είναι αυτό που δρα σαν καταλύτης των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο σύστημα αυτό. Η μέτρηση της θερμοκρασίας είναι μια εύκολη διαδικασία, αλλά και ενδεικτική για τον έλεγχο ενός υδάτινου συστήματος. Όλες οι μονάδες επεξεργασίας νερού έχουν αυτόματες ρυθμίσεις μέτρησης και καταγραφής της θερμοκρασίας στις διάφορες φάσεις της επεξεργασίας. Το πόσιμο νερό πρέπει να διαθέτει επιτρεπτά όρια ανάμεσα στους 5 και 12° C, άνω αυτών των ορίων το νερό παύει να είναι αισθητικά και γευστικά ικανοποιητικό. Πάνω από τους 12°C το νερό καθίσταται λιγότερο κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις, διότι ευνοεί τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών.

- **Οσμή και Γεύση**

Το νερό είναι άγευστο και άοσμο ή καλύτερα έχει τη δική του χαρακτηριστική οσμή και γεύση. Τα ιδιαίτερα αυτά χαρακτηριστικά αποδίδονται στην παρουσία χημικών ουσιών όπως οι φαινόλες, το χλώριο, η αμμωνία, το υδρόθειο, κ.λπ. Επίσης η ιδιάζουσα αυτή γεύση αποδίδεται στα διαλυμένα άλατα (ασβεστίου, νατρίου, μαγνησίου κ.λπ.) καθώς και στα διαλυμένα αέρια (οξυγόνο ή CO₂) που εμπεριέχονται σ' αυτό. Ενώ αντίθετα όταν η οσμή και η γεύση είναι ιδιαίτερα έντονη ή ακόμα και αποκρουστική, αυτό πιθανόν οφείλεται στην παρουσία μικροοργανισμών. Σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να πραγματοποιηθούν έλεγχοι στο νερό καθότι υπάρχει η υποψία ρύπων. Η παραμετρική τιμή είναι να είναι «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής».

- **Χρώμα**

Το νερό χαρακτηρίζεται ως άχρωμο. Οποιαδήποτε υποψία ή παρουσία χρώματος είναι συνδεδεμένη με υποβαθμισμένη ποιότητα του νερού, αλλά όχι απαραίτητα και επικίνδυνου προς κατανάλωση νερού. Το χρώμα αυτό μπορεί να προκαλείται από διαλυμένες ή κolloειδείς οργανικές ύλες, ή ανόργανες ουσίες. Προκειμένου να

αναγνωρισθεί η προέλευση του χρώματος, θα πρέπει να γίνει χημικός έλεγχος. Η παραμετρική τιμή για το χρώμα είναι «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής».

- **Χημικά στοιχεία-συστατικά του νερού**

Σημαντική παράμετρος η παρουσία και η συγκέντρωση διάφορων κατιόντων, όπως τα Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , διάφορων ανιόντων, όπως τα NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- . Επίσης σημασία έχει η μέτρηση και διάφορων θρεπτικών συστατικών όπως το N, P, S, Si, καθώς και η μέτρηση της συγκέντρωσης των ιχνοστοιχείων και μετάλλων.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού(πίνακας 1) :

Πίνακας 1 : Ενδεικτικές παράμετροι του πόσιμου νερού(Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της 3ης/11/1998)

α/α	Παράμετρος	Μονάδα έκφρασης αποτελεσμάτων	Παραμετρική τιμή*
1	Ιόντα υδρογόνου	μονάδα	pH 6.5≤pH≤9.5
2	Αγωγιμότητα	μS/cm	2500
3	Χλωριούχα άλατα	mg/l	250
4	Θειϊκά άλατα	mg/l	250
5	Νάτριο	g/l	200
6	Αργίλιο	μg/l	200
7	Νιτρικά άλατα	mg/l	50
8	Νιτρώδη άλατα	mg/l	0,50
9	Βρωμικά άλατα	mg/l	10
10	Κυανιούχα άλατα	μg/l	50
11	Αμμώνιο	mg/l	0,50
12	Φθοριούχα άλατα	mg/l	1,5
13	Σίδηρος	μg/l	200
14	Μαγγάνιο	μg/l	50
15	Χαλκός	mg/l	2,0
16	Αρσενικό	μg/l	10
17	Χρώμιο	μg/l	50
18	Υδράργυρος	μg/l	1,0
19	Μόλυβδος	μg/l	10
20	Νικέλιο	μg/l	20
21	Κάδμιο	μg/l	5,0

*Η παραμετρική τιμή, με βάση την Οδηγία 98/83/ΕΚ, αναφέρεται στη συγκέντρωση καταλοίπων μονομερούς στο νερό, όπως υπολογίζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές περί μεγίστης μετανάστευσης εκ του αντιστοίχου πολυμερούς, όταν βρίσκεται σε επαφή με το νερό.

5.2. Οπτικές μέθοδοι

Θολερομετρία

Η θολερότητα είναι ένα μέτρο των χαρακτηριστικών διάδοσης του φωτός μέσω του νερού. Η θολότητα του νερού οφείλεται σε αιωρούμενα σωματίδια τα οποία μπορεί να είναι ανόργανες ουσίες, όπως πηλίνα, άλευρα πετρωμάτων, βούρκος, ανθρακικό

ασβέστιο, πυρίτιο, σίδηρο, μαγγάνιο, θείο, ή βιομηχανικά απόβλητα. Ακόμα, η θόλωση μπορεί να προκληθεί από οργανικές ουσίες όπως οι απεκκρίσεις διαφόρων μικροοργανισμών, φυτική ή ζωική ύλη, γράσο, λίπος, λάδι, και άλλα. Ενώ η θολερότητα μπορεί να οφείλεται σε μια ενιαία εξωτερική ουσία στο νερό, μπορεί στην πραγματικότητα να είναι ένα μίγμα πολλών ουσιών. Το μέγεθος τους μπορεί να ποικίλει από μικρά κολλοειδή σώματα μέχρι χονδροειδή σιτάρια της άμμου που παραμένουν αιωρούμενα για όσο διάστημα το νερό ανακινείται. Το θολό νερό πρέπει να εξεταστεί για ρύπανση. Η κατανάλωση του μπορεί να καταστεί επικίνδυνη καθότι η απολύμανση του πόσιμου νερού δεν είναι αρκετή. Αυτό συμβαίνει γιατί οι παθογόνοι οργανισμοί εγκλωβίζονται στα σωματίδια που αιωρούνται και με αυτόν τον τρόπο προστατεύονται από το απολυμαντικό. Η δομή αυτών των σωματιδίων επιτρέπει την απορρόφηση επιβλαβών οργανικών ή ανόργανων ουσιών. Η παραμετρική τιμή για τη θολότητα είναι να είναι «αποδεκτό από τους καταναλωτές» και «άνευ ασυνήθους μεταβολής».

Η μέτρηση της θολερότητας βασίζεται στην σύγκριση διαθλασιμότητας ή απορρόφησης φωτός σε σχέση μ' ένα πρότυπο διάλυμα. Κολλοειδή συστατικά διαθλούν ή απορροφούν φως χαρακτηριστικού μήκους κύματος και δεν επιτρέπουν την διαπέραση. Η θολερομετρία βασίζεται στο σκεδασμό του φωτός από τα σωματίδια κολλοειδών συστημάτων. Η εξάρτηση της εντάσεως σκεδασμού του φωτός από τον αριθμό των σωματιδίων που υπάρχουν σε ορισμένο όγκο κολλοειδούς 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.

Ανακλασιμετρία (Reflectometer)

Το ανακλασίμετρο χρησιμεύει στον ποσοτικό προσδιορισμό διαφορετικών ουσιών (αλουμίνιο, αμμώνιο, άργυρος, ασβέστιο, ασκορβικό οξύ, γλυκόζη, θειώδη, κάλιο, κοβάλτιο, μαγγάνιο, μόλυβδος, νικέλιο, νιτρικά, νιτρώδη, σίδηρος, υπεροξειδία, φωσφορικά, χαλκός, χλώριο, χρωμικά, ψευδάργυρος). Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του είναι η αποθήκευση 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.

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 190-210nm και η ανώτερη από 800-1000nm. 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. Τυπικές περιοχές εύρους φασματικής ζώνης είναι 2-8nm και αναφέρεται η 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.

5.3. Ηλεκτρομετρικές μέθοδοι

Αγωγιμότητα

Αγωγιμότητα είναι η ικανότητα του νερού να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων στο διάλυμα. Επιπλέον παίζει ρόλο το σθένος και το είδος των ιόντων. Επίσης η αγωγιμότητα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και συγκεκριμένα η άνοδος της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της. Η παραμετρική τιμή της είναι 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 20°C .

Ολικά στερεά

Τα ολικά στερεά αφορούν προς ουσίες που παραμένουν αφού το νερό εξατμιστεί προς 105°C. Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- τα διαλυμένα ολικά στερεά, τα οποία δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι (μόρια και ιόντα με μέγεθος μικρότερο από 1 nm)
- τα κολλοειδή, τα οποία δεν είναι εμφανή εξαιτίας του μεγέθους τους
- τα αδιάλυτα τα οποία είναι ορατά (μέγεθος μεγαλύτερο από 1 μm). Χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες σε συνάρτηση με το ειδικό προς βάρους: προς καθιζάνουσες, προς αιωρούμενες και προς επιπλέουσες (Νταρακάς Ε., 2009).

Σκληρότητα

Η σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων και έχει άμεση συσχέτιση με προς γεωλογικές παραμέτρους του εδάφους από όπου προέρχεται το νερό, καθώς επηρεάζεται και από το pH και τη θερμοκρασία. Η σκληρότητα διακρίνεται σε δυο τύπους:

- την ανθρακική (ή παροδική) σκληρότητα που οφείλεται στα όξινα ανθρακικά (διττανθρακικά) άλατα.

Αυτού του είδους η σκληρότητα μπορεί να ξεπεραστεί με την άνοδο προς θερμοκρασίας στο σημείο βρασμού του νερού. Κατά τη διάρκεια προς αντίδρασης προς τα διαλυμένα όξινα ανθρακικά άλατα των δύο μετάλλων καταβυθίζονται ως αδιάλυτα ανθρακικά άλατα, ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα, σύμφωνα με τα παρακάτω:



- τη μη ανθρακική (μόνιμη) σκληρότητα που οφείλεται στα υπόλοιπα άλατα (χλωριούχα, θειικά, νιτρικά, ανθρακικά) και δεν αίρεται με βρασμό.

Η ολική σκληρότητα είναι η παροδική και μόνιμη και οφείλεται στα κατιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}) που εκφράζεται με τη μορφή του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και ανθρακικού μαγνησίου (MgCO_3). Σε αρκετές περιπτώσεις περιέχονται και άλλα κατιόντα προς του στροντίου, του βαρίου, του μαγγανίου, του ψευδαργύρου, του σιδήρου και του αργιλίου

Προσδίδει ιδιάζουσα γεύση στο νερό, καθυστερεί το βράσιμο των τροφίμων και αποτρέπει το σχηματισμό αφρού με τη χρήση σαπουνιού, ακόμα είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό επικαθίσεων προς σωληνώσεις και προς ηλεκτρικές συσκευές. Βιομηχανίες προς βυρσοδεψίας, βαφείας, χημικών και φαρμακευτικών προϊόντων διαθέτουν ειδικές εγκαταστάσεις, ώστε να μειώσουν τη σκληρότητα του νερού, αφού το σκληρό νερό είναι επιζήμιο τόσο στην κατεργασία, όσο και στο τελικό προϊόν. Αντιθέτως, στην ζυθοποιία και στην αρτοποιία είναι επιθυμητή γιατί βοηθάει στην δράση των ενζύμων. Όσον αφορά τον άνθρωπο, οι υψηλές τιμές σκληρότητας του νερού δεν είναι επικίνδυνες ενώ έχει τεκμηριωθεί ότι υπάρχει μια σημαντική αλληλοεπίδραση ανάμεσα στην αυξημένη σκληρότητα και τη μείωση των καρδιαγγειακών παθήσεων. Νερό με σκληρότητα μέχρι και 500 mg/l CaCO_3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πόσιμο, αλλά οι πιο καλές τιμές είναι μεταξύ 80 και 150 mg/l. (Νταρακάς Ε., 2009).

Αλκαλικότητα

Η ικανότητα του νερού να εξουδετερώνει ένα όξινο διάλυμα. Η εξουδετέρωση αυτή οφείλεται στην παρουσία των ιόντων υδροξυλίου (OH^-), ανθρακικών αλάτων (CO_3^{2-}) και διττανθρακικών ανιόντων (HCO_3^-). Συνήθως μετράται ως χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο. Η παρουσία οργανικής ύλης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στον καθορισμό της αλκαλικότητας. Τα χλωριούχα, θειικά και νιτρικά ιόντα δεν συμβάλλουν στην αλκαλικότητα.

B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Όργανολογία

6.1 : Όργανα

6.1.1 Θολερόμετρο

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 ονομάζονται τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της θολερότητας σε δείγματα υγρών. Για τα πειράματα μας χρησιμοποιήθηκε το φορητό θολερόμετρο turbiquant 1100 IR (εικόνα 1).



Εικόνα 1: Θολερόμετρο turbiquant 1100 R.

Συνοπτικά έγινε η χρήση των παρακάτω οργάνων και υλικών:

- θολερόμετρο turbiquant 1100 IR
- ογκομετρικές φιάλες 100 mL
- δείγματα νερού προς ανάλυση θολερότητας
- αποσταγμένο νερό (με θολερότητα μηδέν)

Πρώτα από όλα παρασκευάζουμε το μητρικό αιώρημα φορμαζίνης το οποίο είναι απαραίτητο για την παρασκευή των πρότυπων διαλυμάτων. Για την παρασκευή του πρώτου διαλύματος διαλύουμε σε αποσταγμένο νερό, μέσα σε μία ογκομετρική φιάλη των 100mL, 1g θειικής υδραζίνης $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{SO}_4$. Για την παρασκευή του δεύτερου διαλύματος διαλύουμε σε αποσταγμένο νερό σε μια δεύτερη ογκομετρική φιάλη των 100mL, 10g εξαμεθυλενοτετραμίνης $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$.

Στην συνέχεια παίρνουμε μια ογκομετρική φιάλη των 100mL και προσθέτουμε 5mL από το πρώτο διάλυμα και 5mL από το δεύτερο. Το διάλυμα που προκύπτει το αφήνουμε για 24 ώρες σε θερμοκρασία 25oC +/- 3oC και έπειτα το αραιώνουμε με απεσταγμένο νερό μέχρι την χαραγή της φιάλης. Από αυτή την διαδικασία προκύπτει ένα μητρικό αιώρημα του οποίου η θολερότητα είναι 400 NTU. Το μητρικό αιώρημα πρέπει να ανανεώνεται μία φορά τον μήνα.

Κατόπιν πρέπει να παρασκευαστούν τα πρότυπα διαλύματα πολυμερών φορμαζίνης. Τα διαλύματα αυτά τα χρησιμοποιούμε προκειμένου να προχωρήσουμε στην βαθμονόμηση του οργάνου που χρησιμοποιούμε.

Για την παρασκευή διαλύματος πολυμερών φορμαζίνης γνωστής θολερότητας, 40 NTU, αραιώνονται 10mL από το μητρικό αιώρημα με προσθήκη νερού μηδενικής θολερότητας μέχρι να δημιουργήσουμε 100 mL διαλύματος. Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να παρασκευάσουμε εύκολα διαλύματα με διάφορες τιμές θολερότητας. Τα διαλύματα αυτά πρέπει να ανανεώνονται μία φορά την εβδομάδα.

Τις περισσότερες φορές τα σύγχρονα θολερόμετρα συνοδεύονται από τον παρασκευαστή τους από πρότυπα διαλύματα φορμαζίνης με γνωστές τιμές θολερότητας, για να είναι πιο εύκολη η βαθμονόμηση των οργάνων. Τα θολερόμετρα συνοδεύονται επίσης από κλίμακες ανάγνωσης θολερότητας οι οποίες διαχωρίζονται μεταξύ τους και έχουν τις τιμές: 0-0,2, 0-1, 0-10, 0-100, 0-1000.

6.1.2 Αγωγιμόμετρο

Η αγωγιμότητα, για τα διαλύματα ηλεκτρολυτών, χρησιμοποιείται ως όρος για να περιγράψουμε το πόσο εύκολα ή δύσκολα γίνεται η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος εσωτερικά του διαλύματος. Η κίνηση του ρεύματος αποδίδεται στις κινήσεις των ιόντων εσωτερικά της μάζας του διαλύματος. Κάθε διάλυμα παρουσιάζει διαφορετική αγωγιμότητα. Κάθε διάλυμα παρουσιάζει διαφορετική αγωγιμότητα, η οποία εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες σύμφωνα με τον τύπο:

$$R = \rho$$

R: ηλεκτρική αντίσταση (ohm)

A: μήκος διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος (cm), S διατομή αγωγού (cm²)

ρ : ειδική αντίσταση (ohm-1 cm)



Εικόνα 2: Αγωγιμόμετρο τύπου mettler toledo

Το αγωγιμόμετρο (εικόνα 2) λειτουργεί με τον εξής τρόπο:

- Επιλογή ενός προτύπου - Βαθμονόμηση

Αρχικά θα πρέπει να γίνει επιλογή του κατάλληλου προγράμματος για την εκτέλεση της μέτρησης. Πιέζουμε το κουμπί Setup (FE30) ή πιέζουμε και κρατάμε πατημένο το Mode / πλήκτρο Setup (FG3) μέχρι το εικονίδιο εγκατάστασης να εμφανιστεί στην οθόνη και το ισχύον πρότυπο αναβοσβήνει. Χρησιμοποιώντας τα βελάκια ▲ και ▼ επιλέγετε το κατάλληλο πρότυπο και πατάμε το READ για να επιβεβαιώσουμε την επιλογή μας. Πατάμε Exit να εγκαταλείψουμε τις ρυθμίσεις λειτουργίας. Στο αγωγιμόμετρο οι πίνακες για την αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας εξαρτώνται από το πρότυπο.

Τα τρία προκαθορισμένα πρότυπα είναι τα εξής:

- 84 $\mu\text{S} / \text{cm}$, 1 413 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1 2.88 $\mu\text{S} / \text{cm}$.

- Εκτέλεση βαθμονόμησης

Ρυθμίζουμε το αγωγιμόμετρο στις καθορισμένες τιμές προτύπου βαθμονόμησης και πατάμε Cal. Θα εμφανιστούν στην οθόνη οι σχετικές ενδείξεις που θα χρησιμοποιηθούν στη μέτρηση. Το εικονίδιο βαθμονόμησης και το εικονίδιο της μέτρησης εμφανίζονται στην οθόνη, η τιμή της θερμοκρασίας κτλ. Εάν θέλουμε να εγκαταλείψουμε τη μέτρηση πατάμε EXIT. οθόνη μέτρησης.

Σημείωση:

Για να εξασφαλιστεί η πιο ακριβής μέτρηση αγωγιμότητας, θα πρέπει να ελέγχονται οι σταθερές με ένα πρότυπο διάλυμα μία φορά την ημέρα και να βαθμονομούνται εάν είναι απαραίτητο, χρησιμοποιώντας πάντα φρέσκα πρότυπα.

- Μέτρηση του δείγματος

Τοποθετούμε τον αισθητήρα αγωγιμότητας στο δείγμα και πατάμε READ για να ξεκινήσει η μέτρηση: το εικονίδιο μέτρησης εμφανίζεται στην οθόνη και αναβοσβήνει το δεκαδικό σημείο. Η οθόνη δείχνει την αγωγιμότητα του δείγματος. Το αυτόματο τελικό σημείο A είναι η προεπιλεγμένη ρύθμιση του μετρητή. Όταν το σήμα έχει σταθεροποιηθεί, η οθόνη παγώνει αυτόματα, και εμφανίζεται . Πατώντας και κρατώντας πατημένο το READ, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε εναλλαγή μεταξύ της αυτόματης και χειροκίνητης λειτουργίας.

Η σταθερότητα αποτελεί κριτήριο για τη μέτρηση της αγωγιμότητας. Το εσωτερικό σήμα του αισθητήρα του μετρητή μπορεί να μην αλλάξει κατά περισσότερο από 0,4% από τη μέση μετρούμενη αγωγιμότητα του ελεγχόμενου μέσα σε 6 δευτερόλεπτα.

6.1.3 Αυτόματος Τιτλοδότης

Η χρήση της αυτόματης τιτλοδότησης διαλυμάτων, όξινα ή βασικά, αποτελεί μια μέθοδο με πολλά πλεονεκτήματα. Με την εφαρμογή του αυτόματου τιτλοδότη (εικόνα 3) 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.



Εικόνα 3: Αυτόματος τιτλοδότης

Ο αυτόματος τιτλοδότης αποτελείται από το μηχανικό το ηλεκτρονικό μέρος και τον εκτυπωτή. Το μηχανικό μέρος διακρίνεται στο δεξί τμήμα της φωτογραφίας, και αποτελείται από την δοσιμετρική αντλία μεγάλης ακρίβειας, τον αναδευτήρα, το ηλεκτρόδιο redox, και το ακροφύσιο εκροής (dispenser), μέσω του οποίου γίνεται η προσθήκη του τιτλοδότη στο προς ανάλυση διάλυμα.

Το ηλεκτρονικό μέρος (controller) ελέγχει την αντλία και δέχεται ηλεκτρικά σήματα. Το ηλεκτρόδιο redox στέλνει κατά τη διάρκεια της μέτρησης ηλεκτρικό σήμα προς το ηλεκτρονικό μέρος της συσκευής – controller (στο αριστερό μέρος της φωτογραφίας) το οποίο το επεξεργάζεται ανάλογα με τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει από το χρήστη, και εκτυπώνει τα αποτελέσματα. Ηλεκτρικό σήμα προς το ηλεκτρονικό μέρος της συσκευής δίνει και η μηχανική αντλία, όσον αφορά τον όγκο που προστίθεται στον αναλύτη.

Ο συνδυασμός των δύο σημάτων δηλαδή του όγκου και του σήματος αποτυπώνονται στην οθόνη του controller και ταυτόχρονα στον ενσωματωμένο εκτυπωτή – printer, ο οποίος λειτουργεί με θερμικό χαρτί εκτύπωσης.

Με τον αυτόματο τιτλοδότη πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις της συγκέντρωσης της σκληρότητας. Πριν τη μέτρηση ήταν απαραίτητη η βαθμόνηση του οργάνου. Για τη βαθμονόμηση χρησιμοποιήθηκαν δυο πρότυπα διαλύματα με pH 4 και 7 αντίστοιχα.

6.1.3.1 Προσδιορισμός σκληρότητας με χρήση αυτόματου τιτλοδότη και ηλεκτρόδιο REDOX (δυναμομετρία).

Η μέτρηση του δυναμικού των στοιχείων βρίσκει εκτεταμένη εφαρμογή στον προσδιορισμό της σκληρότητας και των χλωριόντων σε δείγματα νερού. Οι ποτενσιομετρικές τιτλοδοτήσεις βασίζονται στις ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο προς μέτρηση δείγμα. Ουσιαστικά συνιστά μια μέθοδο μέτρηση της ηλεκτρεγερτικής δύναμης ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου. Για τη μέτρηση αυτή χρησιμοποιούνται ένα εκλεκτικό ηλεκτρόδιο και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Το δυναμικό του εκλεκτικού ηλεκτροδίου θα εξαρτάται από την ενεργότητα των στοιχείων του δείγματος (Καραϊσκάκης Γ., 1995, Κλούρας Ν., 1995).

Οι μεταβολές του δυναμικού καταγράφονται και απεικονίζονται σε μια γραφική παράσταση $\Delta E/\Delta V$ συναρτήσεως της ποσότητας του προστιθέμενου όγκου. Η καμπύλη E-V είναι πάντοτε σιγμοειδής μορφής, αλλά το ακριβές της σχήμα εξαρτάται από τη σταθερά ισορροπίας και τη στοιχειομετρία της εξεταζόμενης αντίδρασης. Το ισοδύναμο σημείο της τιτλοδότησης μπορεί να προσδιοριστεί από το σημείο καμπής της καμπύλης τιτλοδότησης.

6.1.3.2 Προσδιορισμός Σκληρότητας

Η σκληρότητα του νερού αναφέρεται κυρίως στη συγκέντρωση Ca^{2+} και Mg^{2+} , που υπάρχουν ως διπτανθρακικά άλατα το νερό. Ο προσδιορισμός της σκληρότητας πραγματοποιείται με την ογκομετρική μέθοδο του EDTA ή απευθείας μέτρηση με τη βοήθεια του ανακλασιμέτρου.

- Ογκομετρική μέθοδος EDTA

Η αρχή της μεθόδου είναι η από κοινού, δέσμευση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου από το δινάτριο άλας του αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικού οξέος (EDTA) σε αλκαλικό περιβάλλον (pH : 10 ± 1), παρουσία δείκτη Eriochrome Black T. Ο δείκτης δεσμεύει ένα μέρος των ιόντων Ca^{2+} και Mg^{2+} σχηματίζοντας μια ασταθή και σύμπλοκο-ένωση. Το EDTA έχει την ικανότητα να δεσμεύει αρχικά τα μη δεσμευμένα ιόντα Ca^{2+} και Mg^{2+} από το δείκτη και στη συνέχεια αποσπά και τα δεσμευμένα από το δείκτη. Συνεπώς ο δείκτης παραμένει αδέσμευτος και τη στιγμή αυτή παρατηρείται αλλαγή του χρώματος του διαλύματος, σηματοδοτώντας με αυτό τον τρόπο το τέλος της ογκομέτρησης. Οι τιμές σκληρότητας του πόσιμου νερού πρέπει να είναι μικρότερες από 49,28 OF ή 280D περίπου.

Εκτέλεση του πειράματος

Αρχικά σε μια κωνική φιάλη των 50 ml προστίθεται ποσότητα δείγματος ίση με 25 ml και εν συνεχεία 1 ml ρυθμιστικού διαλύματος. Το ρυθμιστικό διάλυμα έχει παρασκευαστεί με την ανάμιξη διαλύματος αμμωνίας με ορισμένη ποσότητα NH_4Cl . Έπειτα γίνεται αραίωση του δείγματος με απεσταγμένο νερό σε τελικό όγκο 1 L και καθώς αναδεύεται το διάλυμα προστίθενται και σταγόνες του δείκτη Eriochrome Black T (χρώματος μπλε). Το διάλυμα αποκτά χρώμα κόκκινο ανοιχτό. Η κωνική φιάλη τοποθετείται στην κατάλληλη θέση και ξεκινά η τιτλοδότηση με το πρότυπο διάλυμα E.D.T.A 0,01M. Σε 100ml δείγματος προστίθενται σταδιακά 0,05ml EDTA. Ο αυτόματος τιτλοδότης καταγράφει τη μέτρηση ανά 8 sec.

Ο υπολογισμός της σκληρότητας βασίζεται στον υπολογισμό της συγκέντρωσης του CaCO_3 , σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

Σκληρότητα $\text{mgCaCO}_3 =$

Όπου V_1 : ml Πρότυπου διαλύματος E.D.T.A 0,01M που καταναλώθηκε

V_2 : ml Δείγματος νερού

- Με το ανακλασίμετρο

Είναι σημαντικό πριν εκτελεστεί η μέτρηση με το ανακλασίμετρο, να ελεγχθεί εάν η σκληρότητα ξεπερνά τους 30,0od. Σε περίπτωση που η τιμή είναι μεγαλύτερη το δείγμα θα πρέπει να αραιωθεί σε όγκο νερού. Η τιμή του pH θα πρέπει επίσης να βρίσκεται μεταξύ των ορίων 5-8. Εν συνεχεία η μέτρηση πραγματοποιείται ανοίγοντας το ανακλασίμετρο (START) και εισάγοντας τις ειδικές εμποτισμένες λωρίδες (strips) στην ειδική θέση (strip adapter) του ανακλασιμέτρου. Με το πέρασμα της αντίδρασης η τιμή της σκληρότητας απεικονίζεται στην οθόνη του οργάνου.

6.1.4 Φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης για την περιοχή ορατού-υπεριώδους

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 αλλά έχουν μεγάλα αναλογικά όργανα βελόνας. Το κόστος τους βρίσκεται στην περιοχή των 2000 έως 8000 €.

Όπως αναμένεται, οι προδιαγραφές ποικίλουν σημαντικά από όργανο σε όργανο και εξαρτώνται ως ένα βαθμό, από την τιμή του οργάνου. Τυπικές περιοχές εύρους φασματικής ζώνης είναι 2 έως 8 nm και αναφέρεται ακρίβεια επιλογής μήκους κύματος +/- 0,5 έως +/- 2 nm.

Ένας κατασκευαστής χρησιμοποιεί ένα κοίλο, αντί για επίπεδο οπτικό φράγμα, απλουστεύοντας έτσι τον σχεδιασμό και μικραίνοντας τις διαστάσεις του οργάνου. Τελευταία στην αγορά έχει αρχίσει η εμφάνιση ολογραφικών οπτικών φραγμάτων.

Φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης υποστηριζόμενα από υπολογιστή. Ένας κατασκευαστικός οίκος προσφέρει τώρα μια σειρά από φασματοφωτόμετρα απλής δέσμης, που λειτουργούν στην περιοχή 190 έως 800 nm (ή 900 nm με χρήση συμπληρωματικών εξαρτημάτων). Τα όργανα αυτά διαθέτουν σύστημα καταγραφής του φάσματος και υποστηρίζονται από υπολογιστή. Με τα όργανα αυτά στην αρχή πραγματοποιείται μια σάρωση μήκους κύματος με το πρότυπο διάλυμα στην πορεία της δέσμης. Το αναλυτικό σήμα στην έξοδο του μεταλλάκτη, ψηφιοποιείται σε πραγματικό χρόνο και αποθηκεύεται στην μνήμη του υπολογιστή. Στην συνέχεια σαρώνονται με τον ίδιο τρόπο τα δείγματα και υπολογίζονται οι απορροφήσεις με την βοήθεια των δεδομένων του προτύπου διαλύματος, που έχουν αποθηκευτεί στον υπολογιστή. Το φάσμα εμφανίζεται στην οθόνη σε 2 sec από τη στιγμή της συλλογής των δεδομένων. Με τα όργανα αυτά είναι δυνατές ταχύτητες σάρωσης μεγαλύτερες από 1200 nm/min. Ο υπολογιστής του οργάνου παρέχει διάφορες επιλογές ως προς

την επεξεργασία και την παρουσίαση. Έτσι, μπορεί να παρουσιαστεί το φάσμα ως $\log A$ ή T (ως προς λ), μπορούν να παρουσιαστούν παράγωγοι του φάσματος, μπορούν να παραβληθούν φάσματα, να πραγματοποιηθούν πολλαπλές σαρώσεις, να υπολογιστούν συγκεντρώσεις και να προσδιοριστεί η θέση και το ύψος των κορυφών. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα κινητικών μετρήσεων (Skoog et al., 2002).

Όπως τονίσθηκε προηγουμένως, 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. Ο κατασκευαστής αυτών των οργάνων απλής δέσμης ισχυρίζεται, ότι έχει εξαλείψει τις αστάθειες αυτές με τη χρήση μιας νέας πηγής και ενός νέου ηλεκτρονικού σχεδιασμού, που εξαφανίζει τα αποτελέσματα της υστέρησης και μνήμης του οπτικού μεταλλάκτη.

Η φωτομετρική ακρίβεια των νέων οργάνων αναφέρεται ως $\pm 0,005 A$ ή $\pm 0,3\% T$ με ολίσθηση μικρότερη από $0,002 A$ /ώρα. Τα Εύρη ζώνης είναι $0,5, 1$ και 2 nm και μπορούν να επιλεγούν χειροκίνητα από τον χειριστή.

Για να θέσουμε σε λειτουργία το φωτόμετρο της MERCK πρώτα ανοίγουμε το καπάκι. Ύστερα από έναν γρήγορο έλεγχο που πραγματοποιεί το όργανο στο σύστημα, διαλέγει την επιλογή για τον αυτόματο υπολογισμό της συγκέντρωσης (concentration). Στην συνέχεια το φωτόμετρο μας ζητά να τοποθετήσουμε τις κυψελίδες για να ξεκινήσει. Πρώτα τοποθετούμε την κυψελίδα αναγνώρισης στον ειδικό υποδοχέα και το όργανο γίνεται ταυτοποιείται το τεστ που έχει επιλεγεί. Η κυψελίδα αναγνώρισης φέρει μια κάθετη γραμμή, η οποία τοποθετείται με τρόπο ώστε να κοιτάει την εγκοπή που έχει το όργανο. Η κυψελίδα που χρησιμοποιούμε για το δείγμα έχει πάχος 10 mm και είναι ορθογώνιου σχήματος κατασκευασμένη από χαλαζία. Η κυψελίδα αυτή αφού καθαριστεί καλά πηγαίνει στον υποδοχέα των ορθογώνιων κυψελίδων του έχει το όργανο. Μετά την τοποθέτηση το φωτόμετρο αρχίζει την μέτρηση και στην οθόνη διακρίνουμε το αποτέλεσμα. Τα δείγματα που είναι θολά πρέπει πρώτα να γίνεται διήθηση τους, ενώ όταν περιέχουν χλωριόντα με τιμή μεγαλύτερη της 1000 mg/l πρέπει να γίνεται αραιώση τους με χρήση απιονισμένου νερού. Για να είναι πιο έγκυρα τα αποτελέσματα καλό είναι η μέτρηση να ακολουθεί σε μικρό χρονικό διάστημα την δειγματοληψία. Τα φασματοφωτόμετρο χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις των θρεπτικών αλάτων (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , Cl_2 ελεύθερο, Cl_2 ολικό, SO_4^{2-} και K^+).

6.1.5 Θερμοαντιδραστήρες

Ο θερμοαντιδραστήρας είναι το όργανο, το οποίο είναι υπεύθυνο για την προετοιμασία των δειγμάτων για τον προσδιορισμό COD, TOC, συνολικού περιεχομένου σε κάδμιο, χρώμιο, κυάνιο, σίδηρο, μόλυβδο, νικέλιο, άζωτο, φώσφορο, άργυρο ή ψευδάργυρο. Είναι της εταιρείας Merck, μοντέλο 171200.

Διαθέτει 12 θέσεις για προετοιμασία των δειγμάτων και 7 προεγκατεστημένα προγράμματα: $148 \text{ }^\circ\text{C}$ (20, 120 λεπτά), $150 \text{ }^\circ\text{C}$ (120 λεπτά), $120 \text{ }^\circ\text{C}$ (30, 60, 120 λεπτά), $100 \text{ }^\circ\text{C}$ (60 λεπτά).

6.1.5.1 Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320



Εικόνα 4: Θερμοαντιδραστήρας Merck TR 320.

Ο θερμοαντιδραστήρας TR 320 της Merck είναι μια συσκευή ελέγχου της θερμοκρασίας για εργαστηριακή χρήση. Εξασφαλίζει τη χώνευση των φιαλιδίων που περιέχουν το δείγμα προς μέτρηση. Ο αντιδραστήρας έχει 8 προεπιλεγμένα προγράμματα. Επιλέγουμε αυτό που ορίζει ο κατασκευαστής για την εκάστοτε μέτρηση που θέλουμε να κάνουμε:

1. 148 °C για 120 λεπτά
2. 120 °C για 30 λεπτά
3. 120 °C για 60 λεπτά
4. 120 °C για 120 λεπτά
5. 100 °C για 60 λεπτά
6. 148 °C για 20 λεπτά
7. 150 °C για 120 λεπτά
8. 100 °C για 30 λεπτά

Ο θερμοαντιδραστήρας έχει χώρο για 12 φιαλίδια με εξωτερική διάμετρο 16 mm.

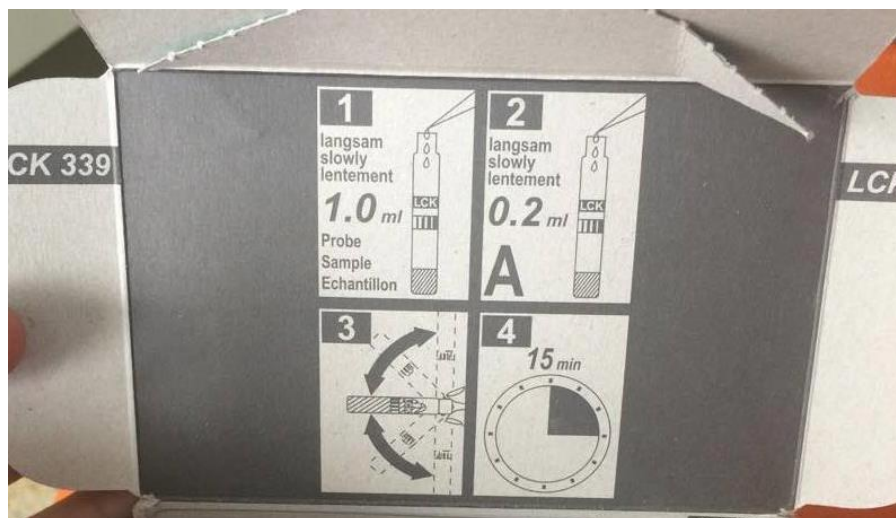
6.1.5.1.1 Μέτρηση Χλωριόντων (Cl), Ολικού Αζώτου (TN), Ολικού Φωσφόρου (TP)

Για την μέτρηση των ανωτέρω παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός χημειών, ο ανωτέρω θερμοαντιδραστήρας, καθώς και ο φασματογράφος. Αναλυτικότερα, κατά την διάρκεια των χημικών αναλύσεων ακολουθήσαμε τις οδηγίες προκειμένου να κατασκευάσουμε το δείγμα μας. Στην συνέχεια, το θερμαίναμε για το κατάλληλο χρονικό διάστημα στον θερμοαντιδραστήρα Merck TR 320 και τέλος προκειμένου να λάβουμε τα αποτελέσματα αναλύαμε το δείγμα με τον φασματογράφο.

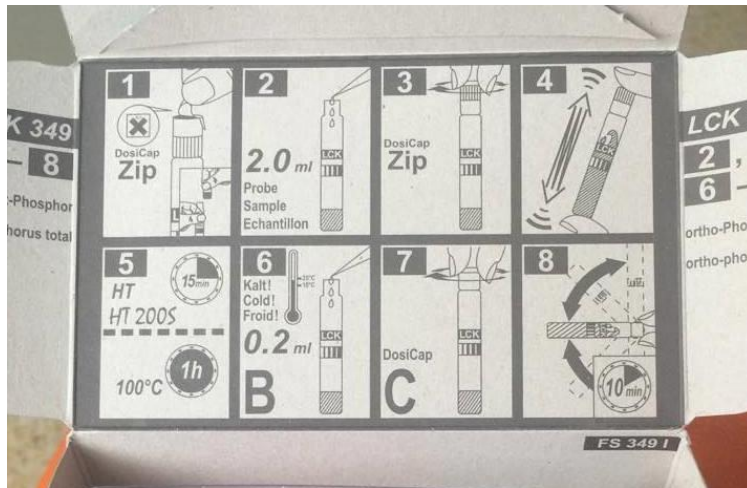
Πιο συγκεκριμένα, οι οδηγίες για την παρασκευή του εκάστοτε δείγματος παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες :



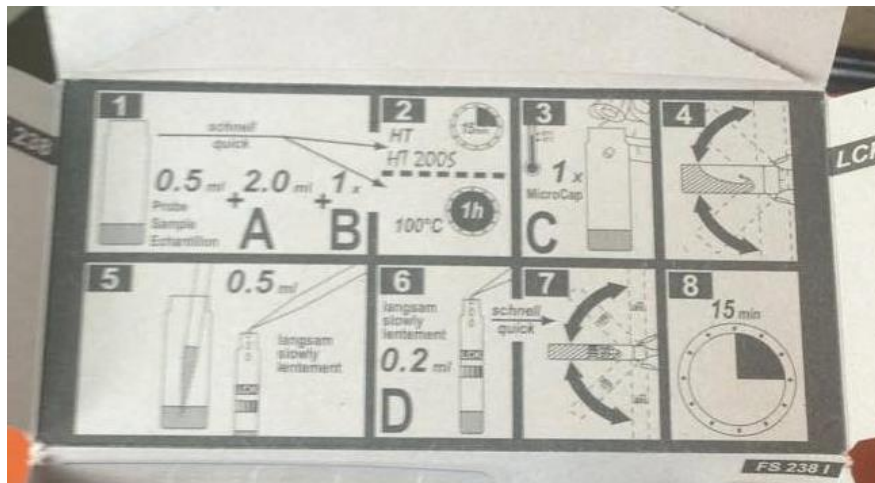
Εικόνα 5 : Οδηγίες για Χλωρίοντα



Εικόνα 6 : Οδηγίες για Νιτρικά



Εικόνα 7 : Οδηγίες για Ολικό Φώσφορο



Εικόνα 8 : Οδηγίες για Ολικό Άζωτο

6.1.5.2 Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S



Εικόνα 5: Θερμοαντιδραστήρας Hach-Lange HT 200S.

Ο θερμοαντιδραστήρας αυτός επιτυγχάνει τη χώνευση των δειγμάτων και κατόπιν την ψύξη τους σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα από τους κλασικούς αντιδραστήρες. Έτσι εξοικονομείται χρόνος και μπορούν να πραγματοποιηθούν περισσότερες μετρήσεις. Χρειάζεται περίπου 10 λεπτά για να προθερμανθεί ο αντιδραστήρας και περίπου 15 λεπτά για να επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου (υποθέτουμε θερμοκρασία 25°C. Συνολικά απαιτούνται 35 λεπτά για μέτρηση COD, ολικού αζώτου και φωσφόρου.

Διαθέτει 12 θαλάμους χώνευσης για στρογγυλές κυψελίδες. Επίσης έχει τρία προεπιλεγμένα προγράμματα αλλά και δυνατότητα χρήσης εννέα προγραμμάτων καθορισμένων από το χρήστη.

6.1.5.2.1 Μέτρηση Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD) – Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD)

Η έννοια του COD (Chemical Oxygen Demand) αναφέρεται ουσιαστικά στην απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου, ώστε να πραγματοποιηθεί χημική οξείδωση της οργανικής ύλης σε CO₂ και H₂O. Η αντίδραση της οξείδωσης λαμβάνει χώρα παρουσίας ισχυρού οξειδωτικού μέσου σε όξινο περιβάλλον και με την επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών. Συνήθως το μέσο αποτελεί το διχρωμικό κάλιο (K₂Cr₂O₇), ενώ σαν καταλύτης χρησιμοποιείται ο θειικός άργυρος (Ag₂SO₄). Η περίσσεια των διχρωμικών (Cr₂O₇⁻) ιόντων εξουδετερώνεται με διάλυμα θειικού αμμωνιούχου σιδήρου (FeSO₄(NH₄)₂SO₄, ενώ για τα χλωριούχα ιόντα χρησιμοποιείται θειικός υδράργυρος (HgSO₄). Η αντίδραση της οξείδωσης αναπαριστάται με την εξίσωση:



Εν συνεχεία το μείγμα τοποθετείται στο θερμοαντιδραστήρα στους 150 °C για 2 ώρες. Έπειτα τα γυάλινα φιαλίδια αφήνονται να κρυώσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για 45 λεπτά. Ακολούθως γίνεται προσδιορισμός της περισσειας των διχρωμικών ιόντων φασματοφωτομετρικά στα 620 nm φωτόμετρο (HACH DR 2010). Είναι σημαντικό να πραγματοποιηθεί πριν από την ανάλυση των δειγμάτων και μηδενισμός των οργάνων με τη χρήση και ενός τυφλού δείγματος. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται δυο κυψελίδες. Η μια κυψελίδα περιέχει απιονισμένο νερό και αυτήν χρησιμοποιείται σαν τυφλό δείγμα και η άλλη κυψελίδα περιέχει το δείγμα μας.

Το COD συνήθως μετράται αντί για το BOD, όπως με τον ίδιο τρόπο μετρήσαμε και το BOD. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι η μέτρηση του COD πραγματοποιείται σε 2-3 ώρες, ενώ του BOD κρατάει 5 ημέρες. Επιπλέον είναι οικονομική μέθοδος και απαιτούνται μικροί όγκοι δειγμάτων. Το μειονέκτημα της μέτρησης COD είναι ότι η τελική μέτρηση αναφέρεται στη τόσο στη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη, όσο και στη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη.

Για τη μέτρηση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω συσκευές:

- (i) Ειδικά φιαλίδια χώνευσης, με ορισμένες διαστάσεις, από κατάλληλο υλικό που δεν απορροφά ακτινοβολία (borosilicate).
- (ii) Εστία χώνευσης (C-TECH, 1540), η οποία διαθέτει ανοίγματα όπου εφαρμόζουν τέλεια τα φιαλίδια.
- (iii) Φασματοφωτόμετρο (HACH, DR/2010), στο οποίο τα τοποθετηθήκαν τα φιαλίδια χώνευσης μετά την εστία.

Επιπλέον, για τη μέτρηση αυτή παρασκευάζονται και χρησιμοποιούνται τα παρακάτω αντιδραστήρια. Το διάλυμα χώνευσης προέρχεται από την προσθήκη 10.216 g $K_2Cr_2O_7$ σε περίπου 500 mL αποσταγμένου νερού. Το διχρωμικό κάλλιο είχε προηγουμένως ξηρανθεί στους 103ο C για 2 h. Στο διάλυμα προστίθενται 167 mL πυκνού H_2SO_4 και 33.3 g $HgSO_4$. Εν συνεχεία το μείγμα αυτό αφήνεται σε θερμοκρασία δωματίου. Τελικώς το διάλυμα αραιώνεται στα 1000 mL. Το δεύτερο διάλυμα που πρέπει να προετοιμαστεί είναι το αντιδραστήριο του θειικού οξέος. Το διάλυμα αυτό παρασκευάζεται με την προσθήκη Ag_2SO_4 σε πυκνό θειικό οξύ με αναλογία 5.5g Ag_2SO_4/kg H_2SO_4 . Στη συνέχεια το διάλυμα παραμένει για 1-2 ημέρες μέχρι να διαλυθεί ο Ag_2SO_4 . Το τελευταίο διάλυμα είναι το πρότυπο διάλυμα όξινο φθαλικού καλίου (KHP). Για να ετοιμαστεί πρέπει το όξινο φθαλικό κάλιο ($HO_2CC_6H_4COOK$) να ξηρανθεί στους 120ο C μέχρι σταθερού βάρους. Αφού ζυγισθεί ποσότητα ίση με 425 g, αναμειγνύεται με απεσταγμένο νερό και αραιώνεται σε τελικό όγκο 500 mL. (Το KHP έχει μια θεωρητική τιμή COD 1.176 mg O_2/mg και το παραπάνω διάλυμα που παρασκευάζεται έχει μια θεωρητική τιμή COD 1000 μg O_2/mL).

□ Η διαδικασία της μέτρησης του COD είναι η εξής:

Σε καθαρά φιαλίδια βάζουμε 2.0 mL δείγματος, 1.2 mL του διαλύματος χώνευσης (διάλυμα (α)) και 2.8 mL του αντιδραστηρίου του θειικού οξέος (διάλυμα (β)), έχοντας συνολικό όγκο 6.0 mL. Το θειικό οξύ εγχέεται στο φιαλίδιο σιγά-σιγά, ώστε να σχηματίσει στρώμα κάτω από το στρώμα του δείγματος και του διαλύματος χώνευσης. Έπειτα σφραγίζονται καλά με τα πώματα τους και αναταράσσονται για να υπάρξει πλήρη ανάμιξη. Το επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση στην εστία χώνευσης, αφού έχει προηγουμένως προθερμανθεί στους 148ο C και παραμένουν εκεί για 2 h. Ακολούθως αφήνονται να κρυώσουν σε θερμοκρασία δωματίου, και μετά εκτελείται μέτρηση της απορρόφησής τους στα 620 nm στο κατάλληλο φασματοφωτόμετρο.

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων είναι απαραίτητη η κατασκευή μια πρότυπης καμπύλης. Η καμπύλη αυτή προέρχεται από τη μέτρηση τουλάχιστον πέντε διαλυμάτων όξινου φθαλικού καλίου (το οποίο παρασκευάζεται με τη διαδικασία που προαναφέρθηκε) και έχει τιμές COD από 0 έως 900 mg O₂/L. Είναι σημαντικό να κατασκευάζεται συνεχώς νέα καμπύλη κάθε φορά που ανανεώνονται τα αντιδραστήρια.

6.1.6 Μέτρηση Αλκαλικότητας - Αυτόματος τιτλοδότης HANNA

Η αλκαλικότητα στα δείγματα εξόδου της πιλοτικής μονάδας MBR μετράται με τον αυτόματο τιτλοδότη HANNA.

Ο τελευταίος λειτουργεί ως :

- ποτενσιομετρικός τιτλοδότης
- μετρητής pH
- μετρητής mV
- μετρητής ISE

Βασικό του χαρακτηριστικό είναι ότι έχει την δυνατότητα να τρέχει δύο μεθόδους τιτλοδότησης στην σειρά. Επίσης, υποστηρίζει έως 100 μεθόδους τιτλοδότησης. Διαθέτει δύο δοσομετρικές αντλίες με την ικανότητά να εκτελεί και ανάποδες τιτλοδοτήσεις. Στην εικόνα 17 απεικονίζεται ο αυτόματος τιτλοδότης HANNA.

Δεξιά στην εικόνα 11 τοποθετείται το δείγμα προς εξέταση και αριστερά της συσκευής, στην ίδια εικόνα βρίσκεται το υδροχλωρικό οξύ (HCL) με το οποίο θα γίνει η εξουδετέρωση. Το δείγμα έρχεται σε επαφή με την γυάλινη σύριγγα εδάφους ακριβείας 25ml καθώς και με την προχοΐδα PTFE με σωλήνα πολυουρεθάνης. Το γράφημα της τιτλοδότησης εμφανίζεται στην οθόνη και αποθηκεύεται ως bitmap.



Εικόνα 9 : Αυτόματος τιτλοδότης HANNA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Πιλοτικές Μονάδες (Παρουσίαση) – Απόβλητο Σύσταση

7.1 Απόβλητο – Παρασκευή - Σύσταση

Λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας είναι επιθυμητό από τους ενδιαφερόμενους πριν υιοθετήσουν την συγκεκριμένη τεχνολογία να επιβεβαιώσουν την καταλληλότητα και την απόδοσή της μέσω μιας πιλοτικής διάταξης. Για τις ανάγκες λειτουργίας μιας τέτοιας πιλοτικής διάταξης συνήθως επιλέγουν τη χρήση προσομοιωμένων συνθετικών αποβλήτων. Οι περισσότερες επιστημονικές μελέτες σε συστήματα MBR χρησιμοποιούν συνθετικά απόβλητα, παρασκευασμένα εργαστηριακά. Το πρώτο της στάδιο είναι απαραίτητο για να καταλάβει τη λειτουργία του αντιδραστήρα, τη διάρκεια αποδοτικής χρήσης των μεμβρανών πριν χρειαστούν καθαρισμό, την απόδοση των συστημάτων. Η χρήση συνθετικού αποβλήτου έχει το πλεονέκτημα της σταθερής και απόλυτα συγκεκριμένης συγκέντρωσης στα διάφορα συστατικά του, έναντι ενός αληθινού αποβλήτου όπου αυτή η συγκέντρωση θα είχε ίσως και σημαντικές αυξομειώσεις. Επίσης, ενδεχομένως, θα περιείχε συστατικά που θα έδιναν αξιοσημείωτα αποτελέσματα που δεν θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε αν δεν είμαστε σίγουροι για τα συστατικά αυτά. Τέλος το συνθετικό απόβλητο είναι άμεσα διαθέσιμο, σε όση ποσότητα χρειάζεται και σε σχετικά χαμηλό κόστος.

Οι τρεις βασικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για την παρασκευή του αποβλήτου είναι η τροφή που πρέπει να έχουν τα μικρόβια για να αναπτυχθούν, η δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για αυτά και φυσικά κάποια αρχική ποσότητα μικροβίων για να μπορέσει να ξεκινήσει η διαδικασία.

Όσον αφορά την τροφή, αυτή δίνεται σε μορφή άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου από τις περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει. Αυτό είναι άλλωστε αρκετά ρεαλιστικό αφού όλα τα αστικά απόβλητα περιέχουν οπωσδήποτε αυτά τα συστατικά. Αυτό που αλλάζει είναι σε τί είδους χημικές ενώσεις θα περιέχονται τα χημικά αυτά στοιχεία. Αυτό που ενδιαφέρει κυρίως είναι η συγκέντρωση αυτών σε όρους COD, ολικού αζώτου και ολικού φωσφόρου και η αναλογία αυτών.

Για να αναπτυχθούν τα μικρόβια χρειάζεται η προσθήκη μεταλλικών ιχνοστοιχείων, σε ελάχιστες συγκεντρώσεις, για να έχει το διάλυμα ευνοϊκές συνθήκες αγωγιμότητας. Επίσης το pH είναι υψίστης σημασίας για τα μικρόβια και πρέπει να είναι σε τιμή από 6 έως 7.

Τέλος η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ικανοποιητική αρκεί να μην έχει ακραία χαμηλά ή υψηλά νούμερα. Κάτι τέτοιο ευτυχώς δεν αποτελεί πρόβλημα στη χώρα μας.

Τα αρχικά μικρόβια μπορούν να προέλθουν είτε με απ' ευθείας προσθήκη αυτών, αγορασμένων από το εμπόριο, είτε με προσθήκη στο συνθετικό απόβλητο ενός μικρού ποσοστού ήδη επεξεργασμένης λάσπης που θα πάρουμε από έναν υπάρχων βιολογικό καθαρισμό.

Παρακάτω παραπέμπονται ενδεικτικοί πίνακες συστατικών συνθετικών αποβλήτων.

Πίνακας 1 : Συστατικά συνθετικού απόβλητου

Χημικά Συστατικά	Συγκέντρωση (mg/l)
Ουρία	91,74
NH ₄ Cl	12,75
Na-acetate	79,37
Peptone	17,41
MgHPO ₄ ·3H ₂ O	29,02
KH ₂ PO ₄	23,4
FeSO ₄ ·7H ₂ O	5,80
Συστατικά τροφίμων	
Άμυλο	122
Γάλα σε σκόνη	116,19
Μαγιά	52,24
Σογιέλαιο	29,02
Ίχνη Μετάλλων	
Cr(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	0,770
CuCl ₂ ·2H ₂ O	0,536
MnSO ₄ ·H ₂ O	0,108
NiSO ₄ ·6H ₂ O	0,336
PbCl ₂	0,100
ZnCl ₂	0,208

Με στόχο την προσομοίωση των αστικών λυμάτων, ο Boeijs χρησιμοποίησε ως εισροή σε ένα σύστημα εναλλασσόμενων κύκλων λειτουργίας (SBR) συνθετικό λύμα, η σύσταση του οποίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Η πεπτόνη και η σκόνη γάλακτος χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως πηγή πρωτεϊνών, ενώ το άμυλο και το σογιέλαιο ως πηγές υδατανθράκων και λιπαρών υλών αντίστοιχα. Ο φώσφορος εισέρχεται στο σύστημα επεξεργασίας κυρίως με τη μορφή ανόργανου φωσφόρου και η αμμωνία με τη μορφή χλωριούχου αμμωνίου και ουρίας. Στη «συνταγή» αυτή συμμετέχει σημαντικός αριθμός ιχνοστοιχείων με στόχο την καλύτερη προσομοίωση με τα αστικά λύματα. Το συνολικό COD είναι 439 mg/l.

Πίνακας 2 : Συστατικά συνθετικού αποβλήτου

Συστατικό	Συγκέντρωση mg/l)
Πεπτόνη	853
Ζωικό εκχύλισμα	587
Ουρία	160
NaCl	37
MgSO ₄ ·7H ₂ O	11
K ₂ HPO ₄	149
CaCl ₂ ·2H ₂ O	21

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η σύσταση συνθετικού λύματος που χρησιμοποιήθηκε σε τεστ μέτρησης της ταχύτητας αποξυγόνωσης βιομάζας, που αναπτύσσεται σε συστήματα ενεργού ιλύος επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Ο σκοπός ήταν η ταυτοποίηση ουσιών που αναστέλλουν τη μικροβιακή δράση και η υπόδειξη κατάλληλων συγκεντρώσεων ουσιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τεστ βιοδιασπασιμότητας.

Πίνακας 3 : Συστατικά συνθετικού απόβλητου

Συστατικά	Συγκέντρωση (mg/l)
Ζωικό εκχύλισμα	80
CH ₃ COOH	0,2
KH ₂ PO ₄	70
FeCl ₃ ·6H ₂ O	1,5
CaCl ₂	2,88
NaHCO ₃	420

Τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν τελείως διαφορετική σύσταση τόσο από τα αστικά όσο και μεταξύ τους για ευνόητους λόγους. Η προσομοίωση των βιομηχανικών αποβλήτων απαιτεί επομένως την ταυτοποίηση όλων των ενώσεων που υπάρχουν στο εν λόγω απόβλητο, επειδή η σύστασή τους μπορεί να διαφέρει ακόμα και όταν πρόκειται για απόβλητο από βιομηχανίες όμοιων προϊόντων.

Εισερχόμενο Απόβλητο

Το εισερχόμενο απόβλητο το οποίο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παραπάνω πιλοτική μονάδα ήταν συνθετικό απόβλητο του οποίου η σύνθεση παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 4 .

Πίνακας 4 : Σύνθεση εισερχομένου συνθετικού αποβλήτου

Material	Chemical Formula	Concentration in SWW (mg/L)
D(+)-Glucose	$C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$	400±10
Peptone A	Peptone from soymeal	50±2
Peptone B	Peptone from gelatin	150±5
Urea	$CO(NH_2)_2$	50±2
Ammonium Sulfate	$(NH_4)_2 SO_4$	50±2
Ammonium chloride	$NH_4 Cl$	50±2
Potassium dihydrogen phosphate	$KH_2 PO_4$	15±1

7.2 : Πιλοτική Μονάδα MBR - Παρουσίαση

Οι μεμβράνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία ήταν τύπου κοίλων ινών (Hollow Fiber) και ήταν δύο διαφορετικών επώνυμων εργοστασίων και διαφορετικών υλικών κατασκευής.

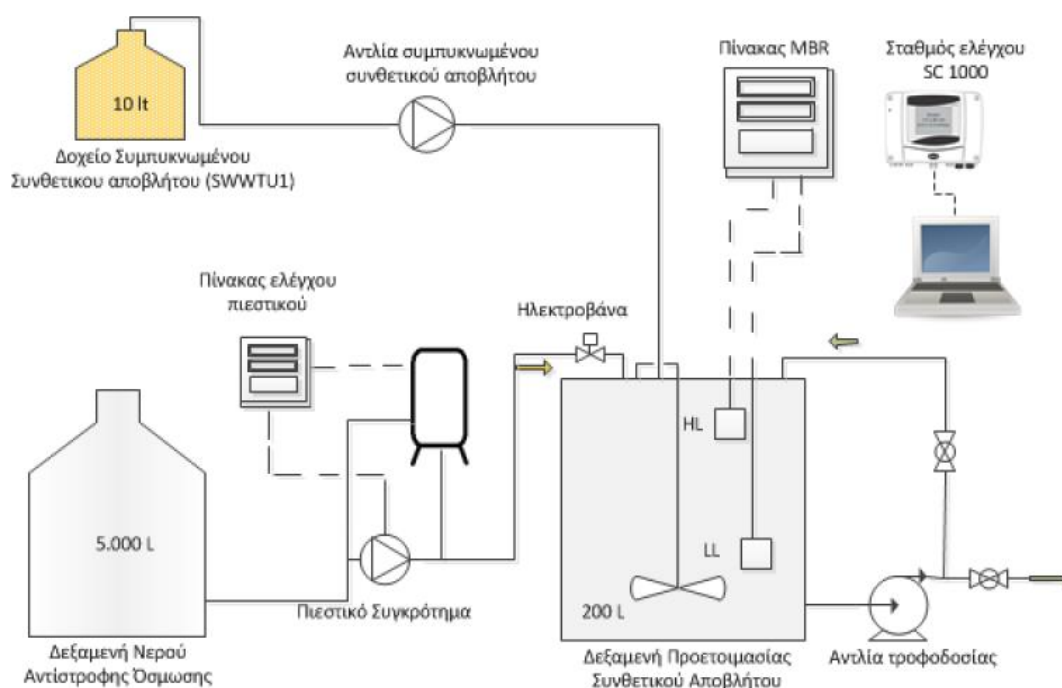
Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δύο μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 5 : Χαρακτηριστικά μεμβρανών που χρησιμοποιήθηκαν

MANUFACTURER	MODULE TYPE	FILTRATION TYPE	MEMBRANE MATERIAL	PORE SIZE (μm)	MEMBRANE AREA (m ²)	TYPE
2xHangzhou Tech.,Ltd.	(M1) ZCM-LAB	MF	PP	0.2	0.2	HF
1xShenzhen Kaihong Tech. Ltd.	(M2) R-PVDF	UF	Reinforced PVDF	0.1	0.2	HF

Πιλοτική διάταξη

Η πιλοτική διάταξη αποτελείται από 2 κύρια τμήματα όπως φαίνεται στα Σχήματα 1 και 2.

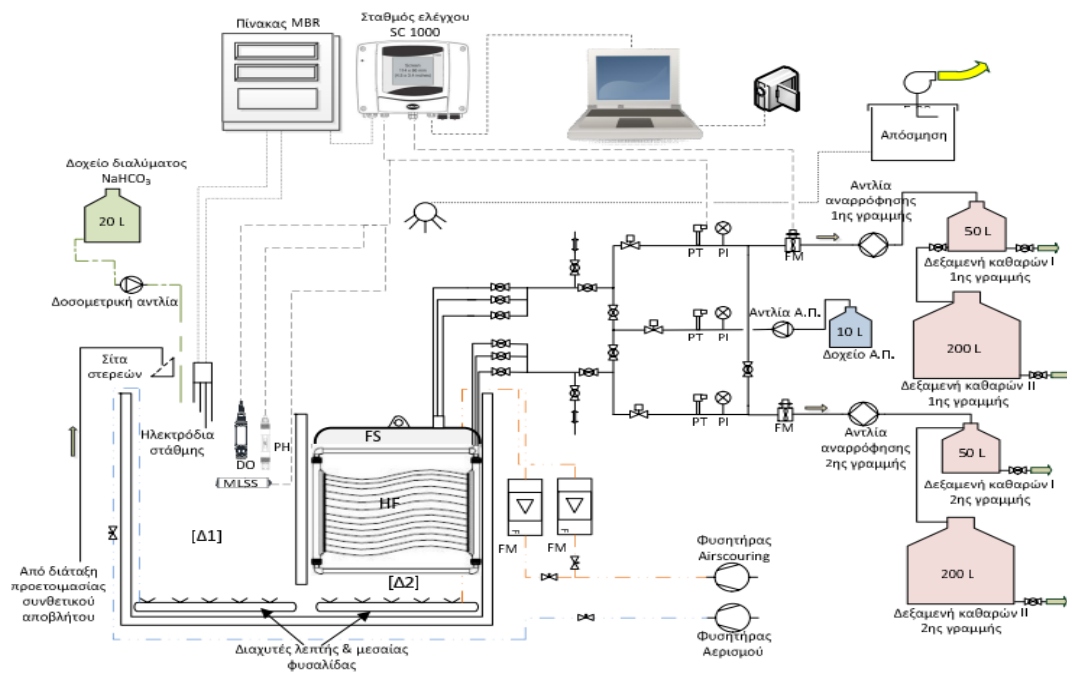


Σχήμα 1 Διάταξη Προετοιμασίας Συνθετικού Αποβλήτου

Στο Σχήμα 1 φαίνεται το πρώτο τμήμα που τροφοδοτεί αδιαλείπτως με συνθετικό απόβλητο την μονάδα MBR. Συμπυκνωμένο συνθετικό απόβλητο δοσομετρείται με σταθερό ρυθμό μέσω διαφραγματικής αντλίας (2 L/h), με διαδικασία batch προς την δεξαμενή προετοιμασίας συνολικής χωρητικότητας 200 L, όπου γίνεται ταυτόχρονη τροφοδοσία νερού αντίστροφης όσμωσης (Α.Ο.) μέσω ηλεκτροβάννας και υπό ανάδευση παρασκευάζεται στην ζητούμενη αραίωση το τελικό συνθετικό απόβλητο. Η δεξαμενή προετοιμασίας φέρει κατακόρυφο αργόστροφο ανοξειδωτο αναδευτήρα τύπου προπέλας. Η τροφοδοσία του τελικού συνθετικού απόβλητου προς την μονάδα MBR γίνεται με οριζόντια φυγοκεντρική αντλία (0÷3.0 m³/h). Ο έλεγχος της αντλίας γίνεται μέσω ηλεκτροδίων άνω και κάτω στάθμης (Σχήμα 5.2). Για την συγκράτηση μικροσωματιδίων προς το MBR η διάταξη τροφοδοσίας φέρει στο άκρο της πλέγμα συγκράτησης στερεών >1 mm. +

Στο Σχήμα 2 φαίνεται το κύριο σώμα της πιλοτικής διάταξης με ένα επαμφοτερίζον (Δ1) και ένα αερόβιο (Δ2) διαμέρισμα. Ο ενεργός όγκος κάθε διαμερίσματος είναι 37 L και 47 L αντίστοιχα. Στο πρώτο διαμέρισμα (Δ1) εγκαταστάθηκαν για την on-line παρακολούθηση των χαρακτηριστικών της βιομάζας, μετρητής pH/T, μετρητής DO/T, μετρητής MLSS/θολότητας.

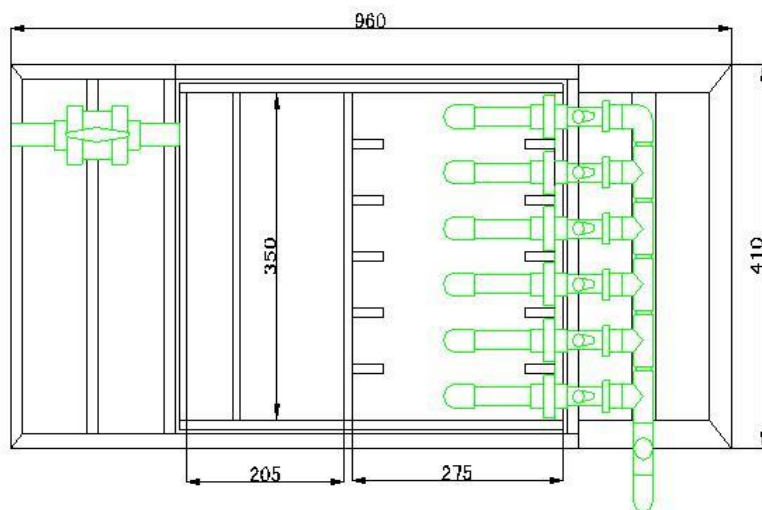
Η προσθήκη του απαραίτητου αέρα για την βιολογική διεργασία στο Δ1 μπορεί να γίνει είτε με σωληνωτό διαχυτή μεσαίας φυσαλίδας είτε με τρεις διαχυτές λεπτής φυσαλίδας που τροφοδοτούνται από τον φυσητήρα αερισμού τύπου διαφράγματος (85 L/min).



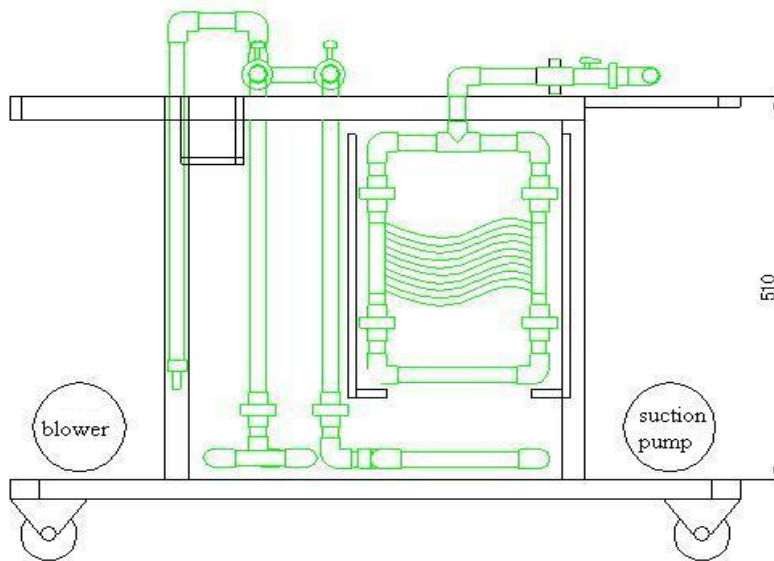
Σχήμα 2. Πιλοτική διάταξη βιοαντιδραστήρα εμβαπτιζόμενων μεμβρανών (SMBR).

Στο διαμέρισμα Δ2 υπάρχουν θέσεις για βύθιση ενός έως έξι στοιχείων μεμβρανών τύπου HF, ή ενός έως δεκαοκτώ τύπου FS καθώς και οποιοσδήποτε συνδυασμός των ανωτέρω. Σε κάθε γραμμή εξόδου έχει εγκατασταθεί μια περισταλτική αντλία αναρρόφησης (0.975-9.750 L/H). Κάθε στοιχείο μεμβράνης ελέγχεται από ανεξάρτητη γραμμή αναρρόφησης μέσω δικλείδας, ώστε ακόμα και αν κάποια παρουσιάσει βλάβη οι υπόλοιπες να συνεχίσουν να λειτουργούν. Περαιτέρω σε κάθε γραμμή αναρρόφησης εγκαθίστανται σε σειρά ηλεκτροβάνια ελέγχου ροής, μανόμετρο γλυκερίνης (-1±0 bar) καθώς και αναλογικός μετρητής κενού (-1±0 bar). Ο χρόνος λειτουργίας και στάσης των αντλιών αναρρόφησης όπως επίσης και η πίεση λειτουργίας της κάθε γραμμής (-0.01± -0.05 MPa) ρυθμίζονται ανάλογα με τον κατασκευαστή για λόγους προστασίας των στοιχείων των μεμβρανών. Τέλος κάθε γραμμή αναρρόφησης εφοδιάζεται με μετρητή παροχής (0.03±0.58 L/min). Για τον καθαρισμό των μεμβρανών (air scouring) έχουν εγκατασταθεί ένας φυσητήρας διαφράγματος τροφοδοσίας αέρα (85 L/min), που τροφοδοτεί στο Δ2 είτε δυο σωληνωτούς διαχυτές μεσαίας φυσαλίδας είτε επτά διαχυτές λεπτής φυσαλίδας. Η παροχή αέρα σε κάθε διαχυτή είναι ρυθμιζόμενη μέσω βανών και μετρητών/ρυθμιστών παροχής. Για την δυνατότητα αντίστροφης πλύσης (Α.Π.) των μεμβρανών Η.Φ. έχει εγκατασταθεί αντλία διαφράγματος (5.76 L/H) η οποία μπορεί να αρχίσει να λειτουργεί κατά τη διάρκεια της διακοπής της αντλίας αναρρόφησης (relaxation) με συγκεκριμένο χρονοπρογραμματισμό. Στην γραμμή Α.Π. υπάρχουν σε σειρά ηλεκτροβάνια ελέγχου ροής, μανόμετρο γλυκερίνης καθώς και αναλογικός μετρητής πίεσης (0±1 bar). Η όλη λειτουργία της διάταξης είναι πλήρως αυτοματοποιημένη μέσω ελεγκτή (mini plc), οθόνης αφής και ηλεκτρικού πίνακα ελέγχου. Η ηλεκτρική τροφοδοσία του πίνακα γίνεται με ρεύμα 220V, 50 Hz.

Στο Σχήμα 3 και 4 φαίνεται η κάτοψη και η όψη πιλοτικής διάταξης MBR.



Σχήμα 3 Κάτοψη πιλοτικής μονάδας MBR



Σχήμα 4 Όψη πιλοτικής μονάδας MBR

- ❖ Παράμετροι σχεδιασμού πιλοτικής διάταξης MBR :
 - Δυναμικότητα διάταξης: 100-200 L/d.
 - COD > 680-720 mg/L.
 - BOD₅ > 250mg/L.
 - Χρόνος παραμονής HRT (εξαρτάται από την διεργασία)

- ❖ Αναμενόμενα χαρακτηριστικά στην έξοδο :
 - COD < 40mg/L.
 - BOD₅ < 15mg/L
 - SS < 0,5 mg/L

Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται η πιλοτική διάταξη επεξεργασίας αποβλήτων MBR της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 1 Πιλοτική διάταξη μονάδας MBR

7.3 : Πιλοτική Μονάδα RO - Παρουσίαση

7.2.1 Περιγραφή

Ο βασικός εξοπλισμός της διάταξης RO φαίνεται στην εικόνα 1 και περιγράφεται παρακάτω:

Η μονάδα RO διαθέτει τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Ηλεκτρικός Πίνακας
2. Δεξαμενή νερού των 3000 λίτρων A: παροχής νερού δικτύου
3. Αντλία τροφοδοσίας εγκατάστασης
4. Φίλτρα Φυσιγγίου
5. Φίλτρο άμμου
6. Δοχείο αντικαθαλωτικού
7. Δοσομετρική αντλία αντικαθαλωτικού
8. Θερμόμετρο
9. Αντλία υψηλής πίεσης
10. Μемβράνες RO
11. Ροόμετρα - μετρητές ροής νερού ανακυκλοφορίας, προϊόντος, απόρριψης
12. Μανόμετρα χαμηλής πίεσης (από 0 έως 80psi)
13. Μανόμετρα υψηλής πίεσης (από 0 - 180 psi)
14. Πιεζοστατικοί διακόπτες
15. Αγωγιμόμετρο
16. Στήλη προσθήκης διαλύματος ιόντων
17. Δοσομετρική αντλία διαλύματος χλωρίου
18. Δοχείο διαλύματος χλωρίου
19. Δεξαμενή νερού των 3000 λίτρων B: επεξεργασμένου-προϊόντος
20. Λοιπά υδραυλικά στοιχεία



Εικόνα 1. Διάταξη Αντίστροφης Όσμωσης

7.2.2 Βηματική Παρουσίαση Λειτουργίας

Εκκίνηση Λειτουργίας

Για να ξεκινήσει η μονάδα να παράγει επεξεργασμένο νερό στρέφουμε τους διακόπτες με αριθμό 1,2 που απεικονίζονται στην κατωτέρω εικόνα, στην επιλογή ON. Ο διακόπτης 1 αντιστοιχεί στην αντλία τροφοδοσίας No 3 του ανεπεξέργαστου νερού , και ο 2 στην αντλία υψηλής πίεσης No 9.



Εικόνα 2. Πίνακας Ισχύος Αυτοματισμού RO

Λειτουργία μονάδας RO

Η εκκίνηση στην αυτόματη λειτουργία πραγματοποιείται, με την βοήθεια φλωτέρ No 20 στην δεξαμενή επεξεργασμένου νερού. Όταν η ποσότητα του επεξεργασμένου νερού, που περιέχεται στην αντίστοιχη δεξαμενή No 19, πέσει κάτω από την κατώτερη στάθμη, που έχει οριστεί από την θέση του πλωτηροδιακόπτη No 20, η μονάδα της RO τίθεται σε λειτουργία και ταυτόχρονα ανάβει πράσινη φωτεινή ένδειξη στον πίνακα για ζήτηση νερού.

Το νερό οδεύει από την **δεξαμενή ανεπεξέργαστου No 2**, μέσω της **αντλίας τροφοδοσίας No 3**, σε **φίλτρα τύπου FILTR-GARD FP 3/2 ¾ με πέρασμα 20 μ No 4**. Στην κατάθλιψη της αντλίας τροφοδοσίας No 3 είναι εγκατεστημένα σε σειρά δικλείδα απομόνωσης και βαλβίδα αντεπιστροφής. Επιπλέον, είναι εγκατεστημένα στην γραμμή μανόμετρα No 13 πριν και μετά τα φίλτρα No 4. Στο στάδιο αυτό γίνεται και συγκράτηση των ευμεγεθών στερεών. Στην συνέχεια, υπάρχει δυνατότητα επιλογής μέσω χειροκίνητων δικλείδων για την διέλευση του νερού είτε μέσω του **φίλτρου άμμου No5**, για πρωτογενή καθαρισμό του εισερχόμενου ρεύματος νερού , είτε απευθείας προς τα στοιχεία RO No 10 με ταυτόχρονη τροφοδοσίας αντικαθαλωτικού. Εγκατεστημένα μανόμετρα No 13 υπάρχουν πριν και μετά το φίλτρο άμμου. Σειρά στην γραμμή έχει η προσθήκη κατάλληλου **αντικαθαλωτικού διαλύματος** , με δοσομέτρηση μέσω της αντλίας αντικαθαλωτικού No 7. Η προσθήκη αντικαθαλωτικού προτείνεται από τον κατασκευαστή για την προστασία των μεμβρανών RO No 10 και την διατήρησή τους σε καλή κατάσταση. Το αντικαθαλωτικό αποθηκεύεται στο δοχείο No 6 και η στάθμη του ελέγχεται από

υδραργυρικό πλωτεροδιακόπτη για την προστασία της δοσομετρικής αντλίας από την εν ξηρώ λειτουργία.

RO

Προ της εισόδου του νερού στα στοιχεία RO No 10 η ροή διέρχεται από τα προφίλτρα No 4 τύπου FILTR-GARD FP 3/2 ¾ με πέρασμα 5 και 1 μ. Ακολούθως η πίεση του νερού αυξάνεται στο επιθυμητό επίπεδο μέσω της αντλίας υψηλής πίεσης No 9 και το προς επεξεργασία νερό οδηγείται στα **στοιχεία RO**. Τα στοιχεία RO είναι εγκατεστημένα σε θήκες πλαστικές από σκληρό PVC και η τροφοδοσία γίνεται από τον πυθμένα, η απομάκρυνση από και η λήψη του προϊόντος από την κεφαλή των στοιχείων. Η παροχές τους ελέγχονται από τα παροχόμετρα βολίδας (εικόνα 9). Μετά τα στοιχεία RO το νερό έχει την επιθυμητή αγωγιμότητα (0,14 μS), η οποία μπορεί να ρυθμιστεί. Η ρύθμιση πραγματοποιείται μέσω χειροκίνητης δικλείδας No 20 και ανάλογα με την μίξη ανεπεξεργαστου νερού έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Εμπλουτισμός τελικού προϊόντος με ιόντα

Ανάλογα με την απαίτηση του βαθμού επεξεργασίας του νερού υπάρχουν οι ακόλουθες δυνατότητες περαιτέρω επεξεργασίας:

- α) Στην περίπτωση που θέλουμε το προϊόν να διατεθεί ως πόσιμο τότε με τις χειροκίνητες βάνες (εικόνα 11) διοχετεύουμε την ροή του προϊόντος στην στήλη ιόντων προκειμένου να εμπλουτιστεί με στοιχεία, όπως το Ca, Mg κ.ά.
- β) Χλωρίωση με προσθήκη διαλύματος NaOCl (12,5 – 13%) το οποίο προστίθεται με κατάλληλη δοσομετρική αντλία.

7.2.3 Εξοπλισμός - Περιφερειακά

Δεξαμενή ακατέργαστου

Η εντολή για διακοπή λειτουργίας δίνεται από ένα φλοτέρ, το οποίο ελέγχει την κάτω στάθμη του ακατέργαστου νερού. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή, έχουμε και κόκκινη φωτεινή ένδειξη στον πίνακα για έλλειψη ακατέργαστου νερού.

Δεξαμενή κατεργασμένου

Όπως προαναφέραμε, η δεξαμενή κατεργασμένου νερού, διαθέτει δύο φλοτέρ. Το ένα ελέγχει για την κάτω στάθμη, που δίνει εντολή για έναρξη λειτουργίας. Ενώ, το δεύτερο ελέγχει την ανώτερη στάθμη, που έχουμε επιλέξει (επαρκής ποσότητα καθαρού νερού). Σε περίπτωση που ξεπεράσει αυτή την στάθμη, το φλοτέρ αυτόματα δίνει εντολή για παύση λειτουργίας της πιλοτικής μονάδας.

Φίλτρο άμμου

Το φίλτρο άμμου διαθέτει ρυθμιζόμενη κεφαλή για αυτοματοποιημένη πλύση. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την επιλογή της επιθυμητής μέρας και ώρας για πλύση. Έχει ως αποτέλεσμα την παύση της λειτουργίας και την ενεργοποίηση μιας πράσινης φωτεινής ένδειξης στο πίνακα, για πλύση φίλτρου. (Εικόνα 7)

Δοχείο αντικαθαλωτικού

Η λειτουργία της εγχυσης αντικαθαλωτικού πραγματοποιείται με έναν υδραργυρικό πλωτεροδιακόπτη που ελέγχει την κατώτερη στάθμη και δίνει εντολή για διακοπή λειτουργίας, σε περίπτωση που η ποσότητα του αντικαθαλωτικού κατέβει πιο κάτω από αυτή την στάθμη. Με ταυτόχρονη, κόκκινης φωτεινής ένδειξης στον πίνακα για έλλειψη αντικαθαλωτικού. Η προσθήκη αντικαθαλωτικού γίνεται χειροκίνητα με αναλογία 1/19 με νερό. Ως αντικαθαλωτικό χρησιμοποιούμε υποχλωριώδες νάτριο

Φίλτρα τύπου FILTR-GARD FP 3/2 ¾

Ανάλογα με τον πέρασμα του κάθε φίλτρου, λαμβάνουμε και συγκεκριμένους παράγοντες για την αντικατάστασή τους.

Πέρασμα 20 μ: Όσον αφορά τον έλεγχο της καθαρότητας τους 2 παράγοντες παίζουν ρόλο.

A) οι τιμές των μετρητών, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται τα φίλτρα, πρέπει να είναι ίσες (όσο μεγαλύτερη απόκλιση τόσο μεγαλύτερη ανάγκη για αντικατάσταση)

B) το χρώμα που έχει αποκτήσει ανά τις πλύσεις (όσο πιο σκούρο-καφέ τόσο μεγαλύτερη ανάγκη για αντικατάσταση.)

Πέρασμα 1μ και 5μ: Σε αυτά τα φίλτρα επειδή βρίσκονται σε σημείο που δεν είμαστε ικανοί να συγκρίνουμε τιμές 2 μετρητών, ελέγχουμε απλά την αλλαγή στο χρώμα τους, όπως αναφέραμε και στην παραπάνω περίπτωση.

Αφού κριθεί ακατάλληλο το φίλτρο για περαιτέρω χρήση, τότε πραγματοποιούμε άμεση αντικατάσταση με καινούργιο. Δηλαδή, χειροκίνητη διακοπή λειτουργίας (Διακόπτης αντλίας προώθησης → OFF), διακοπή παροχής του φίλτρου με νερό μέσω των βανών, αποσύνδεση φίλτρου από δίκτυο (ξεβιδώνουμε τις συνδέσεις του) και αντικαθιστούμε με καινούργιο, επανασυνδέουμε με δίκτυο και θέτουμε ξανά σε λειτουργία το σύστημα χειροκίνητα (Διακόπτης αντλίας προώθησης → ON)

Μεμβράνες RO

Οι μεμβράνες RO προκειμένου να διατηρηθούν σε ικανοποιητική κατάσταση, και να μην αντικατασταθούν σε μικρότερο χρονικό διάστημα από το προβλεπόμενο, χρειάζονται την κατάλληλη συντήρηση. Αυτή πραγματοποιείται αρχικά με την απομόνωση του συστήματος με την βοήθεια των βανών (εισόδου- εξόδου). Έπειτα, διαθέτουμε δοχείο με H_2O και HCl με $pH=3$. Το συνδέουμε μέσω σωλήνων στο δίκτυο της αντίστροφης όσμωσης (εικόνα 9), ενώ ταυτόχρονα τον σωλήνα του απορριπτόμενου τον συνδέουμε με το δοχείο μας. Αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μιας κυκλικής διεργασίας, κατά την οποία το pH του δοχείου αυξάνεται ($pH \rightarrow 5$), γεγονός που ελέγχω με μετρήσεις ανά 10 λεπτά. Με την ολοκλήρωση 2 ωρών προσθέτω ξανά ποσότητα HCl μέχρι το pH του δοχείου να γίνει ξανά 3. Ακολουθούμε, αυτόν τον κύκλο διεργασία, μέχρι να μην χρειάζεται να προσθέτουμε HCl , δηλαδή το pH του δοχείου να σταθεροποιηθεί στο 3 (μεμβράνες καθαρές). Τέλος, αφαιρούμε το δοχείο και κάνουμε μια πλύση με καθαρό νερό. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με πρώτο βήμα τον καθαρισμό με ειδικό σαπούνι για τις μεμβράνες, και κατ' ακολουθία την πραγματοποίηση των υπόλοιπων βημάτων.

Περιφερειακά

Χειροκίνητη διακοπή-παύση λειτουργίας

Η χειροκίνητη διακοπή της λειτουργίας γίνεται μέσω της αλλαγής του διακόπτη της αντλίας προώθησης από ON σε OFF.

B. Αντικατάσταση φίλτρων τύπου FILTR-GARD FP 3/2 ¾

Προκειμένου να ελαττώσουμε τις δαπάνες, τα φίλτρα προτού αντικατασταθούν μπορούν να πλυθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν, με ελάχιστες επιπτώσεις στην απόδοση της λειτουργίας. Έτσι λοιπόν, αφού διακοπή χειροκίνητα η λειτουργία, η πλύση πετυχαίνεται με τα εξής βήματα:

Βήμα 1° : Αφαίρεση κάψουλας που περιέχει το φίλτρο από το δίκτυο, με απομόνωσή της μέσω των βανών και ξεβίδωμα των συνδέσεων της.

Βήμα 2° : Διοχέτευση καθαρού νερού από την έξοδό της (ανάστροφη φορά)

Βήμα 3° : Δυνατό ταρακούνημα κλείνοντας καλά με τα χέρια την είσοδο και την έξοδο

Βήμα 4° : Επανατοποθέτηση της στο δίκτυο

Βήμα 5° : Συσχέτιση μέσω συνδέσεων και βανών

Βήμα 6° : Χειροκίνητη έναρξη λειτουργίας

Παροχή αντικαθαλωτικού

Σε περίπτωση που κατά την διάρκεια μιας διεργασίας, παρατηρήσουμε αύξηση της αγωγιμότητας, φρόνιμο θα ήταν να αυξήσουμε την δόση του αντικαθαλωτικού προκειμένου να διασφαλίσουμε την ποιότητα των ημιπερατών μεμβρανών. Επίσης, υπάρχουν 2 περιπτώσεις διακοπής παροχής αντικαθαλωτικού.

A) Είτε όταν έχουμε μικρή ποσότητα ή και έλλειψη αντικαθαλωτικού (αυτόματη διακοπή λειτουργίας με βοήθεια φλοτέρ)

B) Είτε όταν υπάρχει μια τεχνική βλάβη λόγω ποσότητας αέρα.

Στην πρώτη περίπτωση, αφού διακόψουμε την λειτουργία χειροκίνητα, η προσθήκη γίνεται με αναλογία 1/19 (1 L αντικαθαλωτικού και 19 L νερού) και ακολουθεί η χειροκίνητη επανέναρξη. Στην δεύτερη περίπτωση, η τεχνική βλάβη λόγω αέρα συνεπάγεται μη παροχή αντικαθαλωτικού, άρα η στάθμη του παραμένει σταθερή. Γεγονός καταστρεπτικό για τις ημιπερατές μεμβράνες, συνεπώς είναι απαραίτητη η επιδιόρθωση της.

Αντικατάσταση – επιδιόρθωση στοιχείων

Πάντα, κατά την αφαίρεση ή επιδιόρθωση κάποιου στοιχείου πρέπει οπωσδήποτε, να πραγματοποιούμε χειροκίνητη διακοπή λειτουργίας και να απομονώνουμε το στοιχείο μέσω των βάνων.

7.2.4 Διαδικασία Επεξεργασίας Αποβλήτου

Προκατεργασία



Εικόνα 4.
Δεξαμενή
Ακατέργαστου

Εικόνα 5.
Αντλία Πίεσης
–
Βαλβίδα
αντεπιστροφής

Εικόνα 6.
Φίλτρο τύπου
FILTR-GARD FP
3/2 3/4 (20μ) -
Μετρητές πίεσης

Εικόνα 7.
Φίλτρο Άμμου –
Μετρητές πίεσης

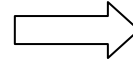
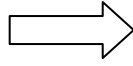
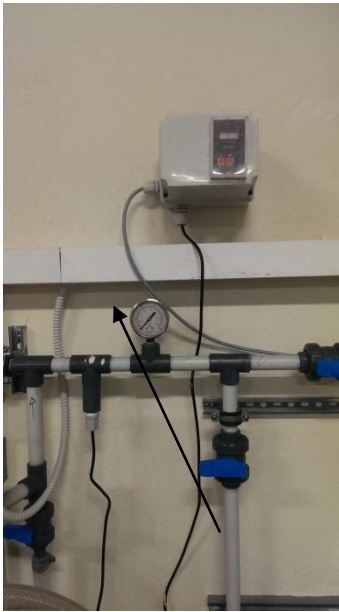
Εικόνα 8.
Αντικαθαλωτικό –
Παλινδρομική
Αντλία



- Πιεζοστατικός Διακόπτης
- Θερμόμετρο
- Μετρητές πίεσης εξόδου και εισόδου μεμβρανών
- Μετρητής παροχής (βολίδας) απορριπτόμενου
- Μετρητής παροχής (βολίδας) προϊόντος
- Μετρητής παροχής (βολίδας) ανακυκλοφορίας
- Ημιπερατές Μεμβράνες
- Αντλία Υψηλής Πίεσης
- Φίλτρο τύπου FILTR-GARD FP 3/2 3/4 (1μ, 5μ)
- Τροφοδοσία Συντήρησης

Αντίστροφη Οσμωση (Εικόνα 9)

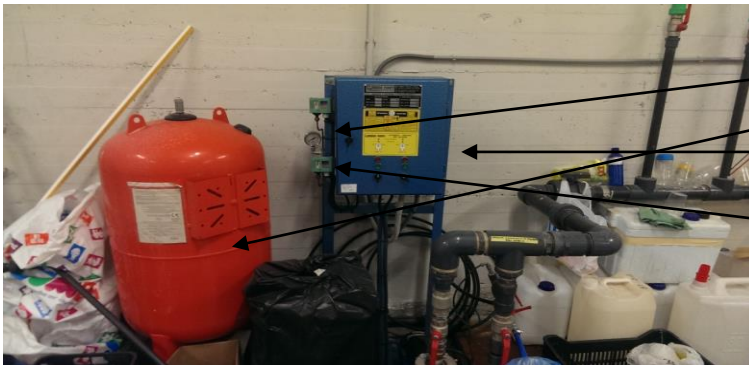
Εμπλουτισμός τελικού προϊόντος



Εικόνα 10. Αγωγιμόμετρο

Εικόνα 11.
Στήλη ιόντων -
Χειροκίνητες βάνες

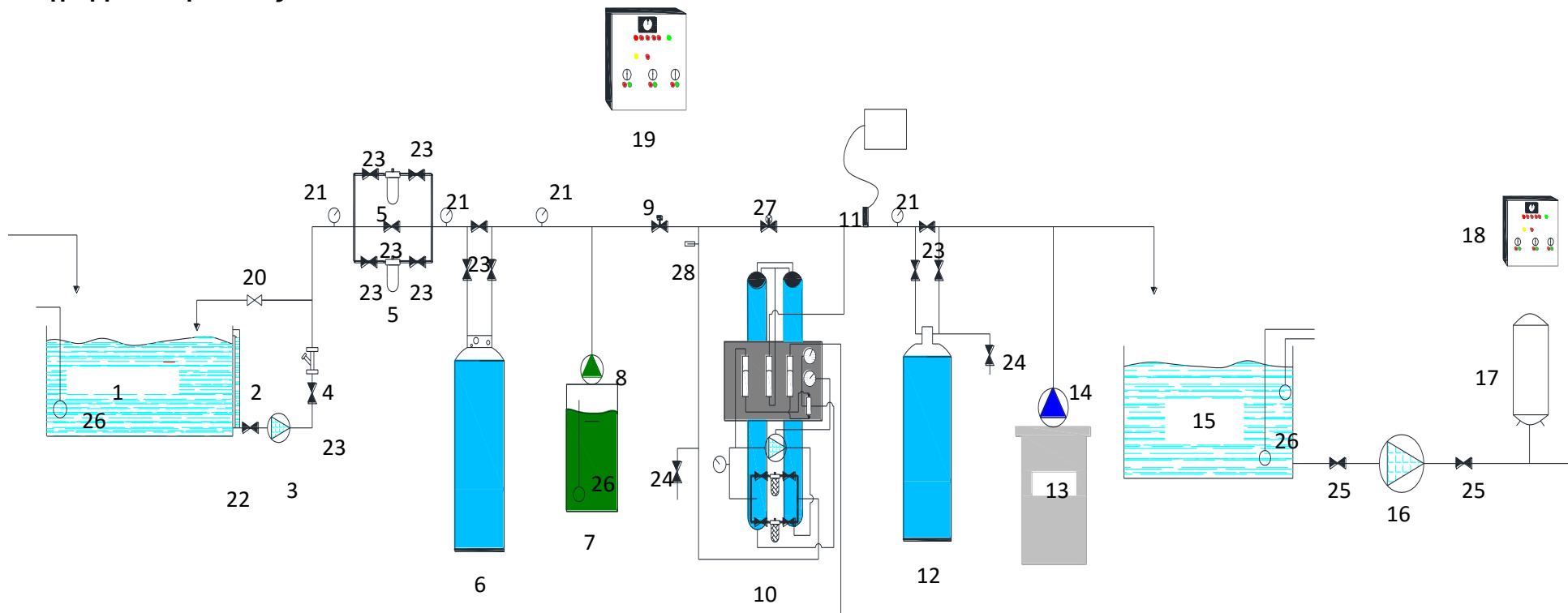
Εικόνα 12.
Δεξαμενή κατεργασμένου



Παροχή σε δίκτυο (Εικόνα 13)

- Μανόμετρο
- Δοχείο διαστολής
- Πίνακας λειτουργίας αντλίας δικτύου
- Πιεζοστατικός διακόπτης ηλεκτρικού ρεύματος

Διάγραμμα PID μονάδας RO



1-Δεξαμενή Ανεπεξεργαστου	8-Δοσομετρική Αντλία Αντικαθαλωτικού	15-Δεξαμενή Επεξεργασμένου	22-Βάνα Φ32
2-Ελεγκτής Στάθμης	9-Ελεγκτής	16-Αντλία Δικτύου	23-Βάνα Φ25
3-Αντλία Τροφοδοσίας	10-Αντίστροφη Ώσμωση (εικόνα 9)	17-Δοχείο Διαστολής	24-Βάνα Φ20
4-Δειγματολήπτης	11-Αγωγιμόμετρο	18-Πίνακας Ελέγχου Δικτύου	25-Βάνα
5-Προφίλτρα 25μ	12-Στήλη Ιόντων	19-Πίνακας Ελέγχου Μονάδας RO	26-Φλοτέρ
6-Φίλτρο Άμμου	13-Κάδος Χλωρίωσης	20-Βάνα 1/4"	27-Βάνα Χειροκίνητη
7-Δοχείο Αντικαθαλωτικού	14-Δοσομετρική Αντλία Χλωρίου	21-Μανόμετρο	28-Θερμόμετρο

7.3.5 Λειτουργικό κόστος

Το κόστος παραγωγής επεξεργασμένου νερού ανά m^3 παραγόμενου νερού, υπολογίζεται αναλυτικά στη συνέχεια, βάσει των σταθερών δεδομένων:

- Δυναμικότητα μονάδας: $8 \text{ L/min} = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$
- Ποσότητα μηνιαία κατανάλωσης: 800 m^3
- Παραγόμενη ποσότητα νερού ανά έτος: $800 \text{ m}^3/\text{μήνα} \times 12 \text{ μήνες/έτος} = 9.600 \text{ m}^3/\text{έτος}$
- Παραγόμενη ποσότητα νερού σε 3 έτη : $9.600 \text{ m}^3/\text{έτος} \times 3 \text{ έτη} = 28.800 \text{ m}^3$

Το κόστος του παραγόμενου νερού συνίσταται σε:

1. Ηλεκτρική ενέργεια (αντλία υψηλής πίεσης και αντλία τροφοδοσίας)

Χαρακτήρας Ανλτίας	Κατασκευαστής	Τύπος	kW (Ισχύς)	A (Ρεύμα)	V (Τροφοδοσία)	Q (Παροχή)	H
Τροφοδοσίας	LOWARA	GP6-B-A-CVBP	1,4	6	220	4 m^3/h	27 m
RO (Υψηλής Πίεσης)	LOWARA	2HM7/A	0,75	5,09	220	20-70 l/min	53,2 – 25,8 m
Αντικαθαλωτικού	PULSATION	LD02S2-PTC1-C2xxx		0,2	230	0,95 l/h	5,6 BAR

- Μηνιαίος χρόνος λειτουργίας: $800 \text{ m}^3/\text{μήνα} \div 8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$
 $= 10^5 \text{ min}/\text{μήνα} = 1667 \text{ h}/\text{μήνα}$

α) αντλία υψηλής πίεσης:

$$1,4 \text{ Kw} \times 1667 \text{ ώρες/μήνα} \times 0,0946 \text{ Euros/Kwh} = 220 \text{ Euros/μήνα}$$

$$\frac{220 \text{ Euros/μήνα}}{800 \text{ m}^3/\text{μήνα}}$$

$$= \mathbf{0,275 \text{ Euros} / m^3 \text{ παραγόμενου νερού}}$$

β) αντλία τροφοδοσίας :

$$0,75 \text{ Kw} \times 1667 \text{ ώρες/μήνα} \times 0,0946 \text{ Euros / Kwh} = 119 \text{ Euros/ημέρα}$$

$$\frac{119 \text{ Euros/μήνα}}{800 \text{ m}^3 / \text{μήνα}}$$

$$= \mathbf{0,148 \text{ Euros} / m^3 \text{ παραγόμενου νερού}}$$

2. Αντικατάσταση ενεργού άνθρακα

Συχνότητα αντικατάστασης = 1 φορά / δύο έτη

Κόστος αντικατάστασης ανά 3-ετία = 4,84 Euros./ kgr. x 20 kgr. = 96,8 Euros/3-ετία

96,8 Euros/3 έτη

————— = **0,003 Euros/m³ παραγόμενου νερού**

28.800 m³ /3 έτη

4. Αντικατάσταση φυσιγγίων φίλτρου αιωρημάτων 25 microns

Συχνότητα αντικατάστασης = 1 φορά / εξάμηνο /φίλτρο

Κόστος αντικατάστασης = 20,00 Euros / φυσίγγιο x 4 x 2 φορές/έτος = 160,00 Euros/έτος

160,00 Euros/έτος

————— = **0,016 Euros/m³ παραγόμενου νερού**

9.600 m³ /έτος

5. Αντικαθαλατωτικό χημικό πρόσθετο

0,01 Kgr./m³ παραγόμενου νερού x 8 m³/ημέρα = **0,08 Kgr./ημέρα**

10,70 Euros./Kgr. x 0,08 Kgr./ημέρα = 0,856 Euros/ημέρα

0,856 Euros/ημέρα

————— = **0,107 Euros/m³ παραγόμενου νερού**

8 m³ /ημέρα

6. Αντικατάσταση μεμβρανών

- Διάρκεια ζωής μεμβρανών : 5 χρόνια
- Αριθμός μεμβρανών συστήματος : 2 Τεμ.
- Κόστος Μεμβρανών : 1850,00 Euros/Τεμ.
2 Μεμβράνες x 1850,00 Euros/μεμβράνη = 3.700,00 Euros / 5 χρόνια

3.700,00 Euros/5ετία

————— = **0,08 Euros/m³ παραγόμενου νερού**

48.000 m³ / 5ετία

7. Χημικός καθαρισμός μεμβρανών

Συχνότητα καθαρισμών : 2 φορές / έτος

Κόστος ανά χημ. Καθαρισμό : 60,00 Euros

Ετήσιο Κόστος Χημ. Καθαρισμών: 120,00 Euros

Παραγόμενη ποσότητα νερού ανά έτος : 9.600 m³

Κόστος παραγόμενου νερού : $\frac{120,00 \text{ Euros/έτος}}{9.600 \text{ m}^3/\text{έτος}}$ = **0,0125 Euros/m³ παραγ/νου νερού**

Σύνολο: 0,63 Euros / m³ παραγόμενου νερού.

Κόστος νερού ΕΥΔΑΠ: 0,83 Euros / m³ παραγόμενου νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Συνδυασμένες Τεχνικές MBR – RO στην Επεξεργασία Συνθετικού Υγρού Αποβλήτου – Αποτελέσματα – Συζήτηση

8.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε. Επίσης, θα συζητηθούν τα απολετέσματα και τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από τις επιμέρους πειραματικές ενότητες ελέγχου των κάτωθι παραμέτρων:

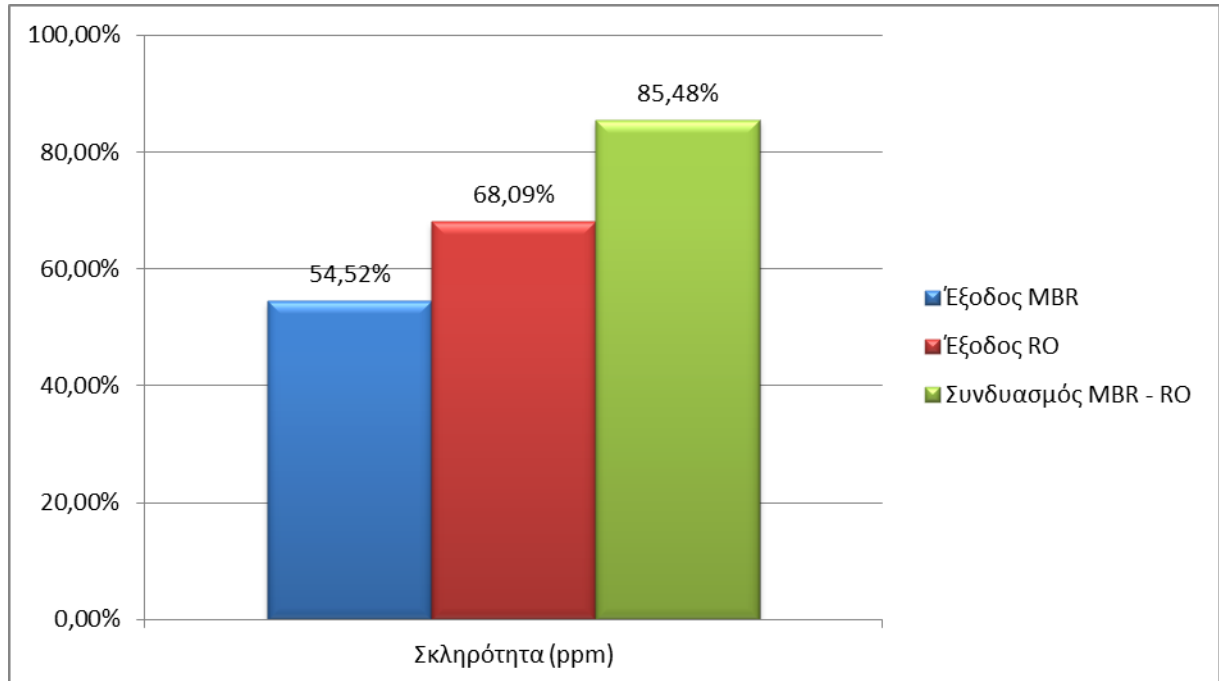
- Σκληρότητα
- Θολότητα
- Αγωγιμότητα
- Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου
- Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου
- Αλκαλικότητα
- Χλωριόντα
- Ολικός Φώσφορος
- Ολικό Άζωτο και
- Νιτρικά.

Όλες οι πειραματικές μετρήσεις μας παρουσιάζονται σε μορφή γραφημάτων με μορφή ποσοστών με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα προέξυψαν από τον ακόλουθο κύκλο πειραματικής διαδικασίας :

- Παρασκευή υγρών αποβλήτων
- Τροφοδοσία βιοαντιδραστήρα
- Επεξεργασία υγρών αποβλήτων με την τεχνική MBR (Μέτρηση)
- Συλλογή επεξεργασμένων αποβλήτων από MBR σε δεξαμενή 1200 lt
- Τροφοδοσία αντίστροφης όσμωσης
- Επεξεργασία επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων από MBR με την τεχνική RO
- Συλλογή τελικών επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων από συνδυασμό τεχνικών MBR και RO.

8.2. Έλεγχος Σκληρότητας - Θολότητας



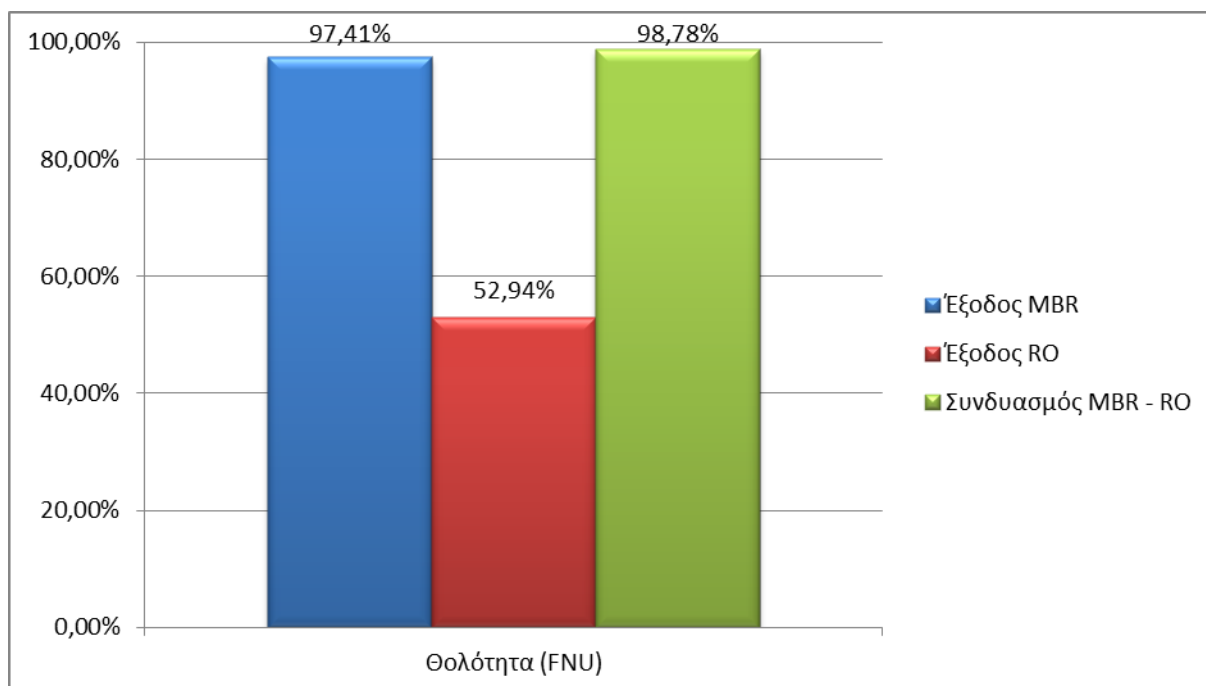
Διάγραμμα 1. % Απομείωση Σκληρότητας Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 1. παρουσιάζεται η απομείωση της σκληρότητας του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση της σκληρότητας του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση της σκληρότητας του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση της σκληρότητας σε ποσοστά περίπου 55%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης της σκληρότητας μέσω RO να είναι κοντά στο 70% σε σχέση με το MBR. Ο συνδιασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης της σκληρότητας με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 85%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 66 ppm , σε MBR 28,2 ppm και σε RO 9 ppm. (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε πως το ασβέστιο και το μαγνήσιο, τα οποία εμβολιάσαμε στο βιοαντιδραστήρα και επηρεάζουν την σκληρότητα απομειώθηκαν ως ένα βαθμό από το μικροβιακό φορτίο. Στην συνέχεια, η απομείωση αυξήθηκε κατά την επεξεργασία με την τεχνική της αντίστροφης

όσμωσης, γεγονός που ήταν αναμενόμενο λόγω της αρχής λειτουργίας της, η οποία είναι η απομάκρυνση ιόντων.



Διάγραμμα 2. % Απομείωση Θολότητας Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 2. παρουσιάζεται η απομείωση της θολότητας του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση της θολότητας του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση της θολότητας του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση της θολότητας σε ποσοστά περίπου 97%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης της θολότητας μέσω RO να είναι κοντά στο 52% σε σχέση με το MBR. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης της θολότητας με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 99%.

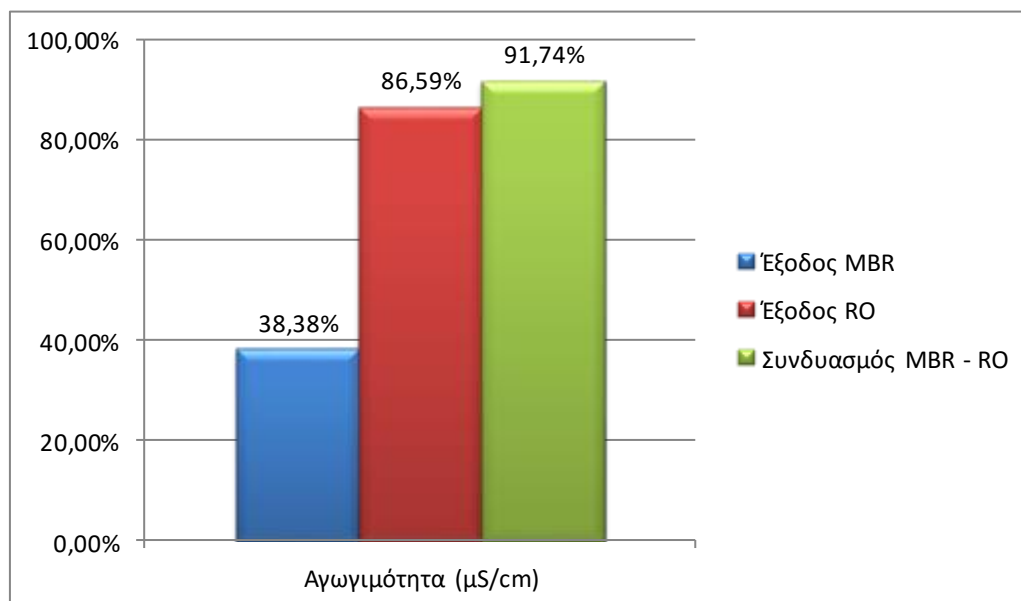
Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 19,71 FNU , σε MBR 0,51 FNU και σε RO 0,24 FNU . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε πως τα φίλτρα που χρησιμοποιήσαμε στην τεχνική MBR ήταν πλέον αποδοτικά αναφορικά με την απομείωση των αιωρούμενων στερεών, τα οποία επηρεάζουν την θολότητα. Στην συνέχεια, ο συνδυασμός με την τεχνική της αντίστροφης όσμωσης παρουσιάζει απλά ένα

βέλτιστο

αποτέλεσμα.

8.3. Έλεγχος Αγωγιμότητας – Αλκαλικότητας

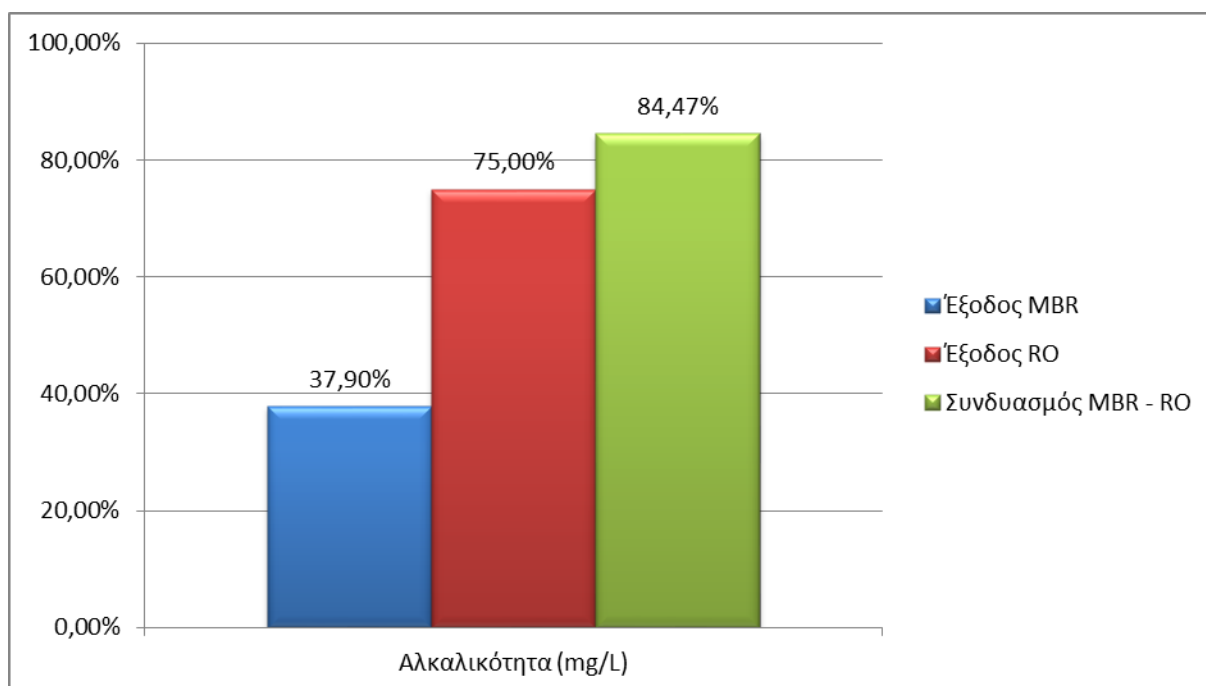


Διάγραμμα 3. % Απομείωση Αγωγιμότητας Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 3. παρουσιάζεται η απομείωση της αγωγιμότητας του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση της αγωγιμότητας του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση της αγωγιμότητας του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση της αγωγιμότητας σε ποσοστά περίπου 38%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης της αγωγιμότητας μέσω RO να είναι κοντά στο 86% σε σχέση με το MBR. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης της αγωγιμότητας με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 91%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 581 $\mu\text{S}/\text{cm}$, σε MBR 358 $\mu\text{S}/\text{cm}$ και σε RO 48 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε πως παρότι αναμέναμε αύξηση στην αγωγιμότητα λόγω της σόδας που προσθέταμε κατά την λειτουργία του MBR, τελικά παρατηρούμε μια χαρακτηριστική απομείωση-όχι τόσο ικανοποιητική βέβαια. Γεγονός που οφείλεται στα ιόντα που εμφανίζονται κατά την προσθήκη σόδας, ενώ ένα πολύ μικρό μέρος τους είναι ενωμένο με οργανικά φορτία,τα οποία απομακρύνονται κατά την επεξεργασία με την τεχνική του MBR. Επομένως, όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε με τον συνδυασμό της RO η απομείωση αυτών των ιόντων και τελικώς της αγωγιμότητας, βελτιστοποιείται.



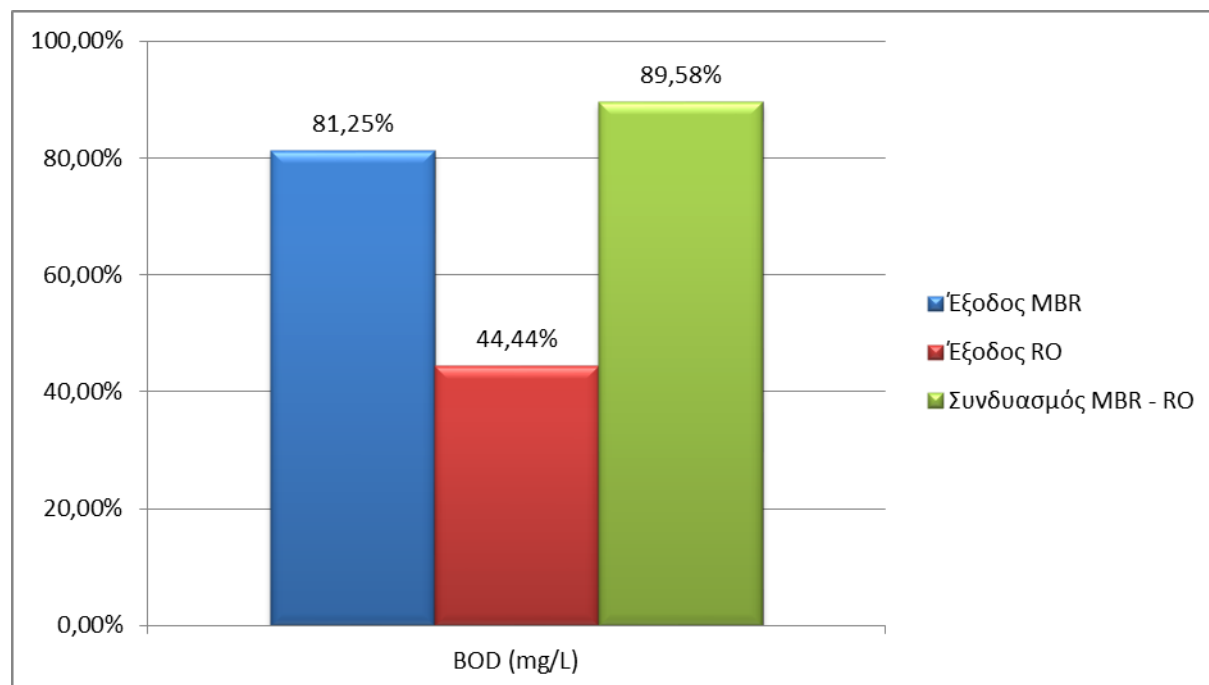
Διάγραμμα 4. % Απομείωση Αλκαλικότητας Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 4. παρουσιάζεται η απομείωση της αλκαλικότητας του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση της αλκαλικότητας του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση της αλκαλικότητας του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση της αλκαλικότητας σε ποσοστά περίπου 38%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης της αλκαλικότητας μέσω RO να είναι κοντά στο 75% σε σχέση με το MBR. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης της αλκαλικότητας με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 84%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 219 mg/L , σε MBR 136 mg/L και σε RO 34 mg/L . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε πως είμαστε σε σωστό δρόμο, καθώς επιβεβαιώνεται η ίδια συμπεριφορά που περιμέναμε, διότι και η αλκαλικότητα επηρεάζεται από την σόδα που προσθέσαμε.

8.4. Έλεγχος Βιολογικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (BOD) – Χημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (COD)

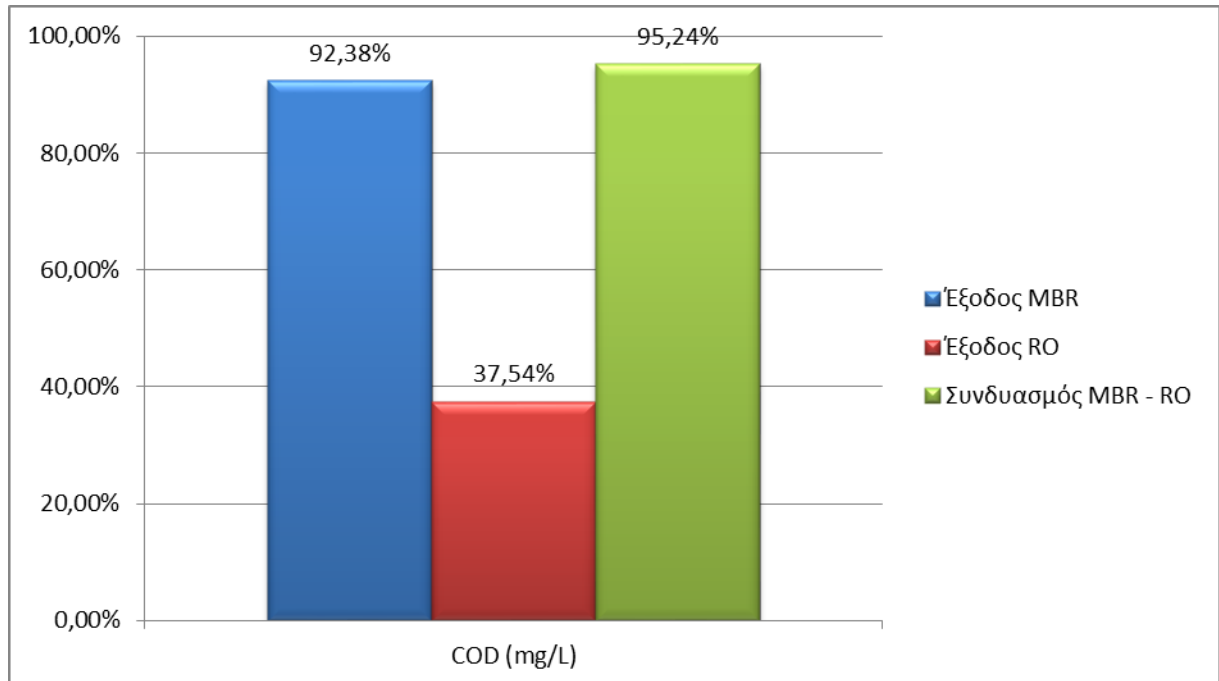


Διάγραμμα 5. % Απομείωση BOD Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR – RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 5. παρουσιάζεται η απομείωση του BOD του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση του BOD του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση του BOD του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση του BOD σε ποσοστά περίπου 81%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης του BOD μέσω RO να είναι κοντά στο 44% σε σχέση με το MBR. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης του BOD με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 90%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 240 mg/L , σε MBR 45 mg/L και σε RO 25 mg/L . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε πως η λειτουργία του MBR είναι εξαιρετική, καθώς παρατηρούμε μεγάλη απομείωση του BOD, δηλαδή εξαιρετική απομάκρυνση του οργανικού φορτίου, το οποίο είναι αυτό που επηρεάζει την ποσότητα του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου. Στην συνέχεια, με τον συνδυασμό της τεχνικής RO η απομείωση του BOD φτάνει σε τιμές, που πιθανών να μην έφτανε ποτέ το MBR. Συνεπώς, έχουμε την βέλτιστη επεξεργασία.



Διάγραμμα 6. % Απομείωση COD Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 6. παρουσιάζεται η απομείωση του COD του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση του COD του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση του COD του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση του COD σε ποσοστά περίπου 92%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης του COD μέσω RO να είναι κοντά στο 37% σε σχέση με το MBR. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης του COD με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 95%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 374 mg/L , σε MBR 28,5 mg/L και σε RO 17,8 mg/L . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες 1,2)

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε πως η λειτουργία του MBR είναι εξαιρετική, καθώς παρατηρούμε μεγάλη απομείωση του COD, δηλαδή εξαιρετική απομάκρυνση του οργανικού φορτίου, το οποίο είναι αυτό που επηρεάζει την ποσότητα του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου. Στην συνέχεια, με τον συνδυασμό της τεχνικής RO η απομείωση του BOD φτάνει σε τιμές, που πιθανών να μην έφτανε ποτέ το

ΜΒΡ.Συνεπώς,

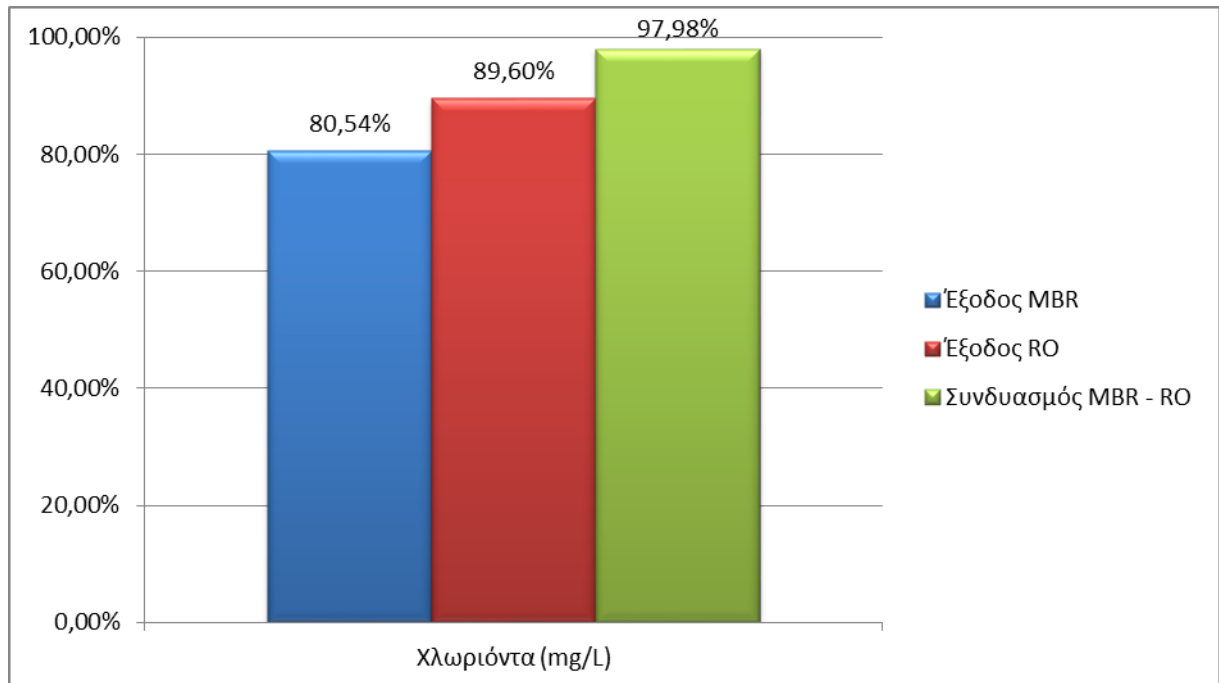
έχουμε

την

βέλτιστη

επεξεργασία.

8.5. Έλεγχος Χλωριόντων – Ολικού Αζώτου (TN) – Ολικού Φωσφόρου (TP) – Νιτρικών (NO₃)



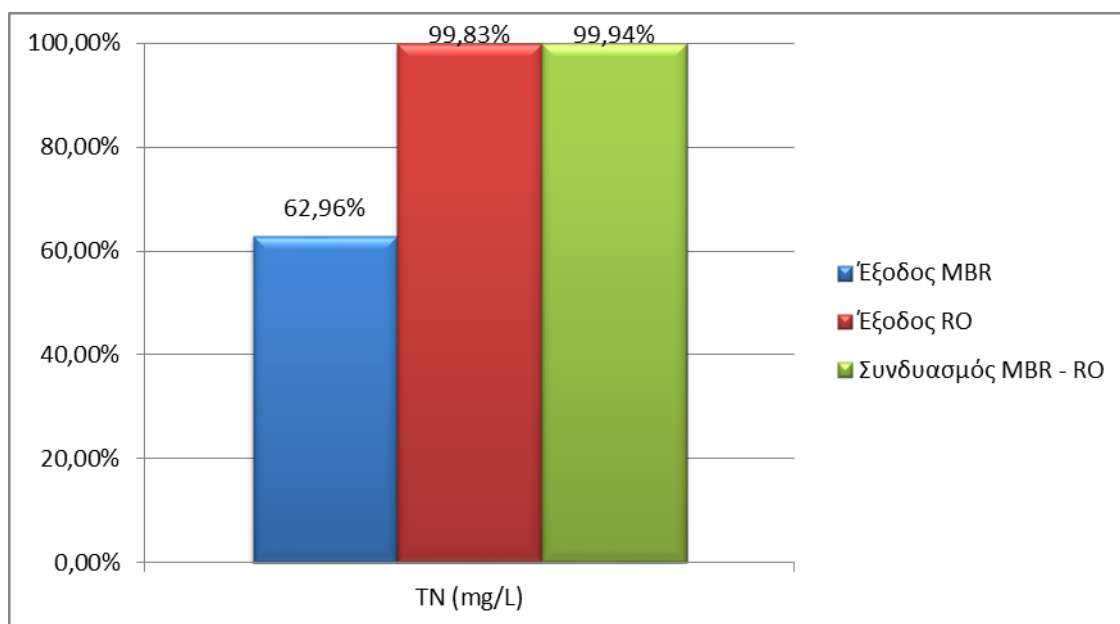
Διάγραμμα 7. % Απομείωση Χλωριόντων Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 7. παρουσιάζεται η απομείωση των χλωριόντων του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση των χλωριόντων του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση των χλωριόντων του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση των χλωριόντων σε ποσοστά περίπου 80%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης των χλωριόντων μέσω RO να είναι κοντά στο 90% σε σχέση με το MBR. Ο συνδιασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης των χλωριόντων με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 98%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 16,8 mh/L , σε MBR 3,27 mg/L και σε RO 0,34 mg/L . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε πως με την βοήθεια των μικροοργανισμών επιτεύχθηκε χαρακτηριστική απομείωση των χλωριόντων, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την προώθηση μικρότερου φορτίου για επεξεργασία από την RO. Με τον τρόπο αυτό καθιστούμε την RO αποτελεσματικότερη, αυξάνουμε την διάρκεια

ζωής της και επιτυγχάνουμε την βέλτιστη απομείωση – σχεδόν εξαφάνιση των χλωριόντων.



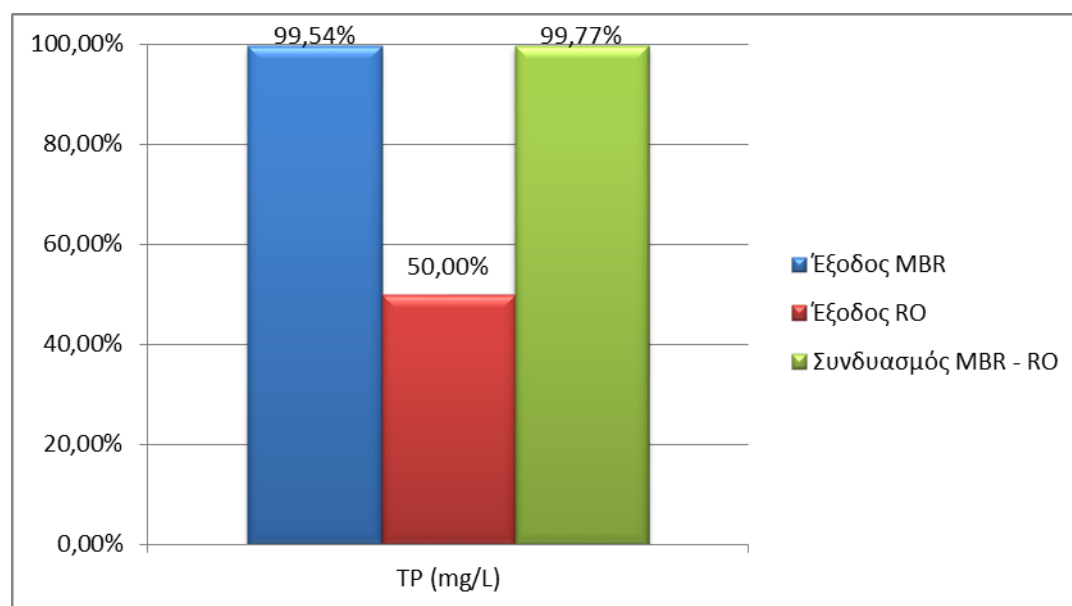
Διάγραμμα 8. % Απομείωση Αζώτου Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 8. παρουσιάζεται η απομείωση του TN του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση του TN του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση του TN του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση του TN σε ποσοστά περίπου 62%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης του TN μέσω RO να είναι κοντά στο 99% σε σχέση με το MBR. Ο συνδιασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης του TN με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 99%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 6,29 mg/L , σε MBR 2,33 mg/L και σε RO 0,004 mg/L . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε πως για να φτάσουμε στην ολοκληρωτική απομάκρυνση του ολικού αζώτου, τόσο με την τεχνική MBR απομακρύνθηκαν σε σχεδόν απόλυτο βαθμό το οργανικό φορτίο – πρωτεΐνες, όσο και με την τεχνική της RO απομακρύνθηκαν σε απόλυτο βαθμό το άζωτο με μορφή

καθαρών ιόντων. Με αυτόν τον τρόπο επιτύχαμε σχεδόν 100% απομάκρυνση του ολικού αζώτου.

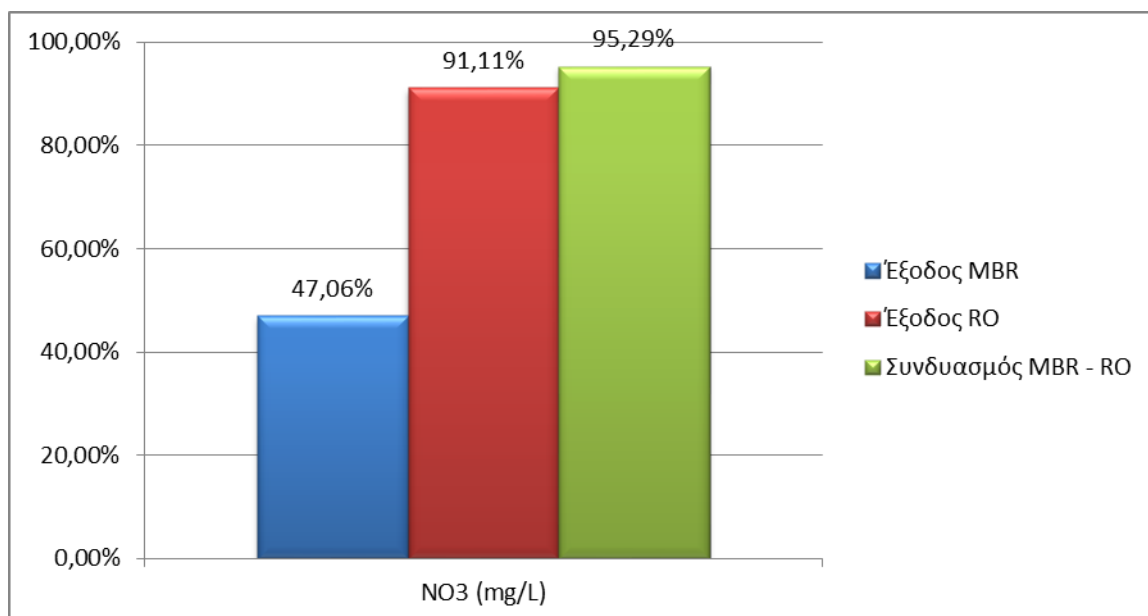


Διάγραμμα 9. % Απομείωση Φωσφόρου Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR - RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 9. παρουσιάζεται η απομείωση του TP του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση του TP του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση του TP του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση του TP σε ποσοστά περίπου 99%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης του TP μέσω RO να είναι κοντά στο 50% σε σχέση με το MBR. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης του TP με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 99%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 2,19 mg/L , σε MBR 0,01 mg/L και σε RO 0,005 mg/L . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες1,2)

Επομένως, είμαστε σε θέση να συμπεράνουμε πως ο ολικός φωσφόρος ήταν υπό μορφή προσκολλημένος στις πρωτεΐνες, συνεπώς με την τεχνική MBR πέτυχαμε σχεδόν ολοκληρωτική απομάκρυνση. Ο συνδυασμός με την τεχνική RO απλά προσέφερε ένα βέλτιστο αποτέλεσμα.



Διάγραμμα 10. % Απομείωση Νιτρικών Συνθετικού Αστικού Απόβλητου από σύστημα MBR και Επεξεργασμένου από Σύστημα RO και συνολική Απομείωση από Συνδυασμένη Τεχνική MBR – RO

Στο παραπάνω διάγραμμα 10. παρουσιάζεται η απομείωση των NO₃⁻ του συνθετικού αποβλήτου στην έξοδο από τον βιο-αντιδραστήρα μεμβρανών (μπλέ μπάρα). Επίσης, εμφανίζεται η % επιπλέον απομείωση των NO₃⁻ του επεξεργασμένου αποβλήτου από τις δεξαμενές αντίστροφης όσμωσης (κόκκινη μπάρα) σε σχέση με την απομείωση του MBR και τέλος η ολική απομείωση των NO₃⁻ του επεξεργασμένου απόβλητου, η οποία παρουσιάζεται από την συνδυασμένη τεχνική MBR – RO (πράσινη γραμμή) σε σχέση με το αρχικό συνθετικό απόβλητο. Παρατηρούμε πως η έξοδος του MBR παρουσιάζει αρχική βελτίωση στην απομείωση των NO₃⁻ σε ποσοστά περίπου 47%. Η αντίστοιχη τιμή της απομείωσης των NO₃⁻ μέσω RO να είναι κοντά στο 91% σε σχέση με το MBR. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων παρουσίασε συνολική βελτίωση της απομείωσης των NO₃⁻ με μέσες ποσοστιαίες τιμές πάνω από 95%.

Ειδικότερα παρουσιάζεται η σκληρότητα από 0,425 mg/L , σε MBR 0,225 mg/L και σε RO 0,02 mg/L . (βλ. Παραρτήματα Α,Β, Πίνακες 1,2)

Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε πως με την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης κατά την επεξεργασία του υγρού αποβλήτου με την τεχνική του MBR πετύχαμε μια χαρακτηριστική απομείωση. Ενώ, στην συνέχεια με τον συνδυασμό της τεχνικής της RO πετύχαμε απομάκρυνση των νιτρικών που εμφανίζονταν με την μορφή των

ιόντων και συνεπώς το αποτέλεσμα από την βέλτιστη επεξεργασία του υγρού αποβλήτου ήταν εξαιρετικά ικανοποιητικό.

Γ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Ανακεφαλαιώνοντας, αναφορικά με το απόβλητο που παρασκευάσαμε και επεξεργάστηκε από τον συνδυασμό των τεχνικών MBR και RO ελέγξαμε τις παραμέτρους με τις αναλυτικές μεθόδους και τα όργανα που παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα :

Πίνακας 1 : Αναλυτικές Μέθοδοι – Όργανα – Παράμετροι Ελέγχου

	Ηλεκτρομετρικές Μέθοδοι			Οπτικές Μέθοδοι			
	Αγωγιμόμετρο Mettler Toledo	Αυτόματος Τιτλοδότης	Αυτόματος Τιτλοδότης Hanna	Θολερόμετρο Turbiquant 1100R	Φασματοφωτόμετρο Hach	Θερμοαντιδραστήρας	
						Merk TR 320	Hach – Lange
Σκληρότητα		x					
Θολότητα				x			
Αλκαλικότητα			x				
Αγωγιμότητα	x						
COD, BOD					x	x	
Χλωριόντα					x		x
Ολικό Άζωτο					x		x
Ολικός Φωσφόρος					x		x
Νιτρικά					x		x

Στην συνέχεια, τα αποτελέσματα από το αρχικό απόβλητο, την επεξεργασία από MBR και την επεξεργασία της συνδυασμένης τεχνικής MBR και RO συγκρινόμενα με την νομοθεσία παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

	Νομοθεσία	Αποτελέσματα Αποβλήτου	Αποτελέσματα Επεξεργασίας με την Τεχνική MBR	Αποτελέσματα Επεξεργασίας με την Συνδυασμένη Τεχνική MBR & RO
Σκληρότητα	60-150 ppm	62.2 ppm	28.2 ppm	9 ppm
Θολότητα	< 1 NTU	19.71 NTU	0.51 NTU	0.24 NTU
Αγωγιμότητα	50 - 1500 μS/cm ποσιμο 650 άρδευση	581 μS/cm	358 μS/cm	48 μS/cm
Αλκαλικότητα	-	219 mg/L	136 mg/L	34 mg/L
BOD	<25 mg/L	240 mg/L	45 mg/L	25 mg/L
COD	<125 mg/L	374 mg/L	28.5 mg/L	17.8 mg/L
Cl ⁻	25 -250 mg/L ποσιμο >200 δυσμενείς επιπτώσεις	16.8 mg/L	3.27 mg/L	0.34 mg/L
TN	<1	6.29 mg/L	2.33 mg/L	0.004 mg/L
TP	5 – 100 <5000 mg/L <40 2<	2.19 mg/L	0.01 mg/L	0.005 mg/L
NO ₃ ⁻	<50 mg/L ποσιμο 25 -50	0.425 mg/L	0.225 mg/L	0.02 mg/L

Όπως, μπορούμε να παρατηρήσουμε με την χρήση της τεχνικής του MBR επιτύχαμε χαρακτηριστική βελτίωση των παραμέτρων που ελέγξαμε. Σε πολλές από τις οποίες το επεξεργασμένο απόβλητο πληρούσε τις προδιαγραφές της νομοθεσίας.

Στην συνέχεια, με τον συνδυασμό και της RO παρατηρούμε πως το απόβλητο επιδέχεται μια περαιτέρω βελτίωση αναφορικά με τις παραμέτρους που ελέγξαμε. Πιο συγκεκριμένα, η απομείωση που παρατηρήθηκε σε αρκετές περιπτώσεις ταυτιζόταν με σχεδόν ολοκληρωτική εξάλειψη π.χ. ολικό άζωτο. Επομένως, επιτύχαμε τιμές που πιθανών ποτέ να μην έφτανε από μόνη της η χρήση της τεχνικής επεξεργασίας του MBR και συνεπώς πληρείται ακόμα και το πιο αυστηρό όριο της νομοθεσίας.

Οφείλουμε να υπογραμμίσουμε ακόμα πως η βελτίωση του αποβλήτου από την τεχνική του MBR συμβάλλει τόσο στην αποδοτικότερη λειτουργία της τεχνικής της RO, όσο και στην αύξηση του χρόνου ζωής της.

Το νερό του παράγεται από την επεξεργασία αυτή είναι τελείως καθαρό και πληρεί κάθε προδιαγραφή της νομοθεσίας. Είναι καταλληλο για άρδευση και με κατάλληλη επεξεργασία έχει την δυνατότητα να μετατραπεί και σε πόσιμο.

Επομένως, το σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με συνδυασμό MBR και RO κρίνεται εξαιρετικά αποτελεσματικό.

Οι προοπτικές του συστήματος αυτού είναι οι ακόλουθες :

- Χρήση για παρασκευή πόσιμου νερού
- Χρήση για επεξεργασία εξαιρετικά μολυσμένων αποβλήτων π.χ. βιομηχανικών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Comerton A. M., Andrews R. C. and D.M. Bagley (2005) 'Evaluation of an MBR–RO system to produce high quality reuse water.' *Water Research*, vol 39, pp.3982–3990
2. Tam L.S., Tang T.W., Lau G.N., Sharma K.R. and G.H. Chen (2007) 'A pilot study for wastewater reclamation and reuse with MBR/RO and MF/RO systems.' *Desalination*, vol 202, pp.106-113
3. Cadotte J. E., 1981, Interfacially Synthetized Reverse Osmosis Membrane, US Patent 4,277,344
4. Cheremisinoff Nicholas P., 2002, Handbook of water and wastewater treatment technologies, Butterworth-Heineman, USA
5. Cunningham – Saigon, 2001, Environmental Science, A global concern, McGraw-Hill Companies
6. Duranceau Steven J., 2009, Desalination Post-Treatment Considerations, Florida water Resources Journal
7. Goosen M. F. A., Sablani S. S., Al-Hinai H., Al-Obeidani S., Al-Belushi R. and D. Jackson, 2004, Fouling Of Reverse Osmosis And Ultrafiltration Membranes: A Critical Review, *Separation Science and Technology*, Volume 39 (10) pp 2261-2298 (Marcel Dekker)
8. Kamiyama Y., Yoshioki N., Matsui K. and Nakagome K., (1984), New Thin Film Composite Reverse Osmosis Membranes And Spiral Wound Molecules, *Desalination* 51, 79
9. Karagiannis Ioan. C., Soldatos Pet. G., (2007), Current status of water desalination in the Aegean Islands, *Desalination* 203 56–61
10. Khawaji Akili D., Kutubkhanah Ibrahim K., Wie Jong-Mihn, 2008, Advances in seawater desalination technologies, *Desalination* 221 47–69
11. Loeb S. and Sourirajan S., (1963), Sea Water Demineralization by Means of an Osmotic Membrane, in *Saline Water Conversion II*, R.F. Gould (ed.), *Advances in Chemistry Series Number 38*, American Chemical Society, Washington DC, pp. 117-132
12. Reid C.E. and Breton E.J., *Water and Ion Flow Across Cellulosic Membranes*, *J. Appl. Polym. Sci.* 1, 133 (1959)
13. Robert C. Rosaler, *Standard handbook of plant engineering*, 3rd edition, McGraw Hill, 2002, USA
14. Skoog, Holler, Nieman, 2002, *Αρχές της Ενόργανης Ανάλυσης* (Μ. Ι. Καραγιάννης, Κ. Η. Ευσταθίου, Ν. Χανιωτάκης), Εκδόσεις Κωσταράκης, Αθήνα
15. Venkateswarlu K.S., 1996, *Industrial and Power Station Water Treatment*, New Age International, New Delhi
16. Williams Michael E., 2003i, *A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology*, EET Corporation and Williams Engineering Services Company
17. Williams Michael E., 2003ii, *Review of Reverse Osmosis Theory*, Williams Engineering Services Company, (<http://www.wescinc.com>)

18. Jang N.Y., Watanabe Y. and S. Minegishi (2005) 'Performance of ultrafiltration membrane process combined with coagulation/sedimentation.' *Water Science and Technology*,
19. Kabsch-Korbutowicz M. (2006) 'Impact of pre-coagulation on ultrafiltration process performance.' *Desalination* vol 194 (2006)
20. Kim J.S., Lee S-J, Yoon S-H and C.H. Lee (1996) 'Competitive adsorption of trace organics on membranes and powdered activated carbon in powdered activated carbon-ultrafiltration system.' *Water Science and Technology*
21. Kim S.H., Moon S.Y. and C.H. Yoon (2005) 'Identification of fouling-causing materials in the ultrafiltration of surface water.' *Desalination*
22. Kimura K., Hane Y. and Y. Watanabe (2005) 'Effect of pre-coagulation on mitigating irreversible fouling during ultrafiltration of surface water.' *Water Science and Technology*
23. Μαρκαντωνάτος Γ., Επεξεργασία και Διάθεση Υγρών Αποβλήτων: Αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, ζωικά απορρίμματα, Β' Έκδοση, Αθήνα 1990
24. Li X-Y., Wang X-M. (2006), Modelling of membrane fouling in a submerged membrane bioreactor, *J. Membr. Sci.*
25. ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ – Η ΜΕΘΟΔΟΣ Μ ΒR - Μ. Ζαχαρίας
26. WHO, 1980 και U.S. Nat. Res. Council, 1982
27. Καβουράκη και Μαυράκη, 2001
28. Αγγελάκης κ.ά., 1999, Αγγελάκης και Διαμαντόπουλος, 1999,
29. Tsagarakis et al., 2000.
30. Angelakis and Diamantopoulos, 1995
31. Angelakis and Spyridakis, 1996.
32. Reed and Crites, 1984
33. Asano and Levine, 1996, Angelakis et al., 1997
34. Αγγελάκης και Tchobanoglous, 1995
35. Metcalf and Eddy, 1991
36. Water Pol. Control Feder., 1989
37. Nellor et al., 1985

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Α. Φυσικοχημικά Χαρακτηριστικά Βιομάζας

Πίνακας 1. Παράμετροι Μετρήσεων

Αποβλήτου	Σκληρότητα (ppm)	Θολότητα (FNU)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Αλκαλικότητα (mg/L)	Χλωριόντα (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
Υπερκείμενο 2h Δείγμα 1	62,00	19,71	581,00	219,00	16,80	240,00	374,00
Έξοδος MBR							
Ομογενοποιημένο (4 μεμβρανών)	28,20	0,51	358,00	136,00	3,27	45,00	28,50
Έξοδος Β (Ν)	24,2	0,11	427	182	2,85	32,00	23,70
Έξοδος Α (ΚΗ)	16	0,86	363	190	2,95	40,00	19,80
Έξοδος Γ (Κ)	32	0,15	436	185	2,92	45,00	36,30
Έξοδος Δ (S)	30	0,11	433	169	2,64	50,00	39,10

Β.Χαρακτηριστικά Επεξεργασμένου Αποβλήτου Από Συνδυασμό MBR-RO

Πίνακας 2. Παράμετροι Μετρήσεων

Δεξαμενή 1200 lt	Σκληρότητα (ppm)	Θολότητα (FNU)	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Αλκαλικότητα (mg/L)	Χλωριόντα (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TN (mg/L)
Ομογενοποιημένο	13,60	0,47	417,00	210,00	3,05	31,50	22,50	0,799
						-	21,3	0,703
Έξοδος RO								
Ομογενοποιημένο 1	9,00	0,26	43,10	22,00	0,45	40,00	17,80	0,005
Ομογενοποιημένο 1	-	-	-	-	-		17,80	0,015
Ομογενοποιημένο 2	9,00	0,24	48,00	34,00	0,34	25,00	17,80	0,004
Απόβλητο 1	140-180	1,39	651,00	305,00	37,8	605,00	104,00	2,08
Απόβλητο 1	-	-	-	-	-		60,8	2,53
Απόβλητο 2	140 - 180	1,26	676,00	442,00	17,70		55,80	2,84