

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΕΜΦΡΑΞΗΣ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕΘΟΔΩΝ

Π.Κ. Γκότσης¹, Ε.Ν. Πελέκα¹, Α.Ι. Ζουμπούλης¹, Μ. Μήτρακας², Δ. Ζαμπούλης¹

¹Τομέας Χημικής Τεχνολογίας και Βιομηχανικής Χημείας, Εργαστήριο Γενικής και Ανόργανης Χημικής Τεχνολογίας, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη
E-mail: petgk@chem.auth.gr

²Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., 54124 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σημαντικότερο πρόβλημα των βιοαντιδραστήρων μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων είναι η έμφραξη των μεμβρανών που οδηγεί στη μείωση της διαπερατότητας και της απόδοσής τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους επεξεργασίας εξαιτίας της αύξησης της δαπανώμενης ενέργειας και της απαίτησης καθαρισμού και την αντικατάστασης των μεμβρανών. Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη μιας καινοτόμου τεχνικής για τον έλεγχο της έμφραξης συνδυάζοντας την προσθήκη νέων σύνθετων κροκιδωτικών με τη χρήση μεμβρανών με κατάλληλες επιφανειακές ιδιότητες. Για τον σκοπό αυτό έχει κατασκευαστεί μία εργαστηριακή μονάδα με πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία, η οποία αποτελείται από μια ακολουθία τεσσάρων δεξαμενών: 1. Αποβλήτων, 2. Βιολογικής επεξεργασίας, 3. Διαχωρισμού ενεργού ιλύος με μεμβράνες, 4. Επεξεργασμένων αποβλήτων.

Η αυτοματοποιημένη λειτουργία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (Programmable Logic Controller, PLC). Το PLC ελέγχει και ρυθμίζει: 1. Τη λειτουργία των περισταλτικών αντλιών τροφοδοσίας αποβλήτων και ανακυκλοφορίας ενεργού ιλύος, 2. Τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου μεταβάλλοντας την τροφοδοσία αέρα στη δεξαμενή βιολογικής επεξεργασίας, 3. Την πτώση πίεσης (Transmembrane Pressure, TMP) κατά τη λειτουργία των μεμβρανών, ενεργοποιώντας την αντίστροφη πλύση όταν αυτή υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, 4. Τις στάθμες των δεξαμενών, ώστε να αποφεύγεται η ξηρή λειτουργία των αντλιών και η υπερχειλίση, καθώς επίσης και να διασφαλίζεται η επάρκεια επεξεργασμένων αποβλήτων για τον καθαρισμό των μεμβρανών.

Τα κροκιδωτικά υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν είναι «κροκιδωτικά υλικά 3^{ης} γενιάς» που έχουν ως βάση άλατα του αργιλίου και διάφορα οργανικά και ανόργανα πρόσθετα. Η βελτιστοποίηση της σύστασής τους θα γίνει με βάση το βαθμό βελτίωσης της απόδοσης της διεργασίας. Η βελτιστοποίηση των επιφανειακών ιδιοτήτων των μεμβρανών θα περιλαμβάνει τη χρήση κατάλληλου βοηθητικού υποστρώματος (αδρανές υλικό) το οποίο θα χρησιμοποιείται για την προεπίστρωσή των μεμβρανών ή/και θα προστίθεται κατά την διάρκεια της διήθησης με σκοπό την αύξηση του πάχους του υποστρώματος και κατ' επέκταση την ανανέωση της επιφάνειας της μεμβράνης.

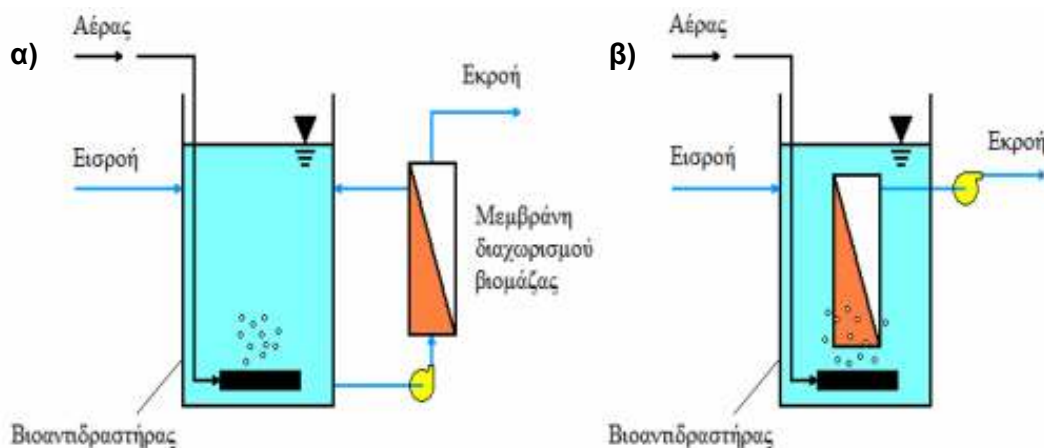
Λέξεις Κλειδιά: βιοαντιδραστήρας μεμβρανών, κροκίδωση, έμφραξη (fouling) μεμβρανών.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών (membrane bioreactors, MBRs) προκύπτουν από τη συνδυασμένη χρήση βιολογικών αντιδραστήρων και διεργασιών διαχωρισμού με μεμβράνες. Η εν λόγω σύζευξη οδήγησε στην ανάπτυξη τριών βασικών τύπων βιοαντιδραστήρων μεμβρανών: για το διαχωρισμό και τη συγκράτηση στερεών (biomass separation MBRs), για τη μεταφορά-τροφοδοσία υψηλής καθαρότητας οξυγόνου χωρίς σχηματισμό φυσαλίδων

(membrane aeration bioreactors, MABRs) και για την απομάκρυνση από βιομηχανικά απόβλητα εξαιρετικά ανθεκτικών οργανικών ρύπων που είναι αδύνατο να απομακρυνθούν με κάποια από τις συμβατικές μεθόδους βιολογικής επεξεργασίας (extractive MBRs) [3]. Οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο για την επεξεργασία αστικών όσο και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων [1], [5], [6], ενώ βρίσκουν εφαρμογή και στην επαναχρησιμοποίηση του νερού [2].

Ο MBR διαχωρισμού βιομάζας (biomass separation MBR), που αποτελεί και τον πλέον κοινό τύπο MBR, προκύπτει από την ενσωμάτωση ενός αντιδραστήρα αιωρούμενης βιομάζας και μιας μονάδας διήθησης (μέσω μεμβρανών) σε μια ενιαία διεργασία. Η τοποθέτηση της μονάδας μεμβρανών μπορεί να γίνει είτε εξωτερικά του αντιδραστήρα, οπότε ο βιοαντιδραστήρας μεμβρανών χαρακτηρίζεται ως εξωτερικός ή παράπλευρης ροής (external/side-stream MBR), είτε απ' ευθείας στο εσωτερικό του αντιδραστήρα, οπότε προκύπτει ο λεγόμενος MBR βυθιζόμενων ή εμβαπτισμένων μεμβρανών (immersed/submerged MBR) (Σχ. 1). Ο MBR διαχωρισμού βιομάζας δεν πρέπει να συγχέεται με τη χρησιμοποίηση μεμβρανών για τριτοβάθμια επεξεργασία εκροών έπειτα από βιολογική επεξεργασία και διήθηση.



Σχήμα 1. (α) MBR παράπλευρης ροής (Side-stream MBR), **(β)** MBR εμβαπτισμένων μεμβρανών (Submerged MBR) [4].

Οι μεμβράνες μπορεί να είναι διαφορετικών διατάξεων (επίπεδες, κοίλων ινών, αυλοειδείς κ.τ.λ.) και είναι τοποθετημένες σε συστήματα τα οποία μπορούν να χαμηλώσουν μέσα στο βιοαντιδραστήρα ενώ περιέχουν δομή για την υποστήριξη των μεμβρανών, την είσοδο τροφοδοσίας, τις συνδέσεις εξόδου καθώς και μια συνολική δομή υποστήριξης. Οι μεμβράνες υπόκεινται σε κενό (λιγότερο από 50 kPa) που τραβάει το νερό διαμέσου των μεμβρανών ενώ κατακρατεί τα στερεά στον αντιδραστήρα. Για τη διατήρηση των ολικών αιωρούμενων στερεών (*Total Suspended Solids, TSS*) εντός του βιοαντιδραστήρα και για να καθαριστεί το εσωτερικό των μεμβρανών εισάγεται συμπιεσμένος αέρας από τη βάση του συστήματος των μεμβρανών. Καθώς οι φυσαλίδες ανέρχονται λαμβάνει χώρα το τρίψιμο της επιφάνειας των μεμβρανών, ενώ παρέχεται και οξυγόνο για τη διατήρηση των αερόβιων συνθηκών [4].

2. ΕΜΦΡΑΞΗ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Ο όρος έμφραξη (fouling) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διεργασία εκείνη που οδηγεί σε βαθμιαία απώλεια της απόδοσης μιας μεμβράνης λόγω της εναπόθεσης/επικάλυψης αιωρούμενων σωματιδίων ή διαλυμένων συστατικών στην εξωτερική της επιφάνεια, στα ανοίγματα ή στο εσωτερικό των πόρων της (IUPAC, 1996). Η έμφραξη των μεμβρανών αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό όλων των συστημάτων MBR, επηρεάζει δε καθοριστικά τόσο την απόδοση, όσο και την οικονομία τους. Η πλήρης

αποφυγή της έμφραξης είναι ανέφικτη, καθώς εκδηλώνεται ακόμη και σε καλά ορισμένες υποκρίσιμες συνθήκες λειτουργίας των MBR, δηλαδή σε συνθήκες κατά τις οποίες η έμφραξη αναμένεται να είναι, θεωρητικά τουλάχιστον, μηδενική.

2.1. Μέτρα ελέγχου της έμφραξης μεμβρανών

Η χαλάρωση και η αντίστροφη πλύση αποτελούν τις συχνότερα εφαρμοζόμενες τεχνικές φυσικού καθαρισμού των μεμβρανών. Η χαλάρωση των μεμβρανών (membrane relaxation) βασίζεται στην περιοδική παύση της διήθησης για σύντομο χρονικό διάστημα, της τάξης λίγων δευτερολέπτων, π.χ. παύση της διήθησης για 10-20 s, κάθε 5-10 min. Η αντίστροφη πλύση των μεμβρανών (membrane backwashing), από την άλλη μεριά, βασίζεται στην περιοδική αντιστροφή της ροής του διηθήματος μέσω των μεμβρανών. Σε αρκετές περιπτώσεις ο φυσικός καθαρισμός των μεμβρανών πραγματοποιείται με συνδυασμένη εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών (μικτός καθαρισμός).

Σε MBR εμβαπτισμένων μεμβρανών η τοποθέτηση κατάλληλων διαχυτήρων αέρα στη βάση των μεμβρανών εξασφαλίζει τις απαραίτητες υδροδυναμικές συνθήκες λειτουργίας, καθώς η ανοδική κίνηση του διασπαστικού ρευστού (ενεργός λάσπη και αέρας) συμβάλλει στη διαρκή απόξεση (scouring) και αποκόλληση των στερεών αποθέσεων από την εξωτερική επιφάνεια των μεμβρανών. Ο ρυθμός παροχής του αέρα εμφανίζει συνήθως μια βέλτιστη τιμή πέραν της οποίας οποιαδήποτε αύξηση της έντασης αερισμού έχει πολύ μικρή ή μηδενική επίδραση στον περιορισμό της έμφραξης. Επομένως η βελτιστοποίηση των συνθηκών αερισμού είναι μείζονος σημασίας τόσο για τη μεγιστοποίηση της αναστολής του φαινομένου της έμφραξης, όσο και για τον περιορισμό του κόστους κατανάλωσης ενέργειας.

Τέλος, ο χημικός καθαρισμός αναφέρεται στην εφαρμογή διάφορων μεθόδων πλύσης μεμβρανών με τη χρήση χημικών διαλυμάτων. Συνήθως χρησιμοποιούνται διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου (NaClO) και κιτρικού οξέος ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) λόγω της συμβατότητάς τους με τα περισσότερα υλικά κατασκευής μεμβρανών και του χαμηλού κόστους. Το NaClO χρησιμοποιείται για την καταπολέμηση της βιοέμφραξης (biofouling), για την απομάκρυνση δηλαδή ισχυρά προσροφημένων υλικών βιολογικής προέλευσης από την εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια των μεμβρανών, ενώ η χρησιμοποίηση του $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ αποσκοπεί στην απομάκρυνση ανόργανων ρύπων (π.χ. CaCO_3) που δημιουργούν επικαθήσεις στο εσωτερικό των πόρων (scaling). Σε MBR εμβαπτισμένων μεμβρανών η διαδικασία χημικού καθαρισμού περιλαμβάνει απομάκρυνση του module του βιοαντιδραστήρα, ξέπλυμα με καθαρό νερό, εμβάπτιση σε δεξαμενή με το διάλυμα πλύσης για αρκετές ώρες και, τέλος, εκ νέου ξέπλυμα με καθαρό νερό για απομάκρυνση της περίσσειας χλωρίου. Εναλλακτικά, γίνεται διοχέτευση του διαλύματος πλύσης με αντίστροφη ροή υπό βαρύτητα μέσω των μεμβρανών χωρίς απομάκρυνση του module από το βιοαντιδραστήρα [7].

3. ΣΚΟΠΟΣ - ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η παρούσα εργασία εντάσσεται στα πλαίσια ενός ερευνητικού έργου που έχει ως στόχο την εύρεση των ιδανικών λειτουργικών συνθηκών και αποτελεσματικότερων σύνθετων κροκιδωτικών και τροποποιημένων μεμβρανών για την αντιμετώπιση της έμφραξης (fouling) σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών και χωρίζεται σε έξι ενότητες εργασίας:

Η πρώτη ενότητα εργασίας περιλαμβάνει την προετοιμασία της πειραματικής διάταξης MBR και τον καθορισμό ενός πρωτοκόλλου που θα αφορά τις ιδιότητες του μικτού υγρού (MLSS, MLVSS, SVI, DO κ.τ.λ.), καθώς και των φυσικοχημικών παραμέτρων του ανεπεξέργαστου και επεξεργασμένου υγρού αποβλήτου (BOD, COD, TSS, θρεπτικά συστατικά, UV απορρόφηση στα 254 nm, θολότητα, χρώμα, pH, αγωγιμότητα κ.τ.λ.) που θα προσδιοριστούν.

Η δεύτερη ενότητα εργασίας περιλαμβάνει τη μελέτη του φαινομένου της έμφραξης των μεμβρανών στο σύστημα MBR μετά την προσθήκη σε αυτό τόσο συνθετικού, όσο και πραγματικού αστικού/βιομηχανικού αποβλήτου. Οι παράμετροι που θα μελετηθούν εκτενώς με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του συστήματος είναι: (α) ο αριθμός, η διάρκεια και η σύνθεση των διαφορετικών σταδίων που θα συνιστούν ένα λειτουργικό κύκλο, (β) η

συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών του μικτού υγρού (MLSS) και (γ) η ένταση και διάρκεια του αερισμού. Το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών στο σύστημα θα μελετηθεί με τη συνεχή καταγραφή της TMP σε όλη τη διάρκεια της διήθησης. Παράλληλα, θα αναπτυχθεί ένα πρωτόκολλο για τον αποτελεσματικό καθαρισμό των μεμβρανών λαμβάνοντας υπ' όψη παράγοντες όπως είναι οι φυσικές, χημικές και φυσικοχημικές μέθοδοι καθαρισμού των μεμβρανών καθώς και τα χαρακτηριστικά των μεμβρανών.

Η **τρίτη ενότητα εργασίας** περιλαμβάνει την προετοιμασία των σύνθετων κροκιδωτικών και τροποποιημένων μεμβρανών. Η βασική δομή των σύνθετων κροκιδωτικών θα είναι ένα προ-πολυμερισμένο κροκιδωτικό αργιλίου (Polyaluminium Chloride, PACl) και η τροποποίηση του με πολυπυριτικά ή/και σίδηρο στα τελευταία, ενώ θα εξετασθεί και το ενδεχόμενο προσθήκης πολυηλεκτρολύτη (μη-ιονικού, ανιονικού, κατιονικού) στα νέα κροκιδωτικά για την ενίσχυση της κροκιδώσης. Η τροποποίηση της επιφάνειας των μεμβρανών θα γίνει με την επίστρωση (αδρανούς) υλικού το οποίο θα έχει βελτιωμένες υδροφοβικές ιδιότητες.

Η **τέταρτη ενότητα εργασίας** περιλαμβάνει τη μελέτη του φαινομένου της έμφραξης μετά την προσθήκη των σύνθετων κροκιδωτικών και την εισαγωγή των τροποποιημένων μεμβρανών στο σύστημα του βιοαντιδραστήρα. Αρχικά, εξετάζεται η ικανότητα περιορισμού της έμφραξης χρησιμοποιώντας διαφορετικές διατάξεις και είδη μεμβρανών (επίπεδες, κοίλων ινών, πολυμερικές, κεραμικές κ.τ.λ.), ενώ προστίθενται και τα σύνθετα κροκιδωτικά που έχουν παρασκευαστεί στην προηγούμενη ενότητα εργασίας σε διάφορες αναλογίες. Έχοντας επιλέξει το είδος της μεμβράνης και του κροκιδωτικού που περιορίζουν περισσότερο το φαινόμενο της έμφραξης, εξετάζεται η συνεργιστική τους δράση με σκοπό τη βελτίωση της διεργασίας όσον αφορά την έμφραξη των μεμβρανών. Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας της διεργασίας θα γίνει με μέτρηση της διαμεμβρανικής πίεσης, της παροχής διηθήματος, της συχνότητας καθαρισμού και του ποσοστού ανάκτησης των μεμβρανών μετά από τον καθαρισμό τους.

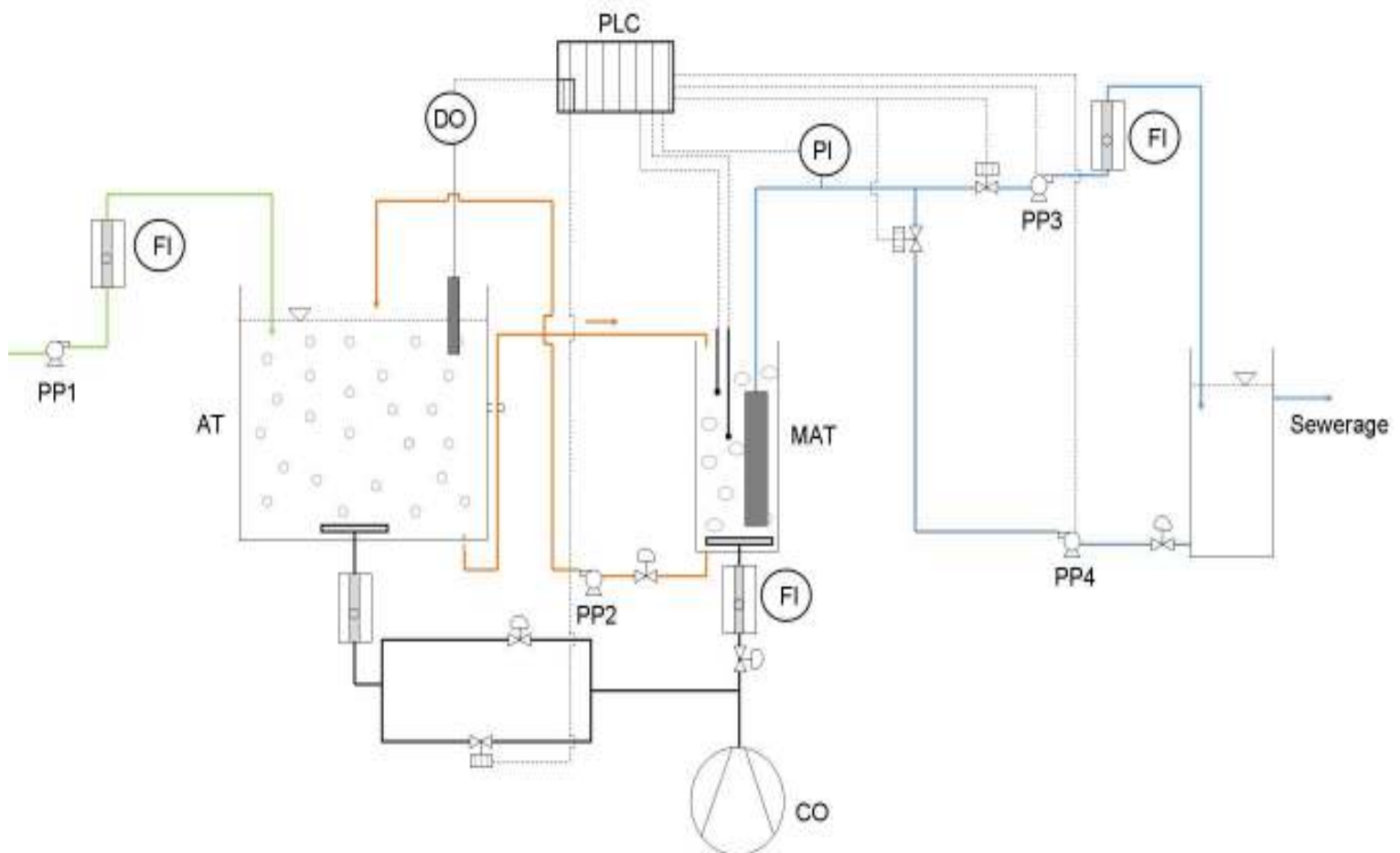
Στην **πέμπτη ενότητα εργασίας** η βέλτιστη τεχνική για την αντιμετώπιση της έμφραξης των μεμβρανών που έχει προσδιοριστεί σε εργαστηριακό επίπεδο εφαρμόζεται σε βιοαντιδραστήρα μεμβρανών πλήρους κλίμακας, ενώ στην **έκτη ενότητα εργασίας** λαμβάνει χώρα η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων με απώτερο και τελικό σκοπό τον καθορισμό των ιδανικότερων λειτουργικών συνθηκών και αποτελεσματικότερων σύνθετων κροκιδωτικών και τροποποιημένων μεμβρανών που περιορίζουν στον ελάχιστο δυνατό βαθμό το φαινόμενο της έμφραξης των μεμβρανών.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η πειραματική διάταξη, το σκαρίφημα της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 2, θα αποτελείται από μια ακολουθία τεσσάρων δεξαμενών: αποβλήτου, αερισμού, συστήματος μεμβρανών και διηθήματος. Από τη δεξαμενή αποβλήτου και με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας θα παρέχονται οι απαραίτητες κάθε φορά ποσότητες αποβλήτου στη δεξαμενή αερισμού, στην οποία θα ελέγχεται και θα ρυθμίζεται η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου με οξυγονόμετρο. Η εκροή της δεξαμενής αερισμού θα περνά από το σύστημα μεμβρανών, ενώ η ενεργός λάσπη θα επιστρέφει στη δεξαμενή αερισμού με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας. Η παροχή του αέρα, τόσο για τη δεξαμενή αερισμού όσο και για τον καθαρισμό των μεμβρανών, θα εξασφαλίζεται από αεροσυμπιεστή η πίεση του οποίου θα μειώνεται κατάλληλα με τη βοήθεια μειωτή πίεσης αέρα. Η εισαγωγή των κροκιδωτικών στη μονάδα θα γίνει με τη βοήθεια κατάλληλης δοσομετρικής αντλίας. Η μέτρηση των παροχών νερού/αέρα της μονάδας θα γίνεται με τη βοήθεια ροομέτρων νερού/αέρα, ενώ για τον έλεγχο της στάθμης στη δεξαμενή των μεμβρανών θα χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι αισθητήρες στάθμης. Από το άνω άκρο του συστήματος μεμβρανών θα λαμβάνεται το διήθημα με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας, ενώ στην έξοδο της μεμβράνης θα βρίσκεται τοποθετημένο μανόμετρο κενού μεγάλης διακριτικής ικανότητας η ένδειξη του οποίου θα καταδεικνύει την πτώση της διαμεμβρανικής πίεσης και κατά συνέπεια το βαθμό έμφραξης των μεμβρανών κατά τη διαδικασία της διήθησης. Η δεξαμενή διηθήματος θα είναι ο τελικός αποδέκτης του

παραγόμενου διηθήματος, ένα μέρος του οποίου θα επιστρέφει με τη βοήθεια περισταλτικής αντλίας στο σύστημα μεμβρανών.

Προκειμένου να υπάρχει αυτοματοποίηση της μονάδας η λειτουργία των περισταλτικών αντλιών, του οργάνου μέτρησης διαλυμένου οξυγόνου, των αισθητήρων στάθμης και του μανόμετρου κενού θα ελέγχεται από προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (*Programmable Logic Controller, PLC*). Ο προγραμματισμός θα επιτρέπει τη λειτουργία της μονάδας είτε με σταθερή υποπίεση και μεταβαλλόμενη παροχή, είτε με σταθερή παροχή και μεταβαλλόμενη υποπίεση. Επίσης, θα επιτρέπει την αυτόματη αντίστροφη πλύση των μεμβρανών μέσω πνευματικών βαλβίδων - με αναγνώριση θέσης, είτε χρονικά, είτε με βάση την πτώση πίεσης στην μεμβράνη.



AT: Aeration Tank

MAT: Membrane Aeration Tank

PLC: Programmable Logic Controller

CO: Compressor

DO: Dissolved Oxygen

PI: Pressure Indicator

PP: Peristaltic Pump

FI: Flowmeter

— Feed

— Sludge Recirculation

— Permeate/Backwash

— Air

— Electronic Circuit

Σχήμα 2. Σκαρίφημα πειραματικής διάταξης MBR.

5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ

Η προστασία και ο περιορισμός της ρύπανσης των υδάτινων πόρων αποτελεί έναν από τους βασικούς τομείς της περιβαλλοντικής πολιτικής σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Το πρόβλημα της απόρριψης των επεξεργασμένων λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες οδήγησε τα τελευταία χρόνια στη δημοσίευση μεγάλου αριθμού οδηγιών/κανόνων για την αποτελεσματική διαχείριση/απόρριψη των επεξεργασμένων λυμάτων. Ο στόχος αυτός καθίσταται ακόμη πιο σημαντικός αν αναλογιστεί κανείς την ανάγκη για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του νερού (π.χ. για άρδευση γεωργικών εκτάσεων) λόγω της λειψυδρίας που υπάρχει σε αρκετές χώρες, συμπεριλαμβανομένων ακόμη και Μεσογειακών. Επιπλέον, η αποκεντρωμένη επεξεργασία λυμάτων αποτελεί μείζον θέμα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ορεινών περιοχών με μεγάλο αριθμό μικρών και απομονωμένων οικισμών, όπου η πρακτική της συλλογής και μεταφοράς των λυμάτων σε μια κεντρική εγκατάσταση είναι κοστοβόρα, ενώ δε συμβαδίζει και με τις αρχές της τοπικής αιφόρου ανάπτυξης.

Η τεχνολογία MBR αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων προσφέροντας πολλά οφέλη όπως μικρή απαίτηση χώρου, υψηλή ποιότητα εκροής κ.τ.λ. Ωστόσο, το σημαντικότερο πρόβλημα που αφορά τη λειτουργία τέτοιων συστημάτων είναι η έμφραξη των μεμβρανών που οδηγεί στη μείωση της διαπερατότητας και της απόδοσής τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους επεξεργασίας εξαιτίας της αύξησης της δαπανώμενης ενέργειας και της απαίτησης καθαρισμού και της αντικατάστασης των μεμβρανών. Λόγω του μεγάλου πλήθους περιπτώσεων στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί μελλοντικά η τεχνολογία MBR, γίνεται σαφές ότι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τον περιορισμό του σημαντικότερου προβλήματος της λειτουργίας της (fouling) αποκτά ιδιαίτερο νόημα. Με την υλοποίηση του παρόντος έργου αναμένεται η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για τον έλεγχο της έμφραξης των μεμβρανών στα συστήματα MBR που θα έχει ως αποτέλεσμα την ακόμη πιο αποτελεσματική, ολοκληρωμένη και βιώσιμη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Λαμβάνοντας υπ' όψη μάλιστα ότι η εφαρμογή σύνθετων κροκιδωτικών για τον έλεγχο της έμφραξης μεμβρανών είναι ένα πεδίο που δεν έχει μελετηθεί ακόμη διεξοδικά, τα αποτελέσματα του έργου αναμένεται να προσελκύσουν διεθνές ενδιαφέρον.

Ευχαριστίες

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Νέες διεργασίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών» (Συνεργασία II) και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Brindle, K., Stephenson, T., 1996, The Application of Membrane Biological Reactors for the Treatment of Wastewaters, *Biotechnology and Bioengineering*, 49: 601.
2. Cicek, N., Franco, J., P., Suidan, M., T., Urbain, V., 1998, Using a Membrane Bioreactor to Reclaim Wastewater, *Journal of American Water Works Association*, 76: 356.
3. Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B., Brindle, K., 2000, *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*, London, IWA Publishing.
4. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel H. D., 2003, *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Metcalf & Eddy, Inc., 4th edition.
5. Trussell R., S., Adham, S., Gagliardo, P., Merlo, R., Trussell, R., R., 2000, WERF: Application of MBR Technology for Wastewater Treatment, *Proceedings of the 73rd Annual Water Environment Federation Conference*, Anaheim, CA, Oct. 14-18, 2000.
6. Van Dijk, L., Roncken, G., C., G., 1997, Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment: The State of the Art and New Developments, *Water Science and Technology*, 35: 53.
7. Τσιλογεώργης, Ι., 2008, *Κλασματοποίηση Διαλυτής Οργανικής Ύλης στα Διασταλάγματα ΧΥΤΑ - Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Χημείας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.