

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΞΩΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Μπαντή Δ.^{1,2}, Μανωλά Β.¹, Σοφίδου Μ.¹, Τσιόπτσιας Κ.¹, Σαμαράς Π.¹

¹ Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, ΤΘ 141, 57400 Θεσσαλονίκη, E-mail: mpanti@food.teithe.gr

² Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, GR-54124, Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα εξωκυτταρικά πολυμερή (EPS) αποτελούν τα κύρια συστατικά του ανάμικτου υγρού σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος και συνεπώς ο ρόλος τους στα συστήματα αυτά είναι ζωτικός. Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι η παρακολούθηση της μεταβολής της συγκέντρωσης και της σύστασης των EPS σε 3 συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας κατά τη συνεπεξεργασία αστικών αποβλήτων και αποβλήτων μελάσσας για διάφορα είδη προεπεξεργασίας των αποβλήτων. Παρατηρείται ότι με την προσθήκη μελάσσας στο αστικό απόβλητο αυξάνονται τα sEPS από τα 36 στα 257mg/g VSS. Κατά την τροφοδοσία προ-οζονισμένου μίγματος παρατηρείται μείωση των sEPS στα 52-81mg/g VSS ενώ κατά τη συνδυασμένη προεπεξεργασία με όζον και H₂O₂ παρατηρείται μείωση των sEPS στα 22-43mg/g VSS.

STUDY OF THE EXTRACELLULAR POLYMERIC SUBSTANCES (EPS) IN ACTIVATED SLUDGE MIXED LIQUOR DURING COTREATMENT OF MUNICIPAL AND INDUSTRIAL WASTEWATER

Banti D.^{1,2}, Manola V.¹, Sofidou M.¹, Tsiptsias K.¹, Samaras P.¹

¹ Department of Food Technology, Alexander Technological Education Institute of Thessaloniki, P.O. 141, 57400 Thessaloniki, Greece, E-mail: mpanti@food.teithe.gr

² Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, GR-54124 Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

EPS constitute the major components of the activated sludge matrix, and their role in flocculation and sludge settleability characteristics is crucial. The main objective of this work is the monitoring of the concentration and distribution of EPS in the mixed liquor of 3 lab-scale activated sludge systems during co-treatment of municipal wastewater and a high strength industrial wastewater, molasses wastewater, for various types of wastewater pretreatment. The addition of molasses in the municipal wastewater increased sEPS. In the case of feeding pre-ozonated mixture, sEPS reduced at 52-81mg/g VSS while at the combined pretreatment with ozone and H₂O₂, sEPS reduced at 22-43mg/g VSS.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Χαρακτηριστικά των EPS

Σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται και ζουν σε συγκεντρωτικές δομές, γνωστές ως βιοφίλμ. Το κοινό χαρακτηριστικό αυτών των δομών είναι ότι οι μικροοργανισμοί είναι ενσωματωμένοι σε ένα πλέγμα εξωκυτταρικών πολυμερών (EPS). Στο φυσικό περιβάλλον η παραγωγή των EPS είναι μια τυπική διαδικασία των μικροοργανισμών. Δομές βιοφίλμ μπορούν να εντοπιστούν παντού, όπως στο φυσικό έδαφος και σε υδρόβια περιβάλλοντα αλλά και σε τεχνικά συστήματα, όπως φίλτρα και άλλα πορώδη υλικά [1].

Τα βιοφίλμ αποτελούνται από μικροοργανισμούς, EPS, πολυσθενή κατιόντα, βιογενή και ανόργανα σωματίδια, καθώς επίσης κολλοειδή και διαλυτές ενώσεις [2]. Από όλα αυτά τα συστατικά, τα EPS είναι κυρίως υπεύθυνα για τη δομική και λειτουργική ενότητα των βιοφίλμ και για τις φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητές τους. Πιο συγκεκριμένα, τα EPS αποτελούν ένα τρισδιάστατο πλέγμα βιοφίλμ, με μόρφη γέλης, ιδιαίτερα ενυδατωμένο και συχνά φορτισμένο, στο οποίο οι μικροοργανισμοί ενσωματώνονται και ακινητοποιούνται [2]. Το ποσοστό των EPS στα βιοφίλμ κυμαίνεται στα 50 - 90% της συνολικής οργανικής ύλης [3]. Σύμφωνα με τους Nielsen και Jahn [4], τα EPS αποτελούνται από πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες, χουμικές ουσίες, DNA και RNA. Παρ' όλα αυτά, στο βιοφίλμ της ενεργού ιλύος, τα κύρια συστατικά τους είναι οι πρωτεΐνες και σε μικρότερο βαθμό οι πολυσακχαρίτες [3].

Τα EPS μπορούν να ταξινομηθούν στα διαλυτά EPS (soluble EPS - sEPS) και στα δεσμευμένα EPS (bound EPS - bEPS). Σύμφωνα με τους Laspidou and Rittmann [5], τα διαλυτά EPS αποτελούν το ίδιο συστατικό με τα διαλυτά μικροβιακά προϊόντα (Soluble Microbial Products - SMP). Τα SMP είναι διαλυτές οργανικές ενώσεις που απελευθερώνονται στο διάλυμα κατά την κυτταρική λύση (αποσύνθεση της βιομάζας), εκκρίνονται κατά τη διάρκεια του μεταβολισμού του υποστρώματος (ανάπτυξη βιομάζας), και χάνονται κατά τη διάρκεια της σύνθεσης (αποικοδόμηση των SMP) [6, 7]. Από την άλλη πλευρά, τα δεσμευμένα EPS αποτελούνται από μια δυναμική δομή διπλής στρώσης, η οποία υποδιαιρείται στα χαλαρά δεσμευμένα EPS (Loosely Bound EPS - LB-EPS) και στα συνεκτικά δεσμευμένα EPS (Tightly Bound EPS - TB-EPS) [8]. Η υποδιαίρεση αυτή εξαρτάται από τη δύναμη της οριοθέτησης μεταξύ των EPS και των κυττάρων.

1.2 Σημαντικότητα των EPS στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων

Η διεργασία της ενεργού ιλύος αποτελεί την πιο κοινή βιολογική διεργασία για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια της κροκίδωσης της ιλύος, τα μικροβιακά κύτταρα μετατρέπονται σε συσσωματώματα και επιτυγχάνεται, έτσι, ο αποτελεσματικός διαχωρισμός του νερού και της βιομάζας. Συνεπώς, ο ρόλος των EPS στην κροκίδωση και καθίζηση της ιλύος είναι ζωτικής σημασίας [9, 10]. Σύμφωνα με τους Li and Yagn [8], τα EPS είναι απαραίτητα για τον σχηματισμό κροκίδων ιλύος, αλλά η υπερβολικά μεγάλη ποσότητα EPS με τη μορφή των LB-EPS ενδέχεται να επιδεινώσει την προσκόλληση των κυττάρων και να αποδυναμώσει τη δομή των κροκίδων οδηγώντας στον ατελή διαχωρισμό ιλύος - νερού. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι πολλά από τα αποτελέσματα είναι αντικρουόμενα. Για παράδειγμα, οι Urbain et al. [11] απέδειξαν ότι η περιεκτικότητα σε EPS στο ανάμικτο υγρό ενεργού ιλύος επηρεάζει θετικά τη βιοκροκίδωση. Από την άλλη πλευρά, οι Liao et al. [12] απέδειξαν ότι την επηρεάζει αρνητικά. Τέλος, έχει επισημανθεί από κάποιους ερευνητές ότι δε διαδραματίζει τόσο σημαντικό ρόλο η ποσότητα των EPS όσο τα επιμέρους συστατικά και οι ιδιότητές τους [12].

Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι η παρακολούθηση της μεταβολής της συγκέντρωσης και της σύστασης των EPS ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας του αποβλήτου.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Βιολογική επεξεργασία αποβλήτων σε δεξαμενές εργαστηριακής κλίμακας

Η μελέτη της παραγωγής εξωκυτταρικών πολυμερών πραγματοποιήθηκε σε 3 συστήματα ενεργού ιλύος εργαστηριακής κλίμακας. Τα συστήματα αυτά λειτούργησαν ως αντιδραστήρες διαλείποντος έργου εναλλασσόμενης λειτουργίας (Sequencing Batch Reactors - SBR), εφαρμόζοντας ένα 12ωρο κύκλο επεξεργασίας με την ακόλουθη χρονική ακολουθία σταδίων: τροφοδοσία (1/2 ώρες), ανοξική φάση (2 ώρες), αερισμός (8 ώρες), καθίζηση (1 ώρα), εκροή (1/2 ώρες). Η παροχή στο σύστημα κατά τη φάση της τροφοδοσίας ήταν 2 L/hr και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής 2.5 days. Οι συνθήκες λειτουργίας των συστημάτων παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Το σύστημα 1 αποτελούσε το μάρτυρα και αρχικά τροφοδοτήθηκε με 100% αστικό λύμα ενώ στη συνέχεια (2.5 μήνες) εφαρμόστηκε τροφοδοσία με μίγμα 90% αστικού λύματος και 10% αποβλήτων μελάσσας.

Το σύστημα 2 τροφοδοτήθηκε με μίγμα 90% αστικού λύματος και 10% αποβλήτων μελάσσας ενώ μετά από περίπου 1,5 μήνα λειτουργίας εφαρμόστηκε ένα στάδιο προεπεξεργασίας με όζον σε ένα σύστημα αντιδραστήρα φυσαλίδων. Οι συνθήκες οζόνωσης ήταν όγκος δείγματος 1 L, χρόνος επαφής 20 min και παροχή όζοντος 2 g/h. Η διεργασία του οζονισμού προστέθηκε με στόχο τη διάσπαση των μεγάλων μορίων που περιέχονται στο απόβλητο μελάσσας και τη διευκόλυνση της αποδόμησής τους κατά την ακόλουθη βιολογική επεξεργασία τους [13].

Τέλος, το σύστημα 3 τροφοδοτήθηκε, ομοίως με το σύστημα 2, με μίγμα 90% αστικού λύματος και 10% αποβλήτου μελάσσας. Η εισροή είχε υποστεί προεπεξεργασία με όζον όπου όμως είχε προστεθεί υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) σε συγκέντρωση 50 έως 100 mM. Ο συνδυασμός της χρήσης οζόνωσης και H_2O_2 πραγματοποιήθηκε, όπως προαναφέρθηκε, έχοντας ως στόχο τη διάσπαση των μεγάλων μορίων του αποβλήτου μελάσσας και τη διευκόλυνση της αποδόμησής τους κατά την ακόλουθη βιολογική επεξεργασία τους [13].

Η συλλογή των δειγμάτων για τη μέτρηση των EPS πραγματοποιούνταν 1 ώρα πριν από το τέλος της αερόβιας φάσης από το ανάμικτο υγρό κάθε συστήματος. Στη συνέχεια ακολουθούσε η εκχύλιση των EPS και τα εκχυλισμένα κλάσματα αποθηκεύονταν σε χαμηλή θερμοκρασία, $-18^\circ C$, για τον προσδιορισμό των πρωτεϊνών και των πολυσακχαριτών.

2.2 Εκχύλιση των EPS

Για την εκχύλιση των EPS, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, χρησιμοποιείται μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων. Ωστόσο οι διάφορες μέθοδοι δίνουν διαφορετικές αποδόσεις εκχύλισης, με αποτέλεσμα να προκύπτουν ποικίλες συνθέσεις των EPS [14, 15, 16]. Η βέλτιστη μέθοδος εκχύλισης των EPS θα πρέπει να είναι αποτελεσματική, προκαλώντας ελάχιστη κυτταρική λύση και να μη διασπά τη δομή των EPS [17, 18].

Για την εκχύλιση των διαλυτών EPS, χρησιμοποιείται πάντα η φυγοκέντρωση [4]. Για την εκχύλιση των δεσμευμένων EPS, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται ταξινομούνται σε φυσικές, χημικές και σε συνδυασμό φυσικών και χημικών μεθόδων [4].

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε μία φυσική θερμική μέθοδος εκχύλισης δύο σταδίων για την εκχύλιση των LB-EPS και TB-EPS χωριστά [8, 19]. Λήφθηκε δείγμα ανάμικτου υγρού (35 mL) από το εσωτερικό της δεξαμενής, το οποίο αρχικά αφυδατώθηκε με φυγοκέντρωση (Thermo Scientific Sorvall Evolution RC Superspeed Centrifuge) στα 4000 g για 5 min. Το υπερκείμενο υγρό, θεωρήθηκε ότι περιέχει τα sEPS και απομακρύνθηκε. Το ίζημα της ιλύος επαναιωρήθηκε με διάλυμα 0.05% NaCl θερμασμένο στους $50^\circ C$ μέχρι τον αρχικό του όγκο (35 mL) και αμέσως αναμίχθηκε σε συσκευή vortex mixer (FALC) για 1 min. Το αιώρημα της ιλύος φυγοκεντρίθηκε στα 4000g για 10 min. Απομακρύνθηκε το υπερκείμενο υγρό, η οργανική ύλη του οποίου θεωρήθηκε ότι περιέχει τα LB-EPS. Έπειτα, το ίζημα της ιλύος επαναιωρήθηκε ξανά με διάλυμα 0.05% NaCl μέχρι τον αρχικό του όγκο (35

mL). Το αιώρημα θερμάνθηκε σε λουτρό νερού στους 60°C για 30 min και στη συνέχεια φυγοκεντρίθηκε στα 4000 g για 15 min. Το υπερκείμενο υγρό απομακρύνθηκε, η οργανική ύλη του οποίου θεωρήθηκε ότι περιέχει τα TB-EPS.

2.3 Μέτρηση πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών

Για την ποσοτικοποίηση των συστατικών των EPS, χρησιμοποιούνται συμβατικές χημικές χρωματομετρικές αναλύσεις [20]. Στο εν λόγω πείραμα για τη μέτρηση των πρωτεϊνών χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη μέθοδος Lowry [17, 21]. Οι πρωτεΐνες προεπεξεργάστηκαν με ιόντα χαλκού σε αλκαλικό διάλυμα και στη συνέχεια το διάλυμα αυτό επεξεργάστηκε με αντιδραστήριο Folin. Ως πρότυπο χρησιμοποιήθηκε η αλβουμίνη βόειου ορού (Bovine Serum Albumin - BSA). Για τη μέτρηση των πολυσακχαριτών με τη μορφή υδατανθράκων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος φαινόλης-θειικού οξέος [21, 22], με χρήση διαλύματος φαινόλης 5% w/v και πυκνού H_2SO_4 . Ως πρότυπο χρησιμοποιήθηκε η γλυκόζη.

Οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες προσδιορίστηκαν για το καθένα από τα εκχυλισμένα κλάσματα sEPS, LB-EPS και TB-EPS χωριστά. Στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων αθροίστηκαν οι τιμές των LB-EPS και TB-EPS, το άθροισμα των οποίων θεωρήθηκε ότι αποτελεί τη συνολική ποσότητα των δεσμευμένων EPS (bound EPS).

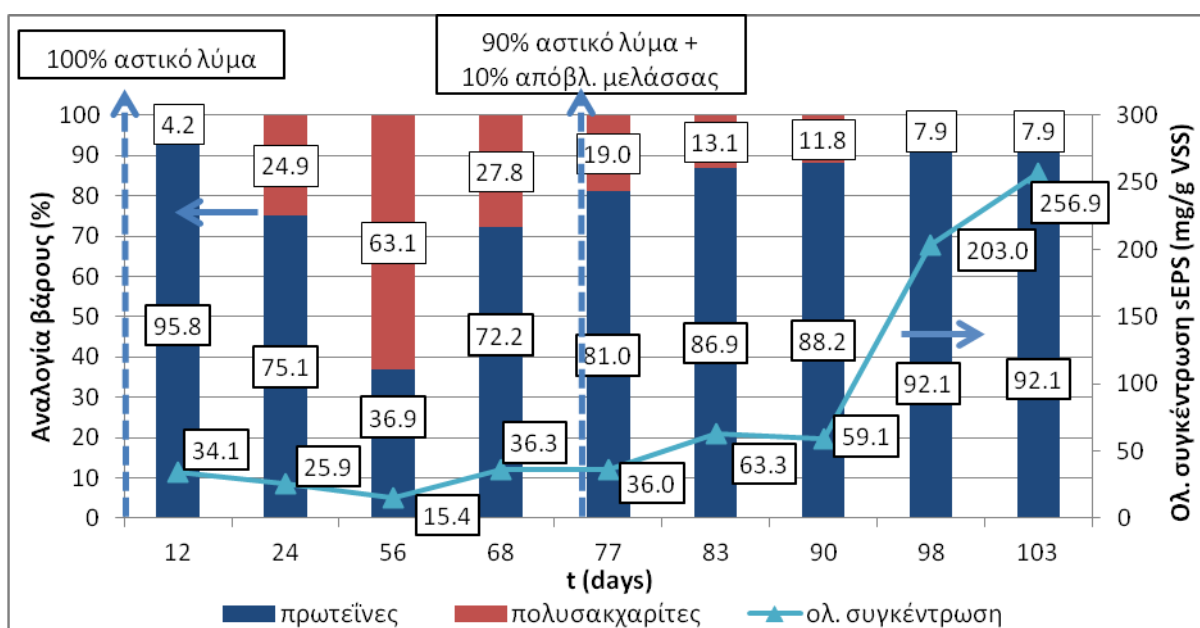
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή των διαλυτών EPS ως προς τον χρόνο για το σύστημα 1 (μάρτυρας). Στο σχήμα αυτό παρατηρείται ότι κατά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων και του μίγματος των αποβλήτων, οι πρωτεΐνες είναι πολύ περισσότερες από τους πολυσακχαρίτες, όπως ήταν αναμενόμενο [3, 5, 23]. Επιπλέον, κατά το διάστημα μετά την εισαγωγή του μίγματος αποβλήτων παρατηρείται αύξηση των ολικών sEPS από τα 36mg/g VSS στα 257mg/g VSS. Παράλληλα αυξάνεται σταθερά το ποσοστό των πρωτεϊνών το οποίο για το αστικό λύμα κυμαίνονταν στα 37-96% ενώ μετά την προσθήκη της μελάσσας κυμαίνεται στα 81-92% της συνολικής συγκέντρωσης των sEPS. Η μεγάλη διακύμανση του ποσοστού των πρωτεϊνών στο 100% αστικό λύμα μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα συστήματα τροφοδοτούνταν ανά 2 εβδομάδες με νέο αστικό λύμα το οποίο είναι πιθανό να διέθετε λίγο διαφορετική σύσταση από το προηγούμενο.

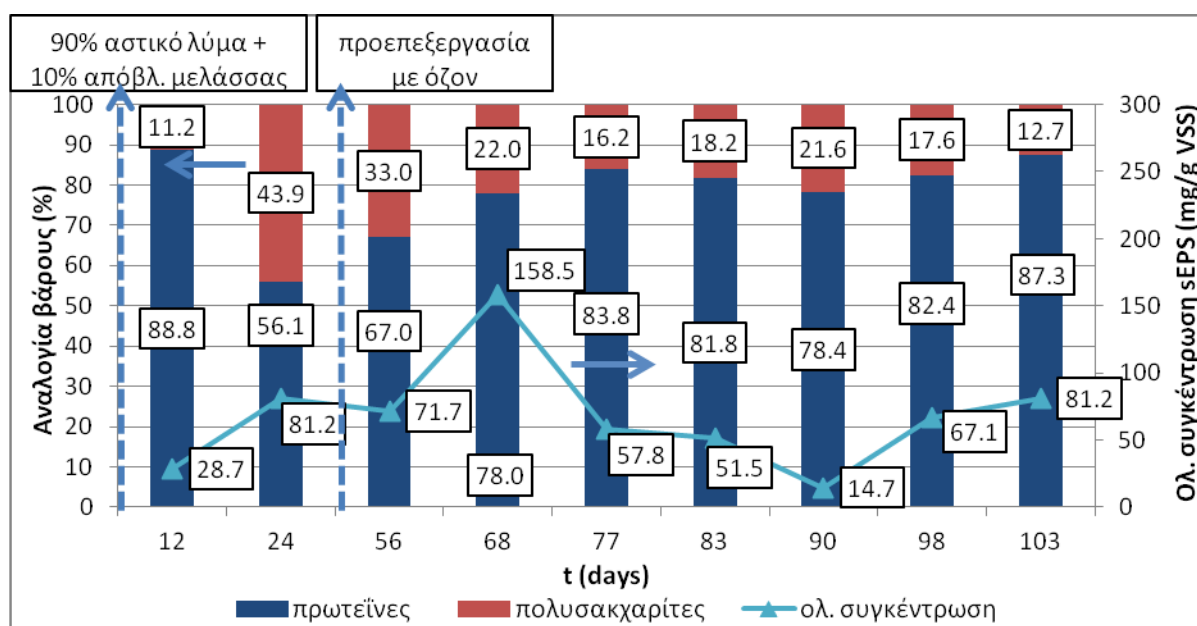
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή των sEPS ως προς τον χρόνο για το σύστημα 2. Στο σύστημα αυτό αρχικά τροφοδοτήθηκε μίγμα αποβλήτων ενώ μετά από περίπου 1.5 μήνα λειτουργίας εφαρμόστηκε η προεπεξεργασία του μίγματος με όζον. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται ότι, κατά την τροφοδοσία προ-οξονισμένου μίγματος λαμβάνει χώρα μείωση των ολικών sEPS τα οποία κυμαίνονται στα 52-81mg/g VSS με εξαίρεση δύο ακραίες τιμές που αγγίζουν τα 15 και 159 mg/g VSS. Ενώ σύμφωνα με το Σχήμα 1 χωρίς το στάδιο του οξονισμού τα sEPS κυμαίνονται στα 36-257mg/g VSS, δηλαδή αρκετά μεγαλύτερες τιμές. Επιπλέον, στην περίπτωση της τροφοδοσίας του προεπεξεργασμένου μίγματος μειώνεται η αναλογία βάρους των πρωτεϊνών στα 67-87% (Σχήμα 2) σε σύγκριση με τη μη προεπεξεργασμένη εισροή που κυμαίνεται στα 81-92% της ολικής ποσότητας των sEPS (Σχήμα 1). Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι πιθανώς το H_2O_2 συμβάλει στη διάσπαση των πρωτεϊνών σε μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με τους πολυσακχαρίτες.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η μεταβολή των sEPS ως προς τον χρόνο λειτουργίας για το σύστημα 3. Όπως φαίνεται κατά τη συνδυασμένη επεξεργασία της εισροής με όζον και H_2O_2 παρατηρείται μείωση των sEPS που είναι αρκετά μεγαλύτερη (22-43mg/g VSS - Σχήμα 3) σε σύγκριση με τη εισροή που έχει υποστεί μόνο οξονισμό (52-81mg/g VSS - Σχήμα 2). Η μείωση αυτή πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι το όζον δρα μόνο κατά τη στιγμή του οξονισμού ενώ το H_2O_2 συνεχίζει τη δράση του στην οξειδωση των EPS και μετά το πέρας της επαφής με το όζον. Ακόμη συμπεραίνεται ότι η προσθήκη του H_2O_2 σταθεροποιεί σε υψηλές τιμές την αναλογία βάρους των πρωτεϊνών στα 79-84% (Σχήμα 3), σε σύγκριση με

τον απλό οξονισμό όπου παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση, 67-87% (Σχήμα 2).



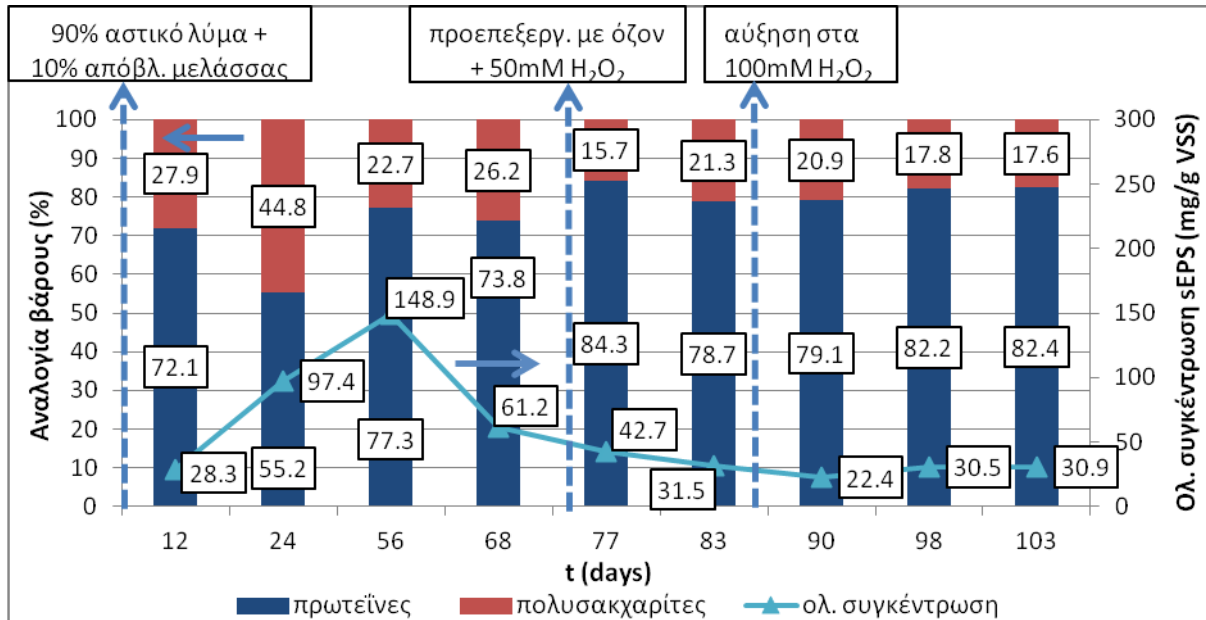
Σχήμα 1. Ολική συγκέντρωση διαλυτών EPS (δεξιά) στο σύστημα 1 (μάρτυρας) και αναλογία βάρους πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών (αριστερά) ως συνάρτηση του χρόνου λειτουργίας του αντιδραστήρα.



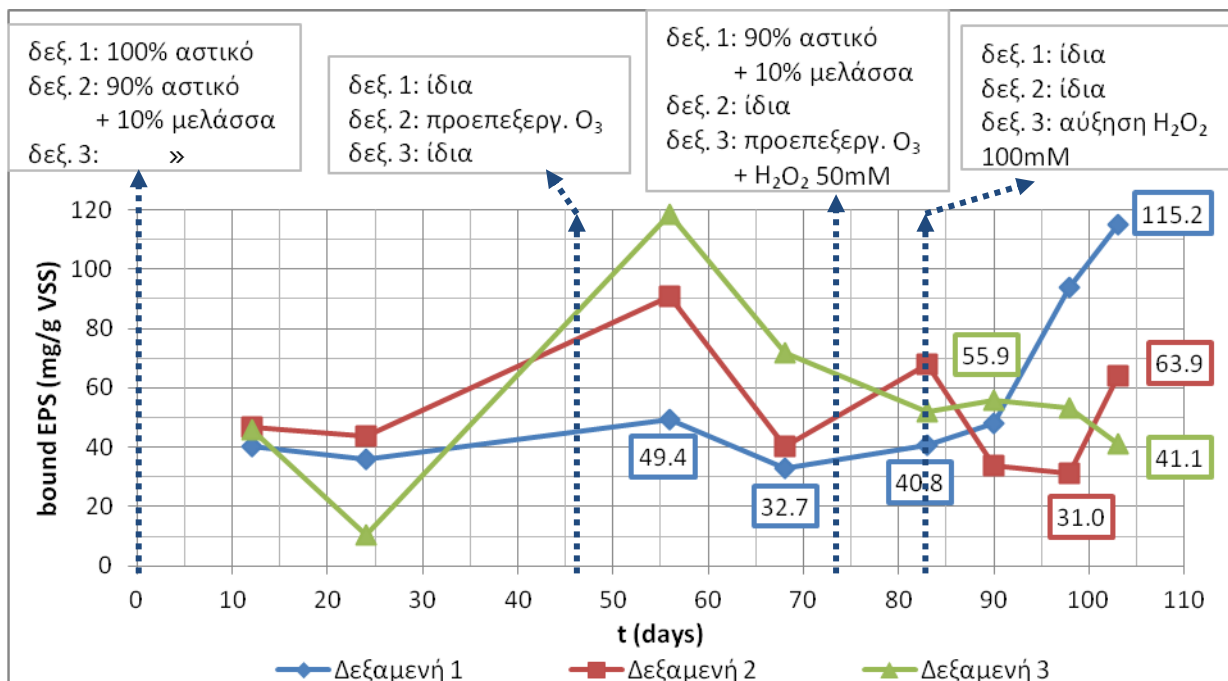
Σχήμα 2. Ολική συγκέντρωση διαλυτών EPS (δεξιά) στο σύστημα 2 και αναλογία βάρους πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών (αριστερά) ως συνάρτηση του χρόνου λειτουργίας του αντιδραστήρα.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των δεσμευμένων EPS (bEPS) ως προς το χρόνο λειτουργίας στα 3 συστήματα δεξαμενών. Στο σχήμα αυτό παρατηρείται ότι οι συγκεντρώσεις των bEPS είναι αρκετά μικρότερες, 0-120mg/g VSS, σε σύγκριση με τα sEPS που κυμαίνονται σε γενικές γραμμές στα 0-250mg/g VSS. Στο σύστημα 1 παρατηρείται αύξηση των bEPS με την προσθήκη του μίγματος των αποβλήτων (41-115mg/g VSS) σε σύγκριση με το 100% αστικό αποβλήτο (33-49mg/g VSS), όπως παρατηρείται και στα sEPS. Παράλληλα, εντοπίζεται ότι η εισαγωγή προ-οξονισμένης τροφοδοσίας στο σύστημα 2

προκαλεί μείωση στα bEPS αλλά σε παρατεταμένους χρόνους λειτουργίας μεγαλύτερους από 90 ημέρες (31-64mg/g VSS), σε σύγκριση με τα αποτελέσματα από το μάρτυρα (σύστημα 1), (41-115mg/g VSS). Τέλος, στο σύστημα 3 η τιμή των bEPS σταθεροποιείται σε χαμηλές τιμές έπειτα από τον συνδυασμό προεπεξεργασίας με όζον και με H_2O_2 στα 41-56mg/g VSS, σε σύγκριση με το σύστημα 2 όπου οι τιμές κυμαίνονται στα 31-64mg/g VSS.



Σχήμα 3. Ολική συγκέντρωση διαλυτών EPS (δεξιά) στο σύστημα 3 και αναλογία βάρους (αριστερά) πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών ως συνάρτηση του χρόνου λειτουργίας του αντιδραστήρα.



Σχήμα 4. Ολική συγκέντρωση των δεσμευμένων EPS (bound EPS) για τα 3 συστήματα (δεξαμενές) ως συνάρτηση του χρόνου λειτουργίας τους.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η μεταβολή των EPS κατά τη διεργασία της ενεργού ιλύος σε συστήματα εργαστηριακής κλίμακας για 100% αστικό απόβλητο και απόβλητο από την επεξεργασία μελάσσας. Παράλληλα εξετάστηκε η απόδοση της προεπεξεργασίας του αποβλήτου με οζόνωση και προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου. Για όλα τα απόβλητα παρατηρήθηκε ότι οι πρωτεΐνες ήταν πολύ περισσότερες από τους πολυσακχαρίτες. Για το σύστημα 1 μετά την εισαγωγή ποσότητας 10% μελάσσας στο αστικό απόβλητο παρατηρήθηκε αύξηση των ολικών sEPS από τα 36mg/g VSS στα 257mg/g VSS. Παράλληλα αυξήθηκε το ποσοστό των πρωτεϊνών στα 81-92% της συνολικής συγκέντρωσης των sEPS. Στο σύστημα 2 κατά την τροφοδοσία προ-οζονισμένου μίγματος παρατηρήθηκε μείωση των ολικών sEPS, τα οποία κυμάνθηκαν στα 52-81mg/g VSS σε σύγκριση με το μη προεπεξεργασμένο μίγμα. Επιπλέον μειώθηκε η αναλογία βάρους των πρωτεϊνών στα 67-87%, γεγονός που πιθανώς συνεπάγεται ότι το H₂O₂ συνέβαλλε στη διάσπαση των πρωτεϊνών σε μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με τους πολυσακχαρίτες. Στο σύστημα 3 κατά τη συνδυασμένη προεπεξεργασία της εισροής με όζον και H₂O₂ παρατηρήθηκε ακόμη μεγαλύτερη μείωση των sEPS στα 22-43mg/g VSS σε σύγκριση με τον απλό οζονισμό. Η μείωση αυτή πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι το όζον δρα μόνο κατά τη στιγμή του οζονισμού ενώ το H₂O₂ συνεχίζει τη δράση του στην οξείδωση των EPS και μετά το πέρας της επαφής με το όζον. Ακόμη παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη του H₂O₂ σταθεροποίησε σε υψηλές τιμές την αναλογία βάρους των πρωτεϊνών στα 79-84%, σε σύγκριση με τον απλό οζονισμό όπου παρατηρήθηκε μεγάλη διακύμανση στις τιμές τους (67-87%). Οι ίδιες τάσεις με τα sEPS παρατηρούνται και στις συγκεντρώσεις των bEPS αλλά σε αρκετά μικρότερα μεγέθη. Τα bEPS κυμαίνονται στα 0-120mg/g VSS σε σύγκριση με τα sEPS που κυμαίνονται σε γενικές γραμμές στα 0-250mg/g VSS.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ



Η εργασία αυτή υλοποιήθηκε με την οικονομική στήριξη από τη συγχρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Ελληνικού Προγράμματος του Δημοσίου ΕΠΑΝ-II / ΕΣΠΑ: «ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ II», έργο (FOUL-MEM) – «Νέες μέθοδοι για τον έλεγχο της ρύπανσης σε βιοαντιδραστήρες μεμβρανών» (11SYN-8-1084).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Flemming H.C. (1999) 'The forces that keeps biofilm together. In Biofilms in Aquatic Systems' (eds. W. Keevil, A.F. Godfree, D.M. Hotl and C.S. Dow), Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
2. Wingender J., T. R. Neu, H.-C. Flemming (1999) 'Microbial Extracellular Polymeric Substances: Characterization, Structure and Function' 1st ed., Berlin Springer, Germany.
3. Nielsen P.H., A. Jahn, R. Palmgren (1997) 'Conceptual model for production and composition of exopolymers in biofilms' Water Science and Technology, 36(1), p. 11-19.
4. Nielsen P.H and A. Jahn (1999) 'Extraction of EPS', 1st ed., Berlin Springer, Germany.
5. Lapidou C.S., B.E. Rittmann (2002) 'A unified theory for extracellular polymeric substances, soluble microbial products, and active and inert biomass', Water Research, 36 (11), p. 2711-2720.

6. Wang Z., X. Mei, M. Jinxing, A. Grasmick, W. Zhichao (2013) 'Potential foulants and fouling indicators in MBRs: A critical review', *Separation Science and Technology*, 48(1), p. 22-50.
7. Wang X.M., T.D. Waite (2009) 'Role of gelling soluble and colloidal microbial products in membrane fouling', *Environmental Science & Technology*, 43 (24), p. 9341–9347.
8. Li X.Y., S.F. Yagn (2007) 'Influence of loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) on the flocculation, sedimentation and dewaterability of activated sludge', *Water Research*, 41 (5), p. 1022–1030.
9. Bura R., M. Cheung, B. Liao, J. Finlayson, B.C. Lee, I.G. Droppo, G.G. Leppard, S.N. Liss (1998) 'Composition of extracellular polymeric substances in the activated sludge floc matrix', *Water Science Technology*. 37 (4-5), p. 325–333.
10. Wilen B.M., B. Jin, P. Lant (2003) 'The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculating properties', *Water Research*, 37 (9), p. 2127–2139.
11. Urbain V., J.C. Block, J. Manem (1993) 'Bioflocculation in activated sludge: an analytic approach', *Water Research*, 27 (5), p. 829–838.
12. Liao B.Q., D.G. Allen, I.G. Droppo, G.G. Leppard, S.N. Liss (2001) 'Surface properties of sludge and their role in bioflocculation and settleability', *Water Research*, 35 (2), p. 339–350.
13. Heponiemi A. and U. Lassi (2012) 'Advanced Oxidation Processes in Food Industry Wastewater Treatment – A Review', *Food Industrial Processes - Methods and Equipment*, Dr. Benjamin Valdez (Ed.), ISBN: 978-953-307-905-9, InTech.
14. Liu Y., H.H.P. Fang (2003) 'Influence of extracellular polymeric substances (EPS) on flocculation, settling, and dewatering of activated sludge', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 33 (3), p. 237–273.
15. Liu H., H.H.P. Fang (2002) 'Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges', *Journal of Biotechnology*, 95, p. 249–256.
16. Sheng G.P., H.Q. Yu, Z. Yu (2005) 'Extraction of the extracellular polymeric substances from a photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas acidophila*', *Applied Microbiology Biotechnology*, 67, p. 125–130.
17. Frølund B., R. Palmgren, K. Keiding, P.H. Nielsen (1996) 'Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin', *Water Research*, 30 (8), p. 1749–1758.
18. Sheng G.P., H.Q. Yu, X.Y. Li (2010) 'Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: A review', *Biotechnology Advances*, 28, p. 882-894.
19. Hwang B.K., J.H. Kim, C. H. Ahn, C.H. Lee, J.Y. Song, Y.H. Ra (2010) 'Effect of disintegrated sludge recycling on membrane permeability in a membrane bioreactor combined with a turbulent jet flow ozone contactor', *Water Research*, 44, p. 1833–1840.
20. Raunkjær K., T. Hvitved-Jacobsen, P.H. Nielsen (1994) 'Measurement of pools of protein, carbohydrate and lipid in domestic wastewater', *Water Research*, 28 (2), p. 251–261.
21. Zuriaga-Agusti E., A. Bes-Pia, J.A. Mendoza-Roca, J.L. Alonso-Molina (2013) 'Influence of extraction methods on proteins and carbohydrates analysis from MBR activated sludge flocs in view of improving EPS determination', *Separation and Purification Technology*, 112, p. 1–10.
22. Dubois M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, F. Smith (1956) 'Colorimetric method for determination of sugars and related substances' *Analytical Chemistry*, 28, p. 350-356.

23. Dignac M. F., V. Urbain, D. Rybacki, A. Bruchet, D. Snidaro, P. Scribe (1998)
'Chemical description of extracellular polymers: implication on activated sludge floc structure', *Water Science Technology*, 38, p. 45–53.