

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑΣ ΕΛΙΑΣ ΣΕ ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΡΟΚΙΑΩΤΙΚΩΝ

Σ.Ι. Πάτσιος¹, Α. Σιταρόπουλος², Ε.Η. Παπαϊωάννου¹, Α.Ι. Καράμπελας¹

¹Εργαστήριο Φυσικών Πόρων & Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΕΦΕΜ), Ινστιτούτο Χημικών
Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ),
Εθνικό Κέντρο Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)

²Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Λέξεις Κλειδιά: Επιτραπέζια Ελιά, Βιοαντιδραστήρας Μεμβρανών, Επεξεργασία Αποβλήτων, Κροκιδώση, Τριγλωριούχος Σίδηρος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταποιητική βιομηχανία της επιτραπέζιας ελιάς αποτελεί ένα σημαντικό τομέα της αγρο-βιομηχανικής οικονομίας της Ελλάδας με έντονο εξαγωγικό χαρακτήρα. Παράλληλα, τα υγρά απόβλητα από τη μεταποίηση της επιτραπέζιας ελιάς αποτελούν ένα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα δεδομένων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, όπως υψηλό οργανικό φορτίο, παρουσία φυτοτοξικών και αντιμικροβιακών ενώσεων (πολυφαινόλες), και έντονη χρονική και ποιοτική μεταβλητότητα. Παρόλο που τα υγρά απόβλητα από τη μεταποίηση επιτραπέζιας ελιάς είναι σαφώς λιγότερο επιβαρημένα σε σχέση με τα αντίστοιχα από την παραγωγή ελαιόλαδου, η επιπλέον παρουσία υψηλής συγκέντρωσης NaCl (υψηλή αλατότητα) καθώς και οι έντονες διακυμάνσεις των τιμών pH (από 4,0 έως και 12,0), ανάλογα με το στάδιο της μεταποιητικής διαδικασίας, καθιστούν το απόβλητο αυτό εξίσου δύσκολο διαχειρίσιμο. Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων από την παραγωγή ελαιόλαδου έχει μελετηθεί εκτενώς τα τελευταία χρόνια. Αντιθέτως, λίγες μελέτες έχουν γίνει πάνω στη διαχείριση και επεξεργασία των αποβλήτων από τη μεταποίηση επιτραπέζιας ελιάς.

Οι βιοαντιδραστήρες μεμβρανών αποτελούν εξέλιξη της συμβατικής μεθόδου ενεργού ιλύος, όπου μεμβράνες μικροδιήθησης ή υπερδιήθησης χρησιμοποιούνται στη θέση των δεξαμενών δευτεροβάθμιας καθίζησης για την απόληψη του επεξεργασμένου νερού. Τα πλεονεκτήματα τα οποία προκύπτουν, από τη συνέργεια της βιολογικής επεξεργασίας και του διαχωρισμού διαμέσου μεμβρανών, περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων σταθερά υψηλή ποιότητα εκροής, αυξημένη ικανότητα βιοδιάσπασης και απομάκρυνσης οργανικού φορτίου, υψηλότερες οργανικές φορτίσεις και μικρότερο μέγεθος εγκαταστάσεων. Μια καινοτόμος μέθοδος επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων από τη μεταποίηση επιτραπέζιας ελιάς, μέσω αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας με τη χρήση της τεχνολογίας των βιοαντιδραστήρων μεμβρανών, αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Φυσικών Πόρων & Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας του Εθνικού Κέντρου Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΦΕΜ/ΕΚΕΤΑ). Σε μια πιλοτική μονάδα βιοαντιδραστήρα μεμβρανών εργαστηριακής κλίμακας επετεύχθη συνεχής σταθερή λειτουργία για μακρό χρονικό διάστημα (80 ημέρες) σε συνθήκες υδραυλικού χρόνου παραμονής (Hydraulic Retention Time - HRT) 10 h και χρόνο παραμονής στερεών (Solid Retention Time - SRT) 40 d. Στις συνθήκες αυτές η μάζα της ενεργού βιομάζας σταθεροποιήθηκε σε επίπεδα 8.759 ± 876 mg/L MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) υποδηλώνοντας την ανάπτυξη μιας εγκλιματισμένης βιοκοινότητας μικροοργανισμών στις ιδιαίτερες αυτές συνθήκες. Η απόδοση του βιοαντιδραστήρα όσον αφορά την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου (Total Organic Carbon - TOC) καθώς και ολικών φαινολικών ενώσεων (Total Phenolics - TPh) ήταν άκρως ικανοποιητική επιτυγχάνοντας κατά μέσο όρο πάνω από 90% απομάκρυνση TOC και 85% απομάκρυνση TPh.

Επιπλέον, η τιμή pH του μικτού υγρού σταθεροποιήθηκε σε υψηλές τιμές (8,5 - 9,0) παρόλο που η τιμή pH των αποβλήτων στη είσοδο του βιοαντιδραστήρα ήταν αρκετά χαμηλή (περίπου 5,0). Τέλος, η απόδοση διήθησης των μεμβρανών ήταν επίσης ικανοποιητική και ο ρυθμός ρύπανσής τους σχετικά μικρός.

Παρά την ικανοποιητική λειτουργία του πιλοτικού συστήματος βιοαντιδραστήρα μεμβρανών η εκροή χαρακτηριζόταν από την ύπαρξη υπολειπόμενου οργανικού φορτίου σε επίπεδα περίπου 194 ± 66.4 mg/L TOC, καθώς και έντονου κίτρινου χρώματος (804 ± 148 CU Pt-Co) που καθιστούσε την εκροή ακατάλληλη (δηλ. εκτός των νομοθετημένων προδιαγραφών) για απευθείας διάθεση σε έναν ευαίσθητο τελικό αποδέκτη όπως ο Θερμαϊκός κόλπος (Απ.Νομ.Θεσ/νικής 30/2885/2010). Για το λόγο αυτό διερευνήθηκε η δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας εκροής του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών με τη χρήση κροκιδωτικών ουσιών. Οι κροκιδωτικές ουσίες που εξετάστηκαν ήταν διαλύματα χλωριούχων αλάτων τρισθενούς σιδήρου (FeCl_3) και αργιλίου ($\text{Al}_n\text{Cl}(3_{n-m})(\text{OH})_m$ - PAC) υψηλής και χαμηλής βασικότητας.

Αρχικά, έγιναν εργαστηριακά πειράματα κροκιδώσης (jar tests) μικτού υγρού του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών για την εύρεση των βέλτιστων συνθηκών όσον αφορά τη συγκέντρωση των κροκιδωτικών και την τιμή pH που λαμβάνει χώρα η διεργασία της κροκιδώσης. Η βέλτιστη απομάκρυνση οργανικού φορτίου (TOC) και χρώματος επετεύχθη με τη χρήση του διαλύματος αλάτων τρισθενούς σιδήρου (FeCl_3) σε έναν λόγο συγκέντρωσης FeCl_3 ως προς TOC περίπου 10:1 και τιμές pH γύρω στο 4,0 - 4,2. Στις συνθήκες αυτές η απομάκρυνση οργανικού φορτίου (TOC) λόγω της κροκιδώσης ήταν περίπου 80%, η απομάκρυνση πολυφαινολικών (TPh) περίπου 92% και του χρώματος πάνω από 95%. Δεδομένου ότι η λειτουργία του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών στις συγκεκριμένες συνθήκες τιμών pH δεν είναι δυνατή, λόγω της αρνητικής επίδρασης του όξινου περιβάλλοντος στην βιοκοινότητα των μικροοργανισμών, κρίθηκε σκόπιμο η διεργασία της κροκιδώσης να ενσωματωθεί στη διεργασία ως ένα επιπλέον στάδιο σε ξεχωριστό δοχείο.

Η απόδοση της εναλλακτικής αυτής μεθόδου δοκιμάστηκε στην πιλοτική μονάδα βιοαντιδραστήρα μεμβρανών του ΕΦΕΜ/ΕΚΕΤΑ μετά από κατάλληλη μετατροπή και προσθήκη ενός επιπλέον, ξεχωριστού δοχείου κροκιδώσης. Οι συνθήκες λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα μεμβρανών παρέμειναν σταθερές και παρόμοιες με την προηγούμενη ομάδα δοκιμών, ενώ το στάδιο της κροκιδώσης με διάλυμα αλάτων τρισθενούς σιδήρου έγινε στις βέλτιστες συνθήκες όπως προσδιορίστηκαν στα εργαστηριακά πειράματα (jar tests). Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής ήταν άκρως ικανοποιητικά, καθώς επιτεύχθηκε απομάκρυνση οργανικού φορτίου (TOC) της τάξης περίπου 98% με τελική μέση συγκέντρωση TOC 37 mg/L. Η απομάκρυνση οργανικού φορτίου (TOC) λόγω της αερόβιας βιολογικής επεξεργασίας ήταν περίπου 86% ενώ του σταδίου της κροκιδώσης 12% ως προς την αρχική συγκέντρωση. Ταυτόχρονα η απομάκρυνση των πολυφαινολικών ενώσεων έφτασε το 99%, επιτυγχάνοντας μέση τελική συγκέντρωση TPh 13,3 mg/L, ενώ και το επεξεργασμένο ρεύμα ήταν ουσιαστικά διαυγές με μέση τιμή 60,3 CU Pt-Co. Όλες οι παραπάνω τιμές παραμέτρων είναι εντός των νομοθετημένων προδιαγραφών, επιτρέποντας την απευθείας διάθεση του επεξεργασμένου ρεύματος στον Θερμαϊκό κόλπο ή σε οποιονδήποτε άλλο θαλάσσιο αποδέκτη. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δείχνουν ότι η τεχνολογία των βιοαντιδραστήρων μεμβρανών συνδυασμένη με ένα στάδιο κροκιδώσης με χρήση αλάτων τρισθενούς σιδήρου μπορεί να αποτελέσει μια αποτελεσματική και ολοκληρωμένη μέθοδο για την επεξεργασία των αποβλήτων μεταποίησης επιτραπέζιας ελιάς.