

ΠΡΟΤΥΠΗ ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΜΗ ΒΙΟΔΙΑΣΠΑΣΙΜΩΝ ΤΟΞΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΥΡΥΠΑΝΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΝΕΡΟ

Β.Χ. Σαρασίδης, Κ.Β. Πλάκας, Σ.Ι. Πάτσιος, Α. Λέκκας, Α.Ι. Καράμπελας

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

Λέξεις κλειδιά: Ετερογενής φωτοκατάλυση, Προηγμένες οξειδωτικές μέθοδοι, Υπερδιήθηση, Διοξειδίο του τιτανίου, Φαρμακευτικές ουσίες

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι ευρέως γνωστό το σοβαρό πρόβλημα της ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων (που αξιοποιούνται για ύδρευση) από επικίνδυνους για την ανθρώπινη υγεία τοξικούς οργανικούς ρύπους (π.χ. υπολειμματικά φυτοφάρμακα, ουσίες με φαρμακευτική δράση, βιομηχανικά χημικά, χρώματα, κ.ά.). Επομένως, η αναζήτηση αποτελεσματικών, οικονομικών και φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών, αποτελεί αντικείμενο μείζονος σημασίας. Σε αυτές τις τεχνολογίες ανήκουν οι προηγμένες οξειδωτικές μέθοδοι (*Advanced Oxidation Processes-AOP*), οι οποίες αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για ταυτόχρονη απομάκρυνση ή/και καταστροφή των μη βιοδιασπάσιμων τοξικών ουσιών, και εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τις χρησιμοποιούμενες σήμερα συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας, όπως η κροκίδωση, η προσρόφηση, η ιοντοεναλλαγή, και η διήθηση.

Το Εργαστήριο Φυσικών Πόρων & Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΕΦΕΜ) του ΕΚΕΤΑ, έχει αποκτήσει σημαντική ερευνητική εμπειρία στον τομέα των προηγμένων οξειδωτικών μεθόδων και κυρίως της ετερογενούς φωτοκατάλυσης. Επιπλέον, έχει αναπτύξει τεχνογνωσία για το σχεδιασμό και την κατασκευή υβριδικών συστημάτων φωτοκατάλυσης-υπερδιήθησης, εργαστηριακής κλίμακας, με ιδιαίτερα καινοτομικά χαρακτηριστικά [1-4]. Τέτοια υβριδικά συστήματα (διαφορετικών διαμορφώσεων) έχουν δοκιμαστεί με μεγάλη επιτυχία, αναφορικά με την οξείδωση και διάσπαση διαφόρων ανεπιθύμητων και δύσκολα διασπάσιμων οργανικών ουσιών, όπως χουμικά οξέα, συστατικά φαρμάκων και φυτοφαρμάκων (δικλοφενάκη και ατραζίνη).

Με βάση την προαναφερόμενη εμπειρία, ακολούθησε το επόμενο στάδιο της κλιμάκωσης μεγέθους (*scale-up*) ενός υβριδικού συστήματος φωτοκατάλυσης-υπερδιήθησης. Συγκεκριμένα αναπτύχθηκε μια πρότυπη πιλοτική μονάδα που βασίζεται στην τεχνολογία των φωτοκαταλυτικών αντιδραστήρων μεμβρανών (*Photocatalytic Membrane Reactor-PMR*), η οποία συνδυάζει δύο μοντέρνες διεργασίες, τη φωτοκατάλυση, με χρήση διεσπαρμένων νανοσωματιδίων καταλύτη TiO_2 και UV-C ακτινοβολίας, και τη διήθηση διαμέσου μεμβρανών, με ένα εμβαπτισμένο στοιχείο κοίλων ινών UF. Η καινοτόμος πιλοτική μονάδα έχει σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να είναι απλή στη χρήση, αυτόνομη και πλήρως αυτοματοποιημένη. Η νέα μονάδα PMR μπορεί να λειτουργεί συνεχώς χωρίς επιτήρηση, ενώ τα εξελιγμένα συστήματα αυτοματισμού που διαθέτει περιλαμβάνουν την περιοδική αντίστροφη πλύση των μεμβρανών με

επεξεργασμένο νερό (για έλεγχο της ρύπανσης), το σύστημα καθαρισμού των χιτωνίων των λυχνιών UV με προκαθορισμένη συχνότητα, καθώς και το επί τόπου σύστημα χημικού καθαρισμού (cleaning in place) των μεμβρανών όταν αυτό απαιτείται. Η συνολική ισχύς UV-C ακτινοβολίας είναι 52 W, η ενεργός επιφάνεια του στοιχείου μεμβρανών είναι 4.19 m², ενώ το σύστημα έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί (στην παρούσα φάση) έως και 1.2 m³ αποβλήτων ανά ημέρα.

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα από τη λειτουργία της πρότυπης μονάδας που έχει ως κύριο στόχο την απομάκρυνση μη βιοδιασπάσιμων τοξικών μικρορυπαντών, όπως φαρμακευτικών ουσιών (δικλοφενάκη, σουλφαμεθοξαζόλη, καρβαμαζεπίνη κ.ά.) και φυτοφαρμάκων (ατραζίνη, διουρόνη, κ.ά.) από νερά διαφορετικής προέλευσης, στα οποία οι προαναφερόμενοι ρυπαντές απαντώνται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, με απώτερο σκοπό την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για συγκεντρώσεις ρυπαντών που κυμαίνονται μεταξύ 0.1-1 mg/L, συγκέντρωση καταλύτη 0.1-0.5 g/L, υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT) ~30 min και ανηγμένη ροή διηθήματος 15 L/m²h, το σύστημα αποκτά γρήγορα συνθήκες μόνιμης κατάστασης, εμφανίζει σχεδόν ολοκληρωτική οξειδωση των επιλεγμένων οργανικών μικρορυπαντών (~99%) αλλά και ικανοποιητικά ποσοστά ανοργανοποίησης αυτών, τα οποία προσεγγίζουν το 70%, ανάλογα με τη σύσταση του νερού τροφοδοσίας. Επιπλέον, το σύστημα επιδεικνύει ελάχιστη ρύπανση των μεμβρανών, γεγονός που πιστοποιείται από την πολύ μικρή μεταβολή της δια-μεμβρανικής πίεσης (TMP), ακόμα και σε πειράματα μακράς διάρκειας, έως και 72h. Η αξιολόγηση της απόδοσης της πιλοτικής αυτής μονάδας σε ρεαλιστικές συνθήκες βρίσκεται σε εξέλιξη, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας της με βάση τεχνικά και οικονομικά κριτήρια.

Η καινοτόμος πιλοτική μονάδα PMR μπορεί να βρει πολλές πρακτικές εφαρμογές στο τομέα της επεξεργασίας πόσιμου νερού αλλά και τριτοβάθμιας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, επειδή εμφανίζει μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα, στα οποία περιλαμβάνονται η σχεδόν μηδενική απόρριψη νερού ή άλλων ουσιών στο περιβάλλον, λόγω απουσίας κάποιου απορρέυματος (wastewater ή reject stream), η μηδενική προσθήκη δαπανηρών και επικίνδυνων χημικών ή άλλων οξειδωτικών ουσιών, όπως Cl₂, O₃, ή H₂O₂ για την απομάκρυνση οργανικών ρύπων του νερού και η περιορισμένη ενεργειακή κατανάλωση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. A.J. Karabelas, K.V. Plakas, V.C. Sarasidis, S.I. Patsios, The effect of humic acids on the removal of atrazine from water in a continuous photocatalytic membrane reactor. *Global NEST Journal* 16 No3 (2014) 516–524
2. V.C. Sarasidis, K.V. Plakas, S.I. Patsios, A.J. Karabelas, Investigation of diclofenac degradation in a continuous photo-catalytic membrane reactor. Influence of operating parameters. *Chemical Engineering Journal* 239 (2014) 299-311
3. S.I. Patsios, V.C. Sarasidis, A.J. Karabelas, A hybrid photocatalysis–ultrafiltration continuous process for humic acids degradation. *Separation and Purification Technology* 104 (2013) 333–341
4. V.C. Sarasidis, S.I. Patsios, A.J. Karabelas, A hybrid photocatalysis–ultrafiltration continuous process: The case of polysaccharide degradation. *Separation and Purification Technology* 80 (2011) 73–80