

Ρύπανση των μεμβρανών υπερδιήθησης από πολυσακχαρίτες: Επίδραση της σταθερής ανηγμένης ροής στην ειδική αντίσταση αλγινικών στιβάδων

Δημήτρης Χ. Σιουτόπουλος, Αναστάσιος Ι. Καράμπελας

Εργαστήριο Ενεργειακών Πόρων και Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΕΦΕΜ)

Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ)

Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ)

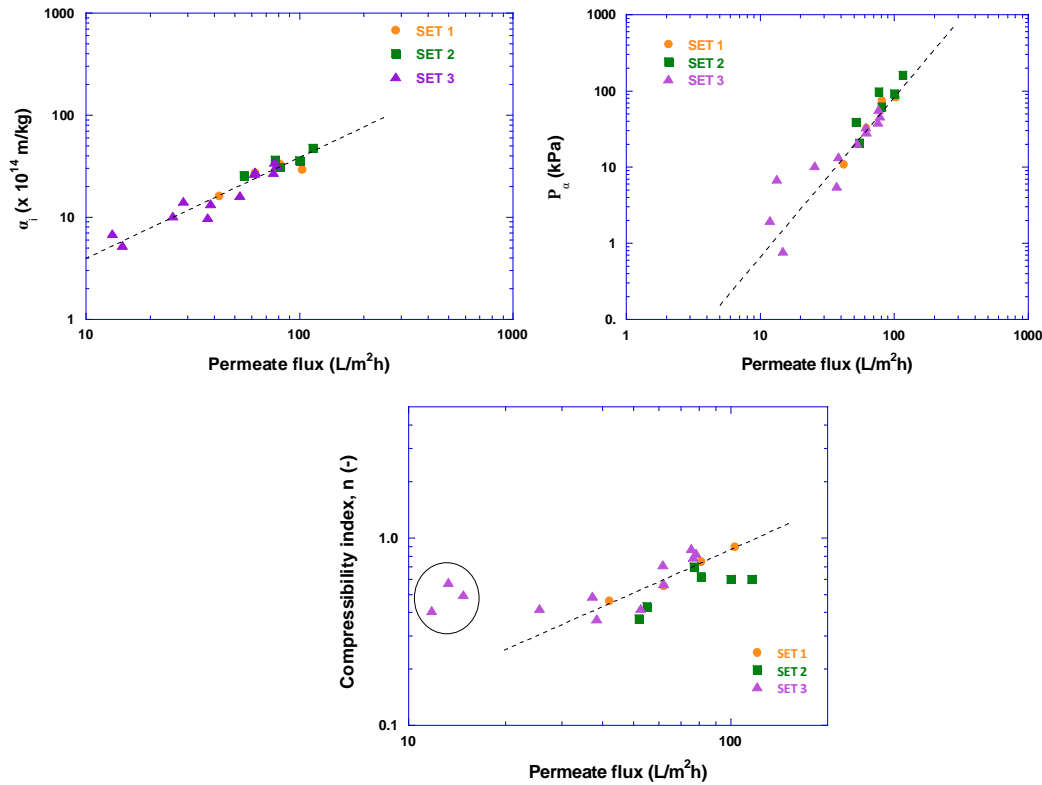
6^ο χλμ Χαριλάου-Θέρμης, Θέρμη- Θεσσαλονίκη, 57001

Λέξεις κλειδιά: Στιβάδες αλγινικών αλάτων, ειδική αντίσταση στιβάδας, μεμβράνες υπερδιήθησης, συμπίεστικότητα στιβάδας,

Οι μεμβράνες υπερδιήθησης (Ultrafiltration, UF) χρησιμοποιούνται ευρέως στην επεξεργασία νερού, για την ποιοτική αναβάθμιση των απορρευμάτων μονάδων επεξεργασίας λυμάτων (για επαναχρησιμοποίησή τους), την προ-επεξεργασία του νερού τροφοδοσίας μονάδων αφαλάτωσης και την παραγωγή πόσιμου νερού. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, η ρύπανση μεμβρανών από πολυσακχαρίτες είναι ένα σημαντικό λειτουργικό πρόβλημα, που προκαλεί μείωση της απόδοσης των μονάδων με δυσμενείς οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Γενικά, έχει διαπιστωθεί ότι η παρουσία πολυσακχαριτών στο νερό τροφοδοσίας, οδηγεί στο σχηματισμό συνεκτικών στιβάδων πάνω στην επιφάνεια των μεμβρανών. Η πλειονότητα των εργασιών της εκτεταμένης βιβλιογραφίας σχετικά με ρύπανση μεμβρανών από πολυσακχαρίτες και άλλες οργανικές ενώσεις, αφορά σε συνθήκες σταθερής πίεσης διήθησης, μολονότι στην πράξη οι μονάδες υπερδιήθησης λειτουργούν υπό συνθήκες σταθερής ανηγμένης ροής διηθήματος (ΑΡΔ) [1]. Τονίζεται επίσης ότι δεν υπάρχει γενικά αποδεκτή ποσοτική σχέση μεταξύ των βασικών μεταβλητών λειτουργίας των μονάδων υπερδιήθησης (όπως η ΑΡΔ) και μίας αντιπροσωπευτικής παραμέτρου χαρακτηρισμού της ρύπανσης, η οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη βελτιστοποίηση των σχετικών μονάδων. Η έλλειψη αυτή είναι σημαντική γιατί επί πλέον στα συστήματα κατά μέτωπο διήθησης παρατηρείται μια μάλλον απότομη αύξηση της ρύπανσης, όταν η ΑΡΔ ξεπεράσει κάποιο επίπεδο τιμών, φαινόμενο που αποκαλείται ασαφώς “κρίσιμη ανηγμένη ροή”, και του οποίου η αιτία είναι ουσιαστικά άγνωστη.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας συστηματικής μελέτης της κατά μέτωπο διήθησης μεμβρανών υπερδιήθησης, σε συνθήκες σταθερής ανηγμένης ροής, όπου χρησιμοποιούνται ως πρότυποι οργανικοί ρυπαντές (με συγκέντρωση 30 και 50 mg/L), άλατα του αλγινικού οξέος σε νερό μέτριας αλατότητας (500 mg/L και 2000 mg/L NaCl). Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της ΑΡΔ, στη ρύπανση των μεμβρανών, σε μια ευρεία περιοχή ΑΡΔ ($J = 10\text{--}100 \text{ L/m}^2\text{h}$) με πρακτικό ενδιαφέρον. Η ειδική αντίσταση της στιβάδας των επικαθίσεων α , επιλέχθηκε ως η πιο αντιπροσωπευτική ιδιότητα της στιβάδας για την ερμηνεία και τη συσχέτιση των δεδομένων. Η μη γραμμική χρονική μεταβολή της διαμεμβρανικής πίεσης (ΔΜΠ) και της αντίστασης α , δείχνει ότι οι στιβάδες των αλγινικών αλάτων εμφανίζουν σημαντική συμπίεστικότητα και επηρεάζονται έντονα από την ΑΡΔ.

Η συμπίεστικότητα της στιβάδας των αλγινικών επικαθίσεων γίνεται περισσότερο έκδηλη με την αύξηση τους πάχους της, με την πρόοδο της διήθησης. Για τον χαρακτηρισμό της αντίστασης που συναντά το ρευστό κατά τη διέλευσή του μέσα από ένα πολύ λεπτό στρώμα αλγινικών επικαθίσεων (στο αρχικό στάδιο της διήθησης) εισάγεται ο όρος της αρχικής ειδικής αντίστασης α_i , η οποία βρέθηκε ότι είναι ανεξάρτητη της πτώσης πίεσης ΔP_c , που προκαλεί η στιβάδα των αλγινικών. Ιδιαίτερα αξιόλογο είναι το εύρημα της σχεδόν γραμμικής αύξησης της αρχικής ειδικής αντίστασης α_i με αύξηση της ανηγμένης ροής του διηθήματος (Σχήμα 1α). Επιπλέον, πέραν του αρχικού σταδίου διήθησης (σε συνθήκες σταθερής ΑΡΔ), παρατηρήθηκε η μη-γραμμική αύξηση της αντίστασης α με αύξηση του ΔP_c , η οποία αποτελεί σημαντική ένδειξη της συμπίεστικότητας του στρώματος των αλγινικών επικαθίσεων. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές τιμές ΑΡΔ αναπτύχθηκε μια γενικευμένη συσχέτιση μεταξύ της ειδικής αντίστασης α και της πτώσης πίεσης διαμέσου της στιβάδας των επικαθίσεων ΔP_c .



Σχήμα 1. Επίδραση σταθερής ανηγμένης ροής διηθήματος J (α_i) στην αρχική αντίσταση στιβάδας α_i , β) στις τιμές της παραμέτρου P_α και γ) της παραμέτρου n (Εξ. 1). Διήθηση διαμέσου μεμβράνης UF, μεγέθους πόρων 20 kDa.

με τη χρήση δύο επιπλέον (εκτός του α_i) παραμέτρων, n και P_α οποίες αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα, την συμπιεστότητα της στιβάδας και μια πίεση αναφοράς, ως εξής,

$$\alpha = \alpha_i \left(1 + \frac{\Delta P_c}{P_\alpha} \right)^n \quad (1)$$

Η μεταβολή των παραμέτρων n και P_α ως συνάρτηση της ανηγμένης ροής του διηθήματος απεικονίζεται στο Σχήμα 1(β,γ). Τα νέα δεδομένα που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη, αλλά και η γενική προσέγγιση που ακολουθείται για την ερμηνεία και συσχέτιση της ειδικής αντίστασης, α , με την ανηγμένη ροή, J , σε διεργασίες υπερδιήθησης, προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα φαινόμενα-μηχανισμούς ρύπανσης των μεμβρανών υπερδιήθησης από πολυσακχαρίτες και μπορεί να αποτελέσουν χρήσιμο πλαίσιο για περαιτέρω μελέτη. Συγκεκριμένα, συσχετίσεις της μορφής που έχει η Εξίσωση (1) (δηλαδή ένα είδος καταστατικών εξισώσεων) είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων μοντέλων για την προσομοίωση της λειτουργίας στοιχείων μεμβρανών, υπό συνθήκες ρύπανσης [2]. Εργαλεία δυναμικής προσομοίωσης είναι απαραίτητα για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς στοιχείων μεμβρανών και μονάδων επεξεργασίας νερού. Η γενική στρατηγική για την ανάπτυξη και τη χρήση αυτών των μοντέλων προσομοίωσης έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενες μελέτες [3] του εργαστηρίου.

Αναφορές

- [1] Sioutopoulos D.C., Karabelas A.J. (2012) Correlation of organic fouling resistances in RO and UF membrane filtration under constant flux and constant pressure *J. Membr. Sci.* 407-408, 34-46.
- [2] Karabelas A.J., Sioutopoulos D.C.,(2014) Toward improvement of methods for predicting fouling of desalination membranes - The effect of permeate flux on specific fouling resistance, *Desalination*, 343 97-105.
- [3] Kostoglou M., Karabelas A.J. (2012) A mathematical study of the evolution of fouling and operating parameters throughout membrane sheets comprising spiral wound modules, *Chem. Eng. Journal*, 187, 222-231.