

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΛΗΓΜΕΝΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ  
ΜΕΣΩ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ ΜΕ  
ΑΓΡΟΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ**

**Κ. Π. Σταυρόπουλος<sup>1</sup>, Α. Κοψαχείλης<sup>1,2</sup>, Κ. Ζαφείρη<sup>2</sup>, Μ. Κορνάρος<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>*Εργαστήριο Βιοχημικής Μηχανικής και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος,  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών,  
Καραθεοδωρή 1, Πανεπιστημιούπολη-Ρίο, Πάτρα 26504, Ελλάδα*

<sup>2</sup>*Green Technologies ΕΠΕ, Έλληνας Στρατιώτου 5, Πάτρα 26223, Ελλάδα*

*E-mail: [kornaros@chemeng.upatras.gr](mailto:kornaros@chemeng.upatras.gr), Τηλ.: +30 2610 997418, Φαξ.: +30 2610 993070*

*Λέξεις κλειδιά: ληγμένα γαλακτοκομικά προϊόντα, αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, αναερόβια  
χώνευση, διβάθμιο σύστημα*

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και οι αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της διαρκώς αυξανόμενης χρήσης τους οδηγούν στη μερική ή πλήρη αντικατάστασή τους με ανανεώσιμες και μη ρυπογόνες πηγές ενέργειας. Τα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα και τα ληγμένα γαλακτοκομικά προϊόντα (EoL-DPs) χαρακτηρίζονται ως ρεύματα αποβλήτων με υψηλό οργανικό φορτίο. Η αναερόβια συγχώνευση (AX) θεωρείται ως μια βιώσιμη επιλογή για τη διαχείριση αυτού του είδους των αποβλήτων, επειδή τα παραγόμενα βιοκαύσιμα, υδρογόνο και μεθάνιο, είναι υψηλής ενεργειακής αξίας.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της βιώσιμης διαχείρισης των EoL-DPs και πιο συγκεκριμένα επικεντρώνεται στον προσδιορισμό του μέγιστου ποσού των EoL-DPs που μπορεί να τροφοδοτηθεί σε έναν υπό λειτουργία μεθανογόνο αντιδραστήρα, ο οποίος επεξεργάζεται μίγμα αγροτο-βιομηχανικών αποβλήτων, όπως χοιροστασίου (PM), τυροκομείου (CW), βουστασίου (LCM), σφαγείου (SHW) και ορνιθοτροφείου (CM), με τελικό σκοπό την μεγιστοποίηση της ποσότητας του παραγόμενου μεθανίου. Για το λόγο αυτό, διεξήχθησαν παράλληλα συγκριτικά πειράματα αναερόβιας χώνευσης σε ένα διβάθμιο και μονοβάθμιο εργαστηριακό σύστημα. Το διβάθμιο σύστημα αποτελείται από έναν οξεογόνο CSTR αντιδραστήρα (R1A) που τροφοδοτείται με το μίγμα των EoL-DPs (93% γάλα-5% γιαούρτι- 2% τυρί, w/w) και λειτουργεί σε ρυθμιζόμενο pH (5,7), καθώς και από έναν μεθανογόνο CSTR (R1M) που λειτουργεί σε μη ελεγχόμενο, ελαφρώς αλκαλικό pH (μεταξύ 7-8) και σε υδραυλικό χρόνο παραμονής (HRT) 37 ημερών. Το μονοβάθμιο σύστημα αποτελείται από έναν μεθανογόνο CSTR αντιδραστήρα (R2) που λειτουργεί σε HRT 37d και τροφοδοτείται με ένα μίγμα αποβλήτων, με την ίδια σύνθεση όπως στο R1M, χρησιμοποιώντας όμως μη προ-επεξεργασμένα EoL-DPs. Και οι τρεις αντιδραστήρες λειτούργησαν σε μεσόφιλες συνθήκες (37 °C).

Αρχικά έγινε μελέτη της απόδοσης του οξεογόνου αντιδραστήρα R1A με τη δοκιμή διαφορετικών HRTs, δηλαδή 3d και 6d. Συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση ο R1A λειτούργησε σε HRT 3d για διάστημα 80 ημερών και είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου και

υδρογόνου με ρυθμό παραγωγής 9,23 και 2,48  $L_{H_2} \cdot L^{-1}_{feed}$  αντίστοιχα. Ωστόσο, σε αυτές τις συνθήκες, σημειώθηκε μια σταδιακή αύξηση και συσσώρευση γαλακτικού οξέος (25 g / L), που οδήγησε σε μηδενική παραγωγή βιοαερίου ύστερα από περίπου 205 ημέρες λειτουργίας. Για αυτό το λόγο, ο HRT αυξήθηκε σε 6d με στόχο την ανάκτηση της απόδοσης του συστήματος. Ο αντιδραστήρας λειτούργησε για 230 ημέρες και επιτεύχθηκε παραγωγή 12,50  $L_{βιοαερίου} \cdot L^{-1}_{feed}$  και 2,54  $L_{H_2} \cdot L^{-1}_{feed}$  σε μόνιμη κατάσταση. Σχετικά με τους μεθανογόνους αντιδραστήρες (R1M και R2), έλαβαν χώρα πειράματα μελέτης της επίδρασης της χρήσης νωπού ή παστεριωμένου SHW (70°C για 1 ώρα) και της επίδρασης διαφορετικών επιπέδων συγκέντρωσης ληγμένων γαλακτοκομικών προϊόντων, δηλαδή 4,5%, 12,4%, 19,6%, 31% και 50,9% (w/w). Η παραγωγικότητα τόσο του βιοαερίου όσο και του μεθανίου αυξήθηκε με τη χρήση παστεριωμένου SHW, καθώς και αυξανόμενης της συγκέντρωσης των EoL-DPs και στα δύο συστήματα. Η λειτουργία του μεθανογόνου του διβάθμιου συστήματος (R1M) σημείωσε μεγαλύτερους ρυθμούς παραγωγής μεθανίου καθώς και μεγαλύτερες αποδόσεις σε μεθάνιο σε σύγκριση με τον μεθανογόνο μονοβάθμιο αντιδραστήρα (R2). Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν παρατηρήθηκε παρεμπόδιση στη λειτουργία των δύο μεθανογόνων R1M και R2 παρά την υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας (~ 4 g / L) που επικρατούσε και στους δύο αντιδραστήρες.