

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕΣΩ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Χ. Κουτσιαντζή<sup>1,\*</sup>, Α. Ζουμπούλης<sup>2</sup>, Μ. Μήτρακας<sup>1</sup> και Ε.Σ. Κικκινίδης<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

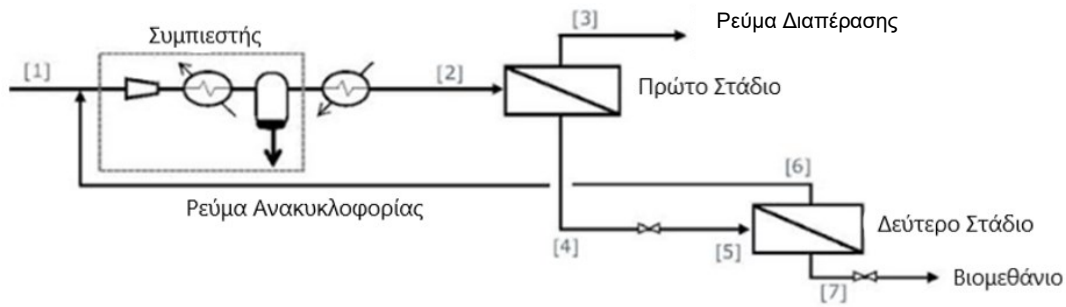
<sup>2</sup> Τμήμα Χημείας, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

[\\*\(ckoutsian@cheng.auth.gr\)](mailto:ckoutsian@cheng.auth.gr)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα εργασία αφορά τον σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία μίας πιλοτικής μονάδας αναβάθμισης βιοαερίου, παραγόμενου μέσω αναερόβιας χώνευσης αστικών λυμάτων στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων Θεσσαλονίκης (ΕΕΛΘ). Η τεχνολογία αναβάθμισης που χρησιμοποιείται για τον επιτυχή διαχωρισμό CO<sub>2</sub> με σκοπό την παραγωγή βιομεθανίου είναι η τεχνολογία μεμβρανών. Σύμφωνα με το πλάνο RePower EU, χώρες της ΕΕ οφείλουν να επενδύσουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με το βιομεθάνιο, γνωστό και ως ανανεώσιμο αέριο να αποτελεί πολλά υποσχόμενη πηγή ενέργειας, για την ενεργειακή ουδετερότητα των χωρών της ΕΕ, με έγχυση υψηλής καθαρότητας (>95%) βιομεθανίου στο δίκτυο φυσικού αερίου [1]. Έπειτα από προηγούμενη έρευνα εργαστηριακής κλίμακας σε συνθετικό διαδικό μίγμα CH<sub>4</sub> - CO<sub>2</sub> [2], [3], [4], η διάταξη που επιλέχθηκε για εφαρμογή στην πιλοτική μονάδα είναι 2 σταδίων με ανακυκλοφορία του ρεύματος διαπέρασης 2<sup>ου</sup> σταδίου, και επαναρροή του στην είσοδο του βιοαερίου. Ο τύπος μεμβρανών που χρησιμοποιείται είναι μεμβράνες πολυιμιδίου κοίλων ινών από την εταιρεία UBE Industries. Κατά τον διαχωρισμό, στο 1<sup>ο</sup> στάδιο διαχωρισμού το ρεύμα τροφοδοσίας διαχωρίζεται σε 2 ρεύματα: το ρεύμα διαπέρασης, πλούσιο σε CO<sub>2</sub> που απομακρύνεται, και το ρεύμα παρακράτησης, σχετικά εμπλουτισμένο σε CH<sub>4</sub> το οποίο εισέρχεται στο 2<sup>ο</sup> στάδιο διαχωρισμού. Στο δεύτερο στάδιο, το εισερχόμενο ρεύμα διαχωρίζεται ξανά σε 2 ρεύματα: Το ρεύμα διαπέρασης, που επαναρρέει στην είσοδο της διεργασίας για εμπλουτισμό του αρχικού βιοαερίου σε CH<sub>4</sub>, και το ρεύμα παρακράτησης που αποτελεί το τελικό προϊόν της διεργασίας, το αναβαθμισμένο αέριο ή βιομεθάνιο.

Για τον έλεγχο της μονάδας αναβάθμισης βιοαερίου στις εγκαταστάσεις της ΕΕΛΘ πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες για διάστημα 5 μηνών (Φεβρουάριος - Ιούνιος 2023) με σκοπό την εκτίμηση καθαρότητας και ανάκτησης του CH<sub>4</sub> στο τελικό αέριο προϊόν. Τα αποτελέσματα έδειξαν μέση ανάκτηση CH<sub>4</sub> 95.7% για μέσο αρχικό ποσοστό τροφοδοσίας 55%, ενώ η μέση καθαρότητα στο τελικό προϊόν ήταν ίση με 82.4%. Τα αποτελέσματα καθαρότητας ήταν χαμηλότερα από τα αναμενόμενα λόγω της παρουσίας N<sub>2</sub> στο αρχικό βιοαέριο κατά την προεπεξεργασία του (~ 17.5%). Για την αναγωγή της διεργασίας στα αποτελέσματα διαχωρισμού απουσίας N<sub>2</sub> πραγματοποιήθηκε κανονικοποίηση με τη βοήθεια των αποτελεσμάτων στην εργαστηριακή κλίμακας όπου εκτιμάται καθαρότητα 99.8% CH<sub>4</sub> με 67% ανάκτηση CH<sub>4</sub> για διαδικό μίγμα βιοαερίου στις ίδιες πιλοτικές συνθήκες.



Εικόνα 1 Διάγραμμα ροής διαχωρισμού 2 σταδίων

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Βιομεθάνιο, Αναερόβια Χώνευση, Μεμβράνες, Αναβάθμιση Βιοαερίου, Δέσμευση CO<sub>2</sub>

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] European Commission, “REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition,” no. May, pp. 1–11, 2022.
- [2] C. Koutsiantzi, A. Kampylafka, A. Zouboulis, M. Mitrakas, and E. S. Kikkinides, “Theoretical and experimental study of CO<sub>2</sub> removal from biogas employing a hollow fiber polyimide membrane,” *Sustain Chem Pharm*, vol. 35, p. 101221, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101221>.
- [3] C. Koutsiantzi, M. Mitrakas, A. Zouboulis, I. Kellartzis, G. Stavropoulos, and E. S. Kikkinides, “Evaluation of polymeric membranes’ performance during laboratory-scale experiments, regarding the CO<sub>2</sub> separation from CH<sub>4</sub>,” *Chemosphere*, vol. 299, p. 134224, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134224>.
- [4] C. Koutsiantzi *et al.*, “Anaerobic digestion biogas upgrading using a two-stage membrane system under pilot-scale conditions,” *Environ Res*, vol. 245, p. 118080, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118080>.