

## ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΡΡΕΥΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΓΑΛΑΚΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

**Δ. Σιουτόπουλος<sup>1\*</sup>, Α. Καράμπελας<sup>1</sup>, Κ. Κοντογιαννόπουλος<sup>1</sup>, Α. Καρανάσιου<sup>1</sup>, Κ. Γεωργακίδης<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Εργαστήριο Φυσικών Πόρων και Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας (ΕΦΕΜ), Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ), Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), Θέρμη-Θεσσαλονίκη, Ελλάδα

<sup>2</sup>ΜΕΒΓΑΛ ΑΕ, Κουφάλια, Ελλάδα

(\*[sioutop@cperi.certh.gr](mailto:sioutop@cperi.certh.gr))

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνολογία μεμβρανών προσφέρεται για ανάπτυξη μεθόδων μείωσης ρύπανσης από απορρεύματα της γαλακτοβιομηχανίας με σκοπό την αξιοποίησή τους για ανακύκλωση χρήσιμων συστατικών, παραγωγή ενέργειας και εξοικονόμηση νερού. Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών, βασισμένων σε μεμβράνες, για δύο εφαρμογές: (α) την ανάκτηση πολύτιμων συστατικών για ανακύκλωση στην παραγωγική διαδικασία και (β) την ολοκληρωμένη αξιοποίηση παραπροϊόντων και λυμάτων (που σήμερα οδηγούνται σε δαπανηρή συμβατική μονάδα βιολογικού καθαρισμού) για παραγωγή ενέργειας και ανακύκλωση νερού. Για την πρώτη περίπτωση (ανάκτησης συστατικών) αξιοποιούνται σχετικά αραιά απορρεύματα από έκπλυση συσκευών επεξεργασίας γάλακτος και γιαουρτιού, τα οποία συμπυκνώνονται κατάλληλα για ανακύκλωση στην παραγωγική διαδικασία. Συστηματική μελέτη διαφόρων τύπων μεμβρανών, οδήγησε στην επιλογή ειδικού τύπου εμβαπτισμένων μεμβρανών υπερδιήθησης (submerged UF membranes, sUF), οι οποίες δείχνουν πολύ ικανοποιητική συμπεριφορά για τη συγκεκριμένη διεργασία. Για τη δεύτερη περίπτωση αξιοποίησης αποβλήτων, μελετήθηκε, σε εργαστηριακή πιλοτική διάταξη, καινοτόμο συνδυασμένο σύστημα αναερόβιας-αερόβιας επεξεργασίας με μεμβράνες (sequential anaerobic-aerobic membrane bioreactor MBR). Τα απορρεύματα που μελετήθηκαν με το σύστημα αυτό περιλαμβάνουν μίγματα λυμάτων και παραπροϊόντων (π.χ. διήθημα UF από συμπύκνωση γάλακτος, ορός γάλακτος κ.α.) με υψηλό οργανικό φορτίο (>60g/L COD). Η απόδοση του εργαστηριακού πιλοτικού συστήματος αναερόβιου/αερόβιου MBR ήταν πολύ ικανοποιητική, αναφορικά με την παραγωγή βιοαερίου αλλά και επεξεργασμένου νερού καλής ποιότητας για ανακύκλωση. Συγκεκριμένα, επιτεύχθηκε υψηλή απόδοση στην απομάκρυνση οργανικής ύλης (>99%), η δε παραγωγή βιοαερίου ήταν πάνω από 75% της θεωρητικά μέγιστης. Λόγω των ενθαρρυντικών αποτελεσμάτων, η μελέτη για τις προαναφερόμενες δύο τεχνολογίες συνεχίζεται σε επί μέρους πιλοτικές διατάξεις ημι-βιομηχανικής κλίμακας.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Διεργασίες μεμβρανών χρησιμοποιούνται ήδη στη γαλακτοβιομηχανία και αντιπροσωπεύουν ένα πεδίο αυξανόμενου ενδιαφέροντος<sup>[1]</sup>. Οι τρέχουσες εφαρμογές αποσκοπούν κυρίως σε βελτίωση ποιότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων με χρήση μεμβρανών μικροδιήθησης MF<sup>[2]</sup>, στην επεξεργασία του ορού γάλακτος<sup>[3]</sup> και της λακτόζης<sup>[4]</sup> και τον διαχωρισμό γαλακτικού οξέος<sup>[5]</sup> με μεμβράνες νανοδιήθησης. Στο πλαίσιο της μελέτης για ανάκτηση ανακυκλώσιμων συστατικών θα αξιολογηθεί η αποδοτικότητα διαφορετικών διεργασιών μεμβρανών (NF, UF, MF).

Για την επίτευξη του δεύτερου στόχου (αξιοποίηση των λυμάτων και παραπροϊόντων) επιλέχθηκε καινοτόμο σύστημα αναερόβιου και αερόβιου βιοαντιδραστήρα (MBR) μεμβρανών. Η αναερόβια χώνευση είναι μια πολύπλοκη βιολογική διαδικασία, η οποία λαβαίνει χώρα σε στάδια με αξιοποίηση διαφόρων ειδών μικροοργανισμών, που διασπούν οργανικές ενώσεις των αποβλήτων, απουσία οξυγόνου. Οι περισσότερες διεργασίες αναερόβιας χώνευσης λειτουργούν στη μεσοφιλική (mesophilic) περιοχή θερμοκρασιών (30 έως 35 °C), και ορισμένες στην θερμοφιλική (50-60 °C) περιοχή. Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται κυρίως σε τρία στάδια:

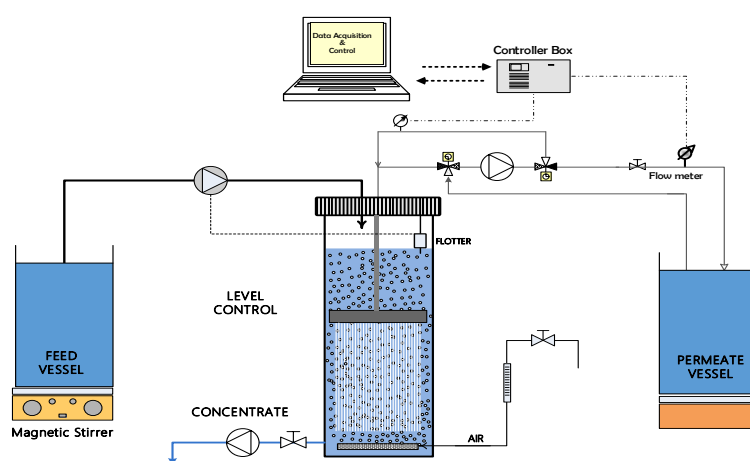
1. Υδρόλυση, κατά την οποία η οργανική σωματιδιακή ύλη και τα βιοπολυμερή υδρολύονται σε απλά μονομερή, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται κατά το επόμενο στάδιο.
  2. Οξεογένεση, κατά την οποία χρησιμοποιούνται βακτήρια οξεογένεσης (acidogenic class of bacteria) για τον μετασχηματισμό των απλών μονομερών σε πτητικά λιπαρά οξέα (volatile fatty acids, VFA), όπως είναι το οξικό, το προπιονικό και το βουτυρικό οξύ, σε CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>.
  3. Μεθανογένεση, η οποία πραγματοποιείται από μια ομάδα μικροοργανισμών, τα βακτήρια μεθανογένεσης (methanogens). Οι εξειδικευμένοι αυτοί μικροοργανισμοί παράγουν μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) μέσω δύο μεταβολικών οδών, ανάλογα με το είδος τους, την διάσπαση των οξικών ριζών σε CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub> και την παραγωγή CH<sub>4</sub> από CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>, το οποίο λειτουργεί ως δότης ηλεκτρονίων.
- Οι βιοχημικές αυτές διεργασίες υλοποιούνται σε ειδικό σύστημα MBR περιγραφόμενο παρακάτω.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### Ανάκτηση πολύτιμων συστατικών για ανακύκλωση στην παραγωγική διαδικασία

Οι προκαταρκτικές δοκιμές, για την επιλογή του κατάλληλου τύπου μεμβράνης, έγιναν σε πειραματική διάταξη κατά μέτωπο διήθησης (dead-end), και περιγράφονται αναλυτικά σε προηγούμενες εργασίες<sup>[6,7]</sup>. Συνοπτικά, οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε κελί SEPA-ST (Osmonics Inc., Minnetonka), εσωτερικής διαμέτρου 5 cm και ωφέλιμης επιφάνειας μεμβράνης 12,7 cm<sup>2</sup>. Το διαλυμα τροφοδοσίας (V=330 mL) ήταν σε συνεχή ανάδευση (250 rpm) και υπό σταθερή πίεση με χρήση φιάλης αζώτου υψηλής πίεσης. Το διήθημα οδηγείτο σε ποτήρι ζέσεως, τοποθετημένο πάνω σε ηλεκτρονικό ζυγό (Mettler Toledo), συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή, για τη συνεχή καταγραφή της μάζας του διηθήματος, συναρτήσει του χρόνου.

Ακολούθησαν εργαστηριακές δοκιμές με χρήση εμβαπτιζόμενων μεμβρανών υπερδιήθησης (sUF), που προκρίθηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Η πειραματική διάταξη (Σχήμα 1) αποτελείται από ένα κυλινδρικό κλειστό δοχείο 1,5 L, από plexiglas, μέσα στο οποίο είναι εμβαπτισμένο ένα στοιχείο μεμβρανών κοίλων ινών από πολυβινυλιδENO-φθορίδιο (PVDF), της εταιρείας Koch Puron®, με ονομαστικό μέγεθος πόρων 0,03 μm. Το στοιχείο μεμβρανών, με ενεργό επιφάνεια 0,15 m<sup>2</sup>, είναι συνδεδεμένο με την αναρρόφηση μιάς αντλίας θετικής εκτόπισης (QD200, Fluid Metering Inc.), ώστε να διηθείται το υγρό διαμέσου των πόρων της μεμβράνης και να οδηγείται στο δοχείο διηθήματος. Με δεδομένο ότι τα πειράματα έγιναν υπό σταθερή ανηγμένη ροή διηθήματος (flux= 10 L/m<sup>2</sup>h), η αύξηση της διαμεμβρανικής πίεσης αποτελεί ένα μέτρο της ρύπανσης της μεμβράνης.



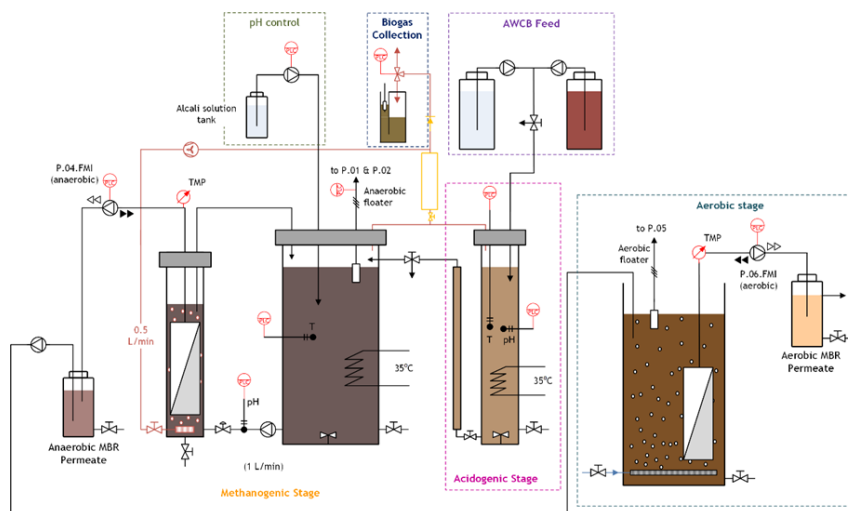
**Σχήμα 1.** Σχηματικό διάγραμμα πειραματικής διάταξης εμβαπτιζόμενων μεμβρανών υπερδιήθησης

Η διαμεμβρανική πίεση καταγράφεται μέσω αισθητηρίου πίεσης και προγράμματος ανάκτησης δεδομένων GeniDAQ (Advantech Co LTD). Καθαρισμός των μεμβρανών επιτυγχάνεται με περιοδική αντιστροφή της ροής για 1 min μετά από διήθηση 4 min, ή 9 min. Η λειτουργία της διάταξης είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και η καταγραφή δεδομένων πραγματοποιείται με συχνότητα 30 sec.

### Ολοκληρωμένη αξιοποίηση λυμάτων και παραπροϊόντων

Για τη μελέτη της αξιοποίησης των γαλακτοκομικών αποβλήτων, χρησιμοποιήθηκε αναερόβιος εργαστηριακός βιοαδραστήρας δύο σταδίων (Σχήμα 2), αποτελούμενος από δύο κυλινδρικά δοχεία plexiglas για την οξεογένεση (όγκου 3L) και τη μεθανογένεση (όγκου 9L). Οι μεμβράνες της εταιρείας Koch Membrane Systems, είναι από υδροφιλομένο πολυβινυλιδενοφθορίδιο (PVDF), έχουν μέγεθος των πόρων 0,04 μm και ενεργό επιφάνεια 0,021 m<sup>2</sup>.

Το διήθημα του αναερόβιου βιοαντιδραστήρα οδηγείται στη συνέχεια σε αερόβιο αντιδραστήρα μεμβρανών (MBR). Στη δεξαμενή του MBR, ωφέλιμου όγκου 10L, είναι εμβαπτισμένο ένα στοιχείο μεμβρανών κοίλων ινών επιφάνειας 0,021 m<sup>2</sup>, όμοιο με εκείνο του αναερόβιου βιοαντιδραστήρα. Η πειραματική διάταξη επιτρέπει τη λειτουργία με συνεχή και σταθερή ροή, και προγραμματισμένη περιοδική αντιστροφή ροής διηθήματος διαμέσου των μεμβρανών για την πλύση των στοιχείων.



**Σχήμα 2.** Σχηματική απεικόνιση της εργαστηριακής διάταξης Αναερόβιου/Αερόβιου Βιοαντιδραστήρα

Προκειμένου να διερευνηθούν οι εποχιακές μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας στη γαλακτοβιομηχανία, πραγματοποιήθηκαν τέσσερις (4) σειρές πειραμάτων (Φάσεις I – IV) με διαφορετική τροφοδοσία. Στη φάση I χρησιμοποιήθηκε συνθετικό διάλυμα λακτόζης με ιδιαίτερα υψηλό οργανικό φορτίο, ενώ ακολούθησαν άλλες τρεις φάσεις λειτουργίας της εργαστηριακής διάταξης με απορρέυματα της γαλακτοβιομηχανίας. Τα χαρακτηριστικά τροφοδοσίας της διάταξης κατά την διάρκεια των διαφορετικών φάσεων συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

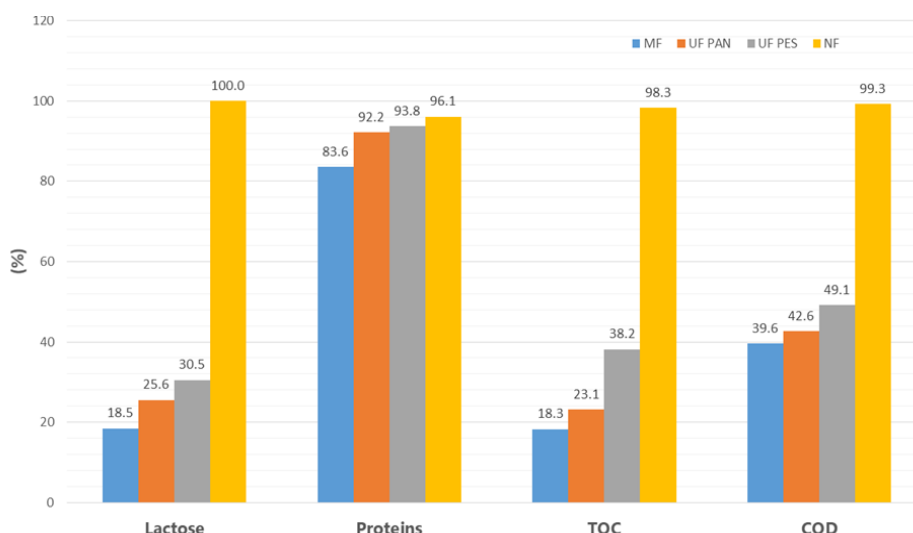
**Πίνακας 1.** Χαρακτηριστικά πειραματικών μετρήσεων

#	Σύσταση	TOC (g/L)	Ρυθμός (L/day)
Φάση I	Συνθετικό διάλυμα λακτόζης	14.3	1.5
Φάση II	Απόρρευμα I	1.9	2.5
Φάση III	Απόρρευμα II	2.6	4.0
Φάση IV	Απόρρευμα III	4.5	2.5

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

#### Ανάκτηση πολύτιμων συστατικών για ανακύκλωση στην παραγωγική διαδικασία

Για τη μελέτη αυτή, διεξήχθησαν αρχικά προκαταρκτικές δοκιμές κατά μέτωπο διήθησης υπό σταθερή πίεση χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικούς τύπους μεμβρανών. Η διαμεμβρανική πίεση (transmembrane pressure, TMP) ήταν στην περιοχή α) 0,5-10 psi για τις δοκιμές μικροδιήθησης, β) 10-50 psi για τις δοκιμές υπερδιήθησης και γ) 30-100 psi για τις δοκιμές νανοδιήθησης. Για κάθε τύπο μεμβράνης πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μετρήσεις σε διαφορετικές TMP για να εξεταστεί η επίδραση της εφαρμοζόμενης πίεσης στο ποσοστό απόρριψης των κύριων συστατικών. Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται η % απόρριψη λακτόζης, πρωτεϊνών, ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) και χημικά



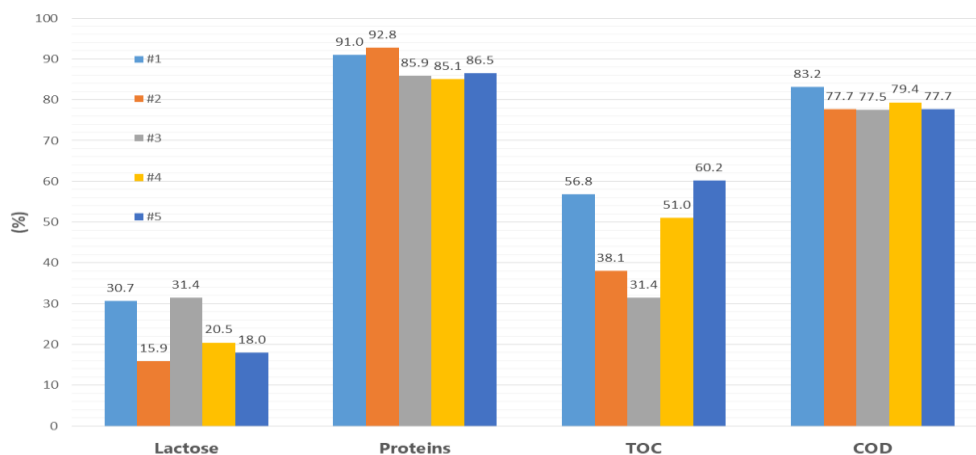
**Σχήμα 3.** % Συγκράτηση συστατικών εκπλύματος γιαουρτιού σε μετρήσεις κατά μέτωπο διήθησης.

απαιτούμενου οξυγόνου (COD) κατά τη διήθηση εκπλύματος γιαουρτιού (flushing yogurt) για την πίεση των 30 psi (με εξαίρεση τις μετρήσεις MF). Η ποσοστιαία απόρριψη των συστατικών του γιαουρτιού είναι παρόμοια με εκείνη που παρατηρήθηκε κατά την διήθηση εκπλύματος γάλακτος (flushing milk). Ειδικότερα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, η μεμβράνη μικροδιήθησης παρουσιάζει σχετικά χαμηλή απόρριψη των πολύτιμων συστατικών (18,5% για την λακτόζη), ενώ η μεμβράνη νανοδιήθησης συγκρατεί πλήρως όλες τις οργανικές ενώσεις (~100% για την λακτόζη). Οι μεμβράνες υπερδιήθησης, χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα υψηλή απόρριψη (> 92%) πρωτεϊνών και λιπιδίων και μερική συγκράτηση της λακτόζης (30,5%). Από τις μετρήσεις αυτές και λαμβάνοντας υπόψιν την πίεση λειτουργίας και αντίστοιχες ενεργειακές δαπάνες των διεργασιών, οι μεμβράνες υπερδιήθησης εμφανίζονται ως η πιο ενδεδειγμένη επιλογή για ανάκτηση πολύτιμων συστατικών από τα προαναφερόμενα ρεύματα.

Ακολουθούν τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με εμβαπτιζόμενες μεμβράνες υπερδιήθησης. Στο Πίνακα 2 συνοψίζονται οι συνθήκες πέντε ειδών πειραμάτων και στο Σχήμα 4, απεικονίζεται η ποσοστιαία απόρριψη των κύριων συστατικών κατά την διήθηση εκπλύματος γιαουρτιού. Η απόρριψη πρωτεϊνών είναι της τάξης 90%, ενώ η απόρριψη της λακτόζης είναι περίπου 30%. Αυτές οι τιμές είναι υψηλότερες από εκείνες των πειραμάτων διήθησης με τροφοδοσία εκπλύματος γάλακτος πιθανότατα λόγω της προσθήκης καλλιέργειας στην περίπτωση του γιαουρτιού, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό μικκυλίων και συσσωματωμάτων με σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος. Γι' αυτό το λόγο και καταγράφονται μεγαλύτερα ποσοστά απόρριψης από τη μεμβράνη UF. Η ίδια τάση παρατηρείται επίσης στην απόρριψη του ολικού οργανικού άνθρακα TOC και του COD. Επιπλέον, καταγράφηκαν αυξημένοι βαθμοί συμπύκνωσης (έως 8), γεγονός ενθαρρυντικό για την απ' ευθείας χρήση του συμπυκνώματος στην παραγωγική διαδικασία. Τέλος, παρατηρείται ότι η επίδραση της συχνότητα αντίστροφης της πλύσης στην απόρριψη των συστατικών είναι αμελητέα.

**Πίνακας 2:** Λειτουργικές παράμετροι δοκιμών διήθησης με εμβαπτιζόμενες μεμβράνες UF.

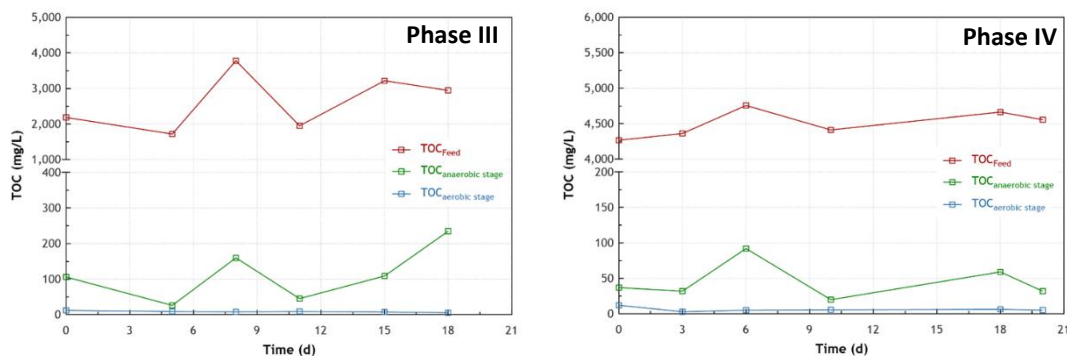
A/A	COD τροφοδοσίας, mg/L	Λόγος αντίστροφης πλύσης	Ρυθμός διήθησης (mL/min)	Βαθμός συμπύκνωσης
1	20.300	4:1	15	2
2	19.050	4:1	15	4
3	18.800	4:1	15	8
4	17.450	9:1	20	4
5	16250	9:1	20	8



**Σχήμα 4** Απόρριψη % συστατικών εκπλύματος γιαουρτιού με εμβαπτισμένες μεμβράνες

#### Ολοκληρωμένη αξιοποίηση λυμάτων και παραπροϊόντων για παραγωγή ενέργειας

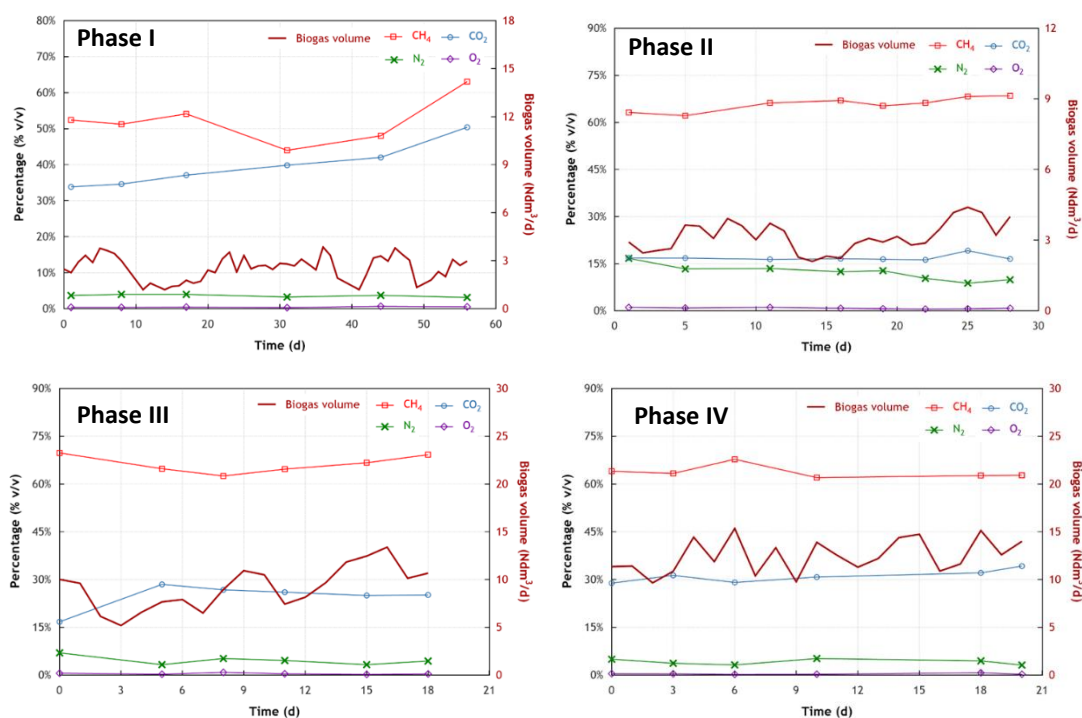
Η απομάκρυνση οργανικού φορτίου από τη μονάδα αναερόβιου/αερόβιου MBR κατά την επεξεργασία συνθετικού διαλύματος λακτόζης δεν ήταν τόσο αποτελεσματική (~94%), γεγονός που αποδίδεται στην μειωμένη παρουσία αζώτου. Τα αποτελέσματα όμως των πειραμάτων με χρήση πραγματικών δειγμάτων από τη γαλακτοβιομηχανία (φάσεις II-IV) ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, με πολύ ικανοποιητική αποδοτικότητα της συνδυασμένης αναερόβιας-αερόβιας επεξεργασίας (Σχήμα 5). Ειδικότερα, η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου στο αναερόβιο στάδιο των φάσεων II-IV κυμάνθηκε μεταξύ 96-99%, ενώ στον αερόβιο MBR ήταν περίπου 80-87%. Έτσι, το συνολικό ποσοστό απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου της εργαστηριακής μονάδας ήταν 99.4-99.9%. Επομένως, το μέσο οργανικό φορτίο (TOC) του τελικού διηθήματος ήταν μεταξύ των 6,2 έως 12,0 mg/L, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για ανακύκλωση μέσα στην γαλακτοβιομηχανία.



**Σχήμα 5.** Απομάκρυνση οργανικού φορτίου με την διάταξη αναερόβιου/αερόβιου βιοαντιδραστήρα

Η συνολική απόδοση της αναερόβιας/αερόβιας MBR πιλοτικής μονάδας εργαστηριακής κλίμακας παρουσιάζεται στο Σχήμα 6. Ο όγκος του παραγόμενου βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 2,1-4,4 Ndm<sup>3</sup>/d για τη Φάση II, 5,2 -13,4 Ndm<sup>3</sup>/d για τη Φάση III και 9,7-15,4 Ndm<sup>3</sup>/d κατά τη Φάση IV. Επιπλέον, ο μέσος ρυθμός παραγωγής βιοαερίου ήταν περίπου 3,2 Ndm<sup>3</sup>/d κατά τη διάρκεια της φάσης II, 9,2 Ndm<sup>3</sup>/d κατά τη φάση III και 12,5 Ndm<sup>3</sup>/d κατά τη φάση IV. Με βάση τη θεωρητική απόδοση παραγωγής μεθανίου ανά μονάδα απομακρυνόμενου οργανικού φορτίου (η οποία είναι 0,35 Ndm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/g COD), υπολογίστηκε η μέγιστη θεωρητικά ποσότητα μεθανίου. Έτσι ο λόγος μετρούμενης προς θεωρητικά ποσότητα μεθανίου ήταν 59% - 76% και η υψηλότερη τιμή αποδοτικότητας αντιστοιχεί στη φάση IV. Τέλος, σημειώνεται ότι εξίσου ικανοποιητική κρίνεται και η ποιότητα του παραγόμενου βιοαερίου με την περιεκτικότητα σε μεθάνιο να ξεπερνά το 65%.





**Σχήμα 6.** Ημερήσια παραγωγή βιοαερίου και ποσοστιαία σύστασή του παραγόμενου βιοαερίου

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την ανακύκλωση συστατικών στην παραγωγική διαδικασία, από αραιά απορρεύματα, μετά από συστηματική μελέτη επελέγησαν εμβαισιζόμενες μεμβράνες υπερδιήθησης (sUF) οι οποίες χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλή εκλεκτικότητα, χαμηλή τάση ρύπανσης, σταθερή απόδοση και σχετικά μικρή κατανάλωση ενέργειας. Για την αξιοποίηση απορρευμάτων με σημαντικό οργανικό φορτίο, προς παραγωγή βιοαερίου και ανακύκλωση νερού, εργαστηριακές δοκιμές με καινοτόμο σύστημα αναερόβιου/αερόβιου MBR απέδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, ως προς την αποδοτικότητα απομάκρυνσης οργανικής ύλης και το ρυθμό παραγωγής βιοαερίου. Επίσης το επεξεργασμένο απόρρευμα από τον MBR ήταν υψηλής ποιότητας με χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την επαναχρησιμοποίησή του. Η ποιότητα του παραγόμενου βιοαερίου με δείγματα από τη βιομηχανία θεωρείται ικανοποιητική (~ 65% μεθάνιο). Και τα είδη τεχνολογιών θα λειτουργήσουν επιδεικτικά και θα βελτιστοποιηθούν σε πιλοτική ημι-βιομηχανική κλίμακα.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Sustainable Processes and Optimized Technologies for Industrially Efficient Water Usage -[SpotView]», με χρηματοδότηση από την Ευρ. Ένωση - Πρόγραμμα Έρευνας και Καινοτομίας Horizon 2020 (κωδικός έργου: 723577).



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] S. Fakhreddin. Food Bioprod. Process. 92 (2014) 161-177.
- [2] D.M. Barbano, M.W. Elwell. J. Dairy Sci. 89 (2006) 10-30.
- [3] M. Rosenberg. Trends Food Sci. Technol. 61 (1995) 12-19.
- [4] E. Räsänen, M. Nystrom, J. Sahlstein, O. Tossavainen. Lait, 82 (2002), 343-356.
- [5] F. Lipnizki. Membrane Technology, Volume 3: Membranes for Food Applications Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2010).
- [6] D.C. Sioutopoulos, S.G. Yiantsios, A.J. Karabelas. J. Membr. Sci. 350(1-2) (2010) 62-82.
- [7] D.C. Sioutopoulos, A.J. Karabelas, S.G. Yiantsios. Desalination, 261(3) (2010) 272-283