

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΠΑΝΩΝ ΜΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΛΗΓΜΕΝΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΜΕΣΩ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ ΣΕ ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΥΟ ΣΤΑΔΙΩΝ

Κ. Τσίγκου¹, Δ. Ζάγκλης², Π. Τσαφρακίδου², Α. Παναγιωτούρος¹, Δ. Ζώντος¹, Δ. Σιονακίδης¹, Κ. Ζαφείρη², Μ. Κορνάρος^{1,*}

¹Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 26504, Ελλάδα

²Green Technologies Ltd, Έλληνας Στρατιώτου 5, Πάτρα, 26223, Ελλάδα

(*kornaros@chemenq.upatras.gr)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα αστικά απόβλητα αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% των συνολικών απορριμμάτων παγκοσμίως. Οι βρεφικές πάνες μιας χρήσης αποτελούν ένα σημαντικό προϊόν για την παγκόσμια αγορά, αντιπροσωπεύοντας το 2-15% των αστικών απορριμμάτων της Ευρώπης. Μια τυπική χρησιμοποιημένη πάνα μιας χρήσης εμπεριέχει πολυμερή και βιοδιασπάσιμα οργανικά υλικά, συγκεκριμένα κυτταρινούχες ίνες, ούρα ή/και κόπρανα. Οι χρησιμοποιημένες πάνες εξακολουθούν να διατίθενται στους ΧΥΤΑ, παρόλο που ρεύματα αυτού του είδους (με υψηλή περιεκτικότητα σε βιοαποικοδομήσιμα υλικά) ευθύνονται για εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια διεργασία αξιοποίησης τους, η οποία μελετήθηκε σε πιλοτική κλίμακα στοχεύοντας στην ανάκτηση ενέργειας μέσω παραγωγής βιοαερίου και στην ανακύκλωση των μη βιοαποικοδομήσιμων υλικών. Μέσω της προτεινόμενης διεργασίας οι χρησιμοποιημένες πάνες καταλήγουν ως τρία επιμέρους ρεύματα: ένα μίγμα πλαστικών, το επεξεργασμένο υπερ-απορροφητικό πολυμερές (SAP) και ένα υδρόλυμα, στο οποίο εμπεριέχεται το βιοαποικοδομήσιμο υλικό (κόπρανα, ούρα και κυτταρινούχες ίνες). Το ρεύμα του μίγματος πλαστικών και του επεξεργασμένου SAP που διαχωρίζονται και ανακτώνται μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές. Το υδρόλυμα αντίστοιχα μπορεί να επεξεργαστεί μέσω αναερόβιας συγχώνευσης με ένα μίγμα ακατάλληλων προς βρώση φρούτων/λαχανικών, σε ένα σύστημα δύο σταδίων υπό μεσόφιλες συνθήκες. Η αναερόβια λύς που προκύπτει από τη διεργασία μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω μέσω της διεργασίας της κομποστοποίησης, για παραγωγή εδαφοβελτιωτικού. Το σύνολο των διεργασιών είναι σχεδιασμένο για να υλοποιηθεί δίπλα σε ένα βρεφονηπιακό σταθμό, στοχεύοντας στην εκμετάλλευση του παραγόμενου βιοαερίου για τις ενεργειακές του ανάγκες. Μια μέση ποσότητα ενέργειας 46 MJ/d μπορεί να παραχθεί από την πιλοτική μονάδα αξιοποιώντας ημερησίως 18 βρεφικές πάνες και 36 kg φρούτων και λαχανικών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εκτιμάται ότι ποσότητα 20 δισεκατομμυρίων χρησιμοποιημένων πανών μιας χρήσης φτάνει στους ΧΥΤΑ ετησίως^[1], η οποία αντιστοιχεί σε 3.5 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων. Μια τυπική βρεφική πάνα αποτελείται από 4 επιμέρους στρώματα. Το πρώτο στρώμα, το οποίο έρχεται σε επαφή με το δέρμα κατασκευάζεται συνήθως από πολυπροπυλένιο (PP) και είναι υπεύθυνο για τη γρήγορη μεταφορά υγρασίας στο δεύτερο στρώμα, το οποίο συμβάλλει στη διάχυση της υγρασίας στο τρίτο στρώμα (απορροφητικός πυρήνας)^[2]. Ένα μίγμα κυτταρινούχων ινών και υπεραπορροφητικού πολυμερούς (SAP) αποτελεί το τρίτο στρώμα. Το SAP είναι ένα υγροσκοπικό υλικό, υπεύθυνο για την απορροφητικότητα της πάνας, το οποίο μπορεί να συγκρατήσει ποσότητα υγρού έως και 100% της μάζας του^[3]. Όσον αφορά το τελευταίο στρώμα, το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του είναι συνήθως πολυαιθυλένιο (PE) με ένα μικρό ποσοστό κόλλας, ταινιών Velcro και βαφών. Η τυπική σύσταση μιας καθαρής βρεφικής πάνας αποτελείται από: 21% PP, 33% κυτταρινούχες ίνες, 24% SAP, 13% ελαστικά μέρη, 5% PE, 3% κόλλα/ταινίες και 1% άλλα υλικά^[2]. Παρά το γεγονός ύπαρξης σημαντικού ποσοστού οργανικού υλικού, το συγκεκριμένο είδος

αποβλήτου εξακολουθεί να διατίθεται για αποτέφρωση ή υγειονομική ταφή. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η αναερόβια χώνευση παρουσιάζεται ως μια υποσχόμενη διεργασία για τη διαχείριση των χρησιμοποιημένων βρεφικών πανών^[4]. Το συγκεκριμένο υπόστρωμα εμφανίζει υψηλό οργανικό φορτίο λόγω του περιεχομένου του, και καθίσταται ιδανικό για τη συγκεκριμένη διεργασία. Βασική προϋπόθεση για την επεξεργασία των πανών αποτελεί η προεπεξεργασία τους για απομάκρυνση του SAP, το οποίο δεν επεξεργάζεται βιολογικά^[5] ενώ διογκώνεται μειώνοντας τον λειτουργικό όγκο του αντιδραστήρα.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αξιοποίηση του συγκεκριμένου ρεύματος αποβλήτων, παρουσία μίγματος ακατάλληλων προς βρώση φρούτων και λαχανικών μέσω της αναερόβιας συγχώνευσης. Κατά το στάδιο προεπεξεργασίας των χρησιμοποιημένων βρεφικών πανών, προκύπτει υδρόλυμα στο οποίο εμπεριέχονται οι βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις. Το υδρόλυμα αυτό επεξεργάστηκε μέσω αναερόβιας συγχώνευσης με μίγμα φρούτων/λαχανικών ακατάλληλων προς βρώση, σε μεσόφιλους αντιδραστήρες δύο σταδίων πιλοτικής κλίμακας. Η μελέτη συνέβαλε στην σύγκριση των αποτελεσμάτων της πιλοτικής κλίμακας με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εργαστηριακής κλίμακας. Επιπροσθέτως, τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν για την τεχνοοικονομική αξιολόγηση και την ανάλυση του κύκλου ζωής της διεργασίας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Πρώτες ύλες

Οι βρεφικές πάνες που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία, προμηθεύτηκαν από βρεφονηπιακό σταθμό της Πάτρας (Αχαΐα). Για τον διαχωρισμό τους σε τρία ρεύματα (πλαστικά, επεξεργασμένο SAP και υδρόλυμα) πέρασαν από μηχανή τεμαχισμού, εισήλθαν σε περιστρεφόμενο τύμπανο και επεξεργάστηκαν παρουσία νερού και μίγματος αλάτων. Από το περιστρεφόμενο τύμπανο διαχωρίστηκαν τα πλαστικά, ενώ το μίγμα κυτταρινούχων ινών, επεξεργασμένου SAP, ούρων, κοπράνων και νερού μεταφέρθηκε σε μια δεξαμενή καθίζησης για διαχωρισμό του επεξεργασμένου SAP μέσω ήπιας ανάδευσης και φίλτρου συγκράτησης.

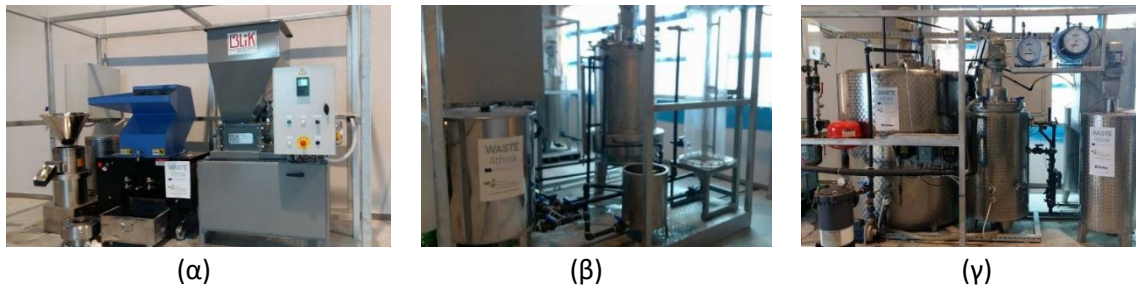
Τα ακατάλληλα προς βρώση φρούτα/λαχανικά συλλέχθηκαν από αλυσίδα σουπερμάρκετ της Πάτρας (Αχαΐα). Για την χρήση τους στο πιλοτικό σύστημα έπρεπε να προηγηθεί ο τεμαχισμός και η πολτοποίηση τους. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιούνταν ταυτόχρονα ομογενοποίηση της πρώτης ύλης, ενώ το μέγεθος σωματιδίων κυμαινόταν μεταξύ 0.075 και 0.15mm.

Φυσικοχημικές αναλύσεις

Οι αναλύσεις για το φυσικοχημικό χαρακτηρισμό των πρώτων υλών, των δειγμάτων τροφοδοσίας και περιεχομένου των δυο αντιδραστήρων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους του *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*^[6] ενώ η σύσταση και η ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου προσδιορίστηκε με αναλυτή BIOGAS 5000 (Geotech) και μετρητές ροής TG 0.5 και TG 5 (Ritter) αντίστοιχα. On-line μετρήσεις και ρύθμιση pH (στο 1^ο στάδιο της διεργασίας) πραγματοποιούνταν με ρυθμιστή pH SC200 και ηλεκτρόδια LZ027 (Hach).

Πιλοτική διάταξη

Η πιλοτική διάταξη ήταν κατανεμημένη σε 3 ατσάλινες βάσεις. Συγκεκριμένα στην 1^η βάση (**Σχήμα 1α**) βρίσκονταν οι μηχανές τεμαχισμού και πολτοποίησης. Η δεύτερη βάση (**Σχήμα 1β**) αφορά τη διάταξη διαχωρισμού των συστατικών των πανών, δηλαδή το περιστρεφόμενο τύμπανο, μια δεξαμενή συλλογής, τη δεξαμενή καθίζησης και το δοχείο με το φίλτρο συγκράτησης του SAP. Η 3^η βάση (**Σχήμα 1γ**) αφορά τη διεργασία της αναερόβιας συγχώνευσης. Δύο δεξαμενές τροφοδοσίας συνολικού όγκου 400L βρίσκονταν πάνω στη βάση, η τροφοδοσία αναδευόταν συνεχώς και μεταφερόταν με χρήση αντλίας στον πρώτο αντιδραστήρα, ο οποίος είχε συνολικό και ωφέλιμο όγκο 200 L και 180 L αντίστοιχα, και σε αυτόν πραγματοποιούνταν τα πρώτα 3 στάδια της αναερόβιας χώνευσης (υδρόλυση, οξεογένεση και οξικονόγνεση).

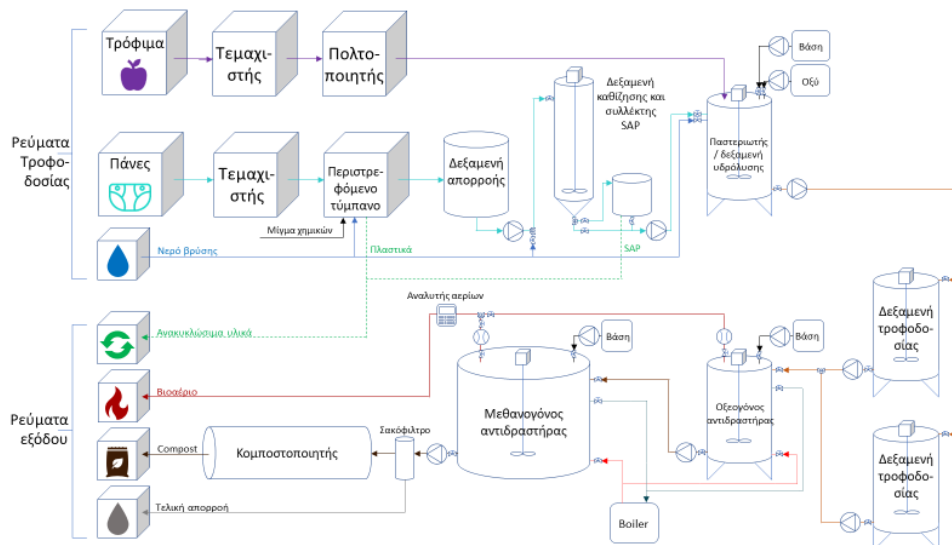


Σχήμα 1. Οι τρεις ατσάλινες βάσεις και ο εξοπλισμός της πιλοτικής διάταξης: (α) τεμαχισμός και πολτοποίηση, (β) προεπεξεργασία και (γ) αναερόβια χώνευση.

Το περιεχόμενο του πρώτου αντιδραστήρα μεταφερόταν στη συνέχεια σε δεύτερο αντιδραστήρα συνολικού και ωφέλιμου όγκου 2 m³ και 1.8 m³ αντίστοιχα, όπου πραγματοποιούνταν το στάδιο της μεθανογένεσης. Και οι δυο αντιδραστήρες ήταν τύπου CSTR, συνδεδεμένοι σε σειρά, με δυνατότητα συνεχούς ανάδευσης και θέρμανσης (μεσόφιλες συνθήκες, 37 °C). Ο ρυθμιστής pH SC200 ήταν υπεύθυνος για ρύθμιση του pH του πρώτου αντιδραστήρα στο 5.5, με χρήση διαλύματος NaOH-KOH 2N, και καταγραφής του pH του δεύτερου αντιδραστήρα. Η απορροή του μεθανογόνου αντιδραστήρα μεταφερόταν σε σύστημα αφυδάτωσης της παραγόμενης λύσος (σακόφιλτρο) για μετέπειτα επεξεργασία των στερεών αυτής μέσω της διεργασίας της κομποστοποίησης. Το σύνολο των διεργασιών φαίνεται αναλυτικά στο **Σχήμα 2**.

Εκκίνηση λειτουργίας των αναερόβιων αντιδραστήρων της πιλοτικής μονάδας

Για το διβάθμιο πιλοτικό σύστημα αναερόβιας χώνευσης της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε ως εμβόλιο αναερόβια λύς από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στην Μεταμόρφωση Αττικής. Όσον αφορά τον οξεογόνο αντιδραστήρα, η λύς που εισήχθη σε αυτόν είχε πρώτα υποστεί βρασμό για 20', προς αδρανοποίηση των μικροοργανισμών που καταναλώνουν H₂^[7]. Η αναλογία λύος/υποστρώματος κατά την εκκίνηση λειτουργίας ήταν 15/85 v/v. Όσον αφορά τον μεθανογόνο αντιδραστήρα, αυτός πληρώθηκε με αναερόβια λύ και το σύνολο του συστήματος αφέθηκε υπό σταθερές συνθήκες θέρμανσης και ανάδευσης για διάρκεια 48 ωρών προκειμένου να ενεργοποιηθεί η βιομάζα. Έπειτα ξεκίνησε η συνεχής λειτουργία του συστήματος τροφοδοτούμενο με μίγμα ακατάλληλων προς βρώση φρούτων/λαχανικών και υδρόλυματος χρησιμοποιημένων πανών (2:3 v/v).



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής της πιλοτικής μονάδας

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός υποστρωμάτων

Τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών χαρακτηρισμών των επιμέρους αποβλήτων αλλά και του μίγματος παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**. Όπως φαίνεται, τα ακατάλληλα προς βρώση φρούτα και λαχανικά χαρακτηρίζονται από όξινο pH και υψηλή συγκέντρωση στερεών, το 90.5% των οποίων είναι πτητικά^[8]. Το οργανικό φορτίο του συγκεκριμένου υποστρώματος είναι υψηλό (103.77 g/L), με τους υδατάνθρακες να φτάνουν σχεδόν τα 65 g/L, το 73% των οποίων είναι σάκχαρα.

Όσον αφορά το υδρόλυμα, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του κυμαίνονται σε χαμηλότερες τιμές, λόγω της μεγάλης ποσότητας νερού που απαιτείται για την παρασκευή του. Το pH χαρακτηρίζεται ουδέτερο προς βασικό, λόγω της ύπαρξης NH₃ από τα ούρα που εμπεριέχονται^[9]. Οι υδατάνθρακες στο υπόστρωμα αυτό είναι κυρίως κυτταρίνη και ημικυτταρίνες που προέρχονται από τις κυτταρινούχες ίνες, και συνεπώς δεν είναι διαλυτά σάκχαρα. Το COD δεν αντιστοιχεί αποκλειστικά στις κυτταρινούχες ίνες, λόγω των κοπράνων που εμπεριέχονται στο υδρόλυμα.

Το μίγμα αντίστοιχα με αναλογία 2:3 v/v χαρακτηρίζεται από όξινο pH, ενώ τα χαρακτηριστικά του είναι ενδιάμεσα στο εύρος τιμών των 2 υποστρωμάτων. Συγκεκριμένα οι υδατάνθρακες είναι κατά 90% διαλυτοί, ενώ μόλις το 43% των ολικών στερεών είναι αιωρούμενα.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός των επιμέρους υποστρωμάτων και του μίγματος αυτών

Παράμετροι	Μίγμα φρούτων/λαχανικών	Υδρόλυμα	Μίγμα φρούτων/λαχανικών:υδρόλυμα 2:3 v/v
pH	3.48±0.30	7.73±0.04	4.67±0.18
Ολικοί υδατάνθρακες (g/L)*	64.53±7.46	1.37±0.13	25.40±2.15
Διαλυτοί υδατάνθρακες (g/L)*	46.93±1.41	0.24±0.01	23.04±3.39
Ολικό COD (g/L)	103.77±22.08	5.87±1.26	48.11±3.67
Διαλυτό COD (g/L)	72.39±4.71	1.51±0.22	23.97±0.49
Ολικός Φωσφόρος (g/L)	0.34±0.03	0.02±0.00	0.12±0.00
TKN (g/L)	1.54±0.13	0.26±0.02	0.75±0.06
TS (g/L)	111.55±3.99	8.07±0.97	32.83±3.07
VS (g/L)	101.03±3.72	4.99±0.98	29.30±2.80
TSS (g/L)	39.83±5.97	4.45±0.18	14.20±0.71
VSS (g/L)	39.00±4.58	4.30±0.32	13.93±0.63

*ισοδύναμα g γλυκόζης

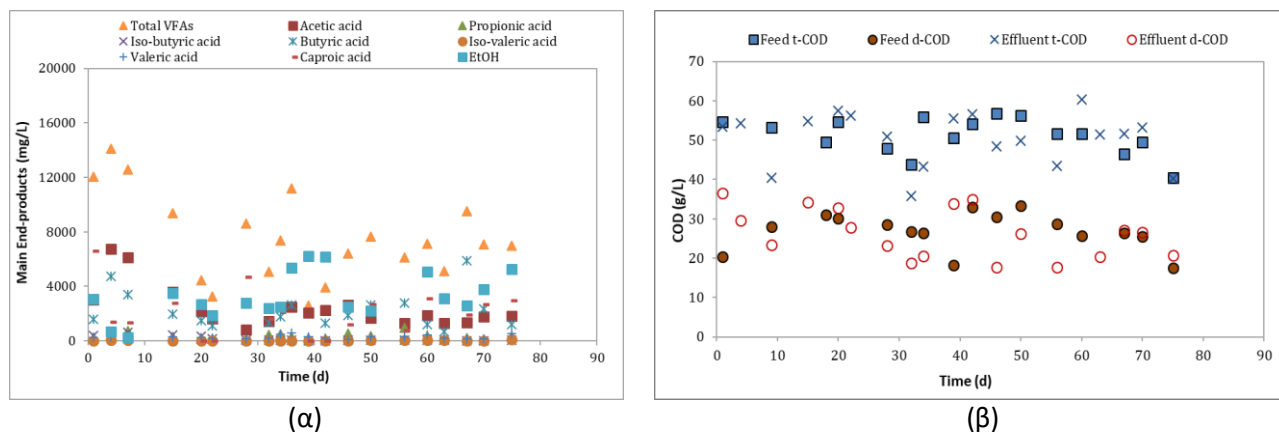
Λειτουργία πιλοτικής μονάδας

Το διβάθμιο σύστημα αντιδραστήρων λειτούργησε για 77 ημέρες, τροφοδοτούμενο με μίγμα φρούτων/λαχανικών και υδρολύματος σε αναλογία 2:3 v/v. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) που επιλέχθηκε για τον οξεογόνο αντιδραστήρα ήταν 2 ημέρες, ενώ για τον μεθανογόνο οι 20 ημέρες, σύμφωνα με μελέτη που είχε προηγηθεί σε εργαστηριακή κλίμακα.

Οξεογόνος αντιδραστήρας

Όσον αφορά τη λειτουργία του οξεογόνου αντιδραστήρα με σταθερό pH 5.5, το σύνολο των πτητικών λιπαρών οξέων (ΠΛΟ) έφτασε τις πρώτες 10 ημέρες λειτουργίας τα 12-14 g/L, ενώ για το υπόλοιπο διάστημα η συγκέντρωση ΠΛΟ έφτασε τα 7±1.3 g/L. Για τις ημέρες που τα ΠΛΟ φαίνονται να ακολουθούν πτωτική πορεία (**Σχήμα 3α**), η αιθανόλη εμφανίζει αύξηση (και αντιστρόφως) υποδεικνύοντας τα διαφορετικά μεταβολικά μονοπάτια που ακολουθούνται κατά την παραγωγή H₂. Τα κύρια ΠΛΟ που ανιχνεύθηκαν κατά τη λειτουργία του συστήματος, τα οποία ήταν ίδια με τα πειράματα εργαστηριακής κλίμακας, ήταν τα: οξικό, βουτυρικό και καπροϊκό, μαζί με αιθανόλη.

Όσον αφορά τις τιμές COD (**Σχήμα 3β**), δεν παρατηρείται μείωση στην έξοδο σε σύγκριση με τα δείγματα τροφοδοσίας, καθώς δεν απομακρύνεται άνθρακας με τη μορφή CH₄ σε αυτό το στάδιο.

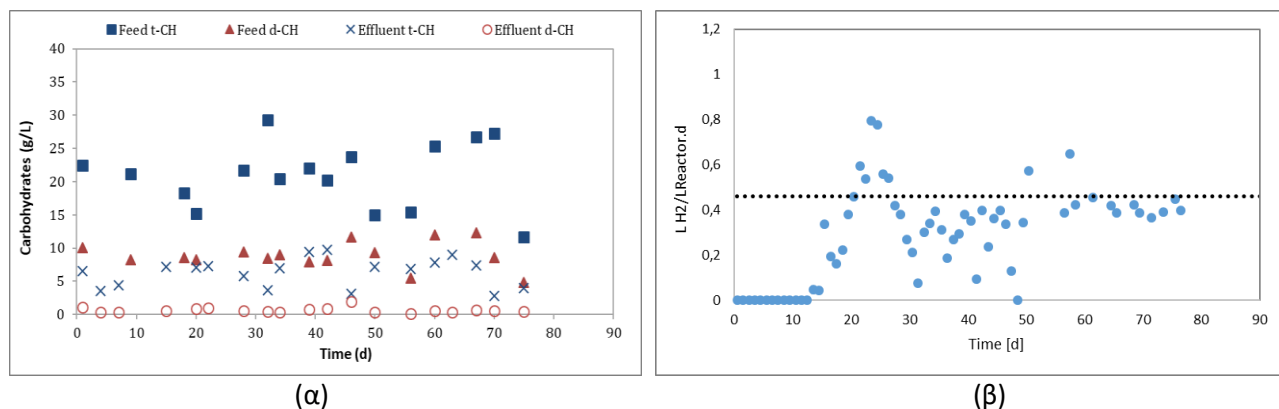


(α)

(β)

Σχήμα 3. Διαγράμματα (α) παραγωγής μεταβολικών προϊόντων της αναερόβιας χώνευσης, και (β) εισόδου και εξόδου του ολικού και του διαλυτού COD κατά τη διάρκεια λειτουργίας του οξεογόνου αντιδραστήρα.

Επίσης το διαλυτό COD της απορροής δεν παρουσιάζει αύξηση σε σύγκριση με αυτό της τροφοδοσίας (δείγμα υδρόλυσης του υποστρώματος^[10]). Αντίστοιχη σταθερότητα στη είσοδο και έξοδο του οξεογόνου αντιδραστήρα εμφανίζουν τα ολικά αιωρούμενα στερεά, υποδεικνύοντας ότι ο ΥΧΠ δεν επαρκεί για πλήρη υδρόλυση του συγκεκριμένου υποστρώματος.



(α)

(β)

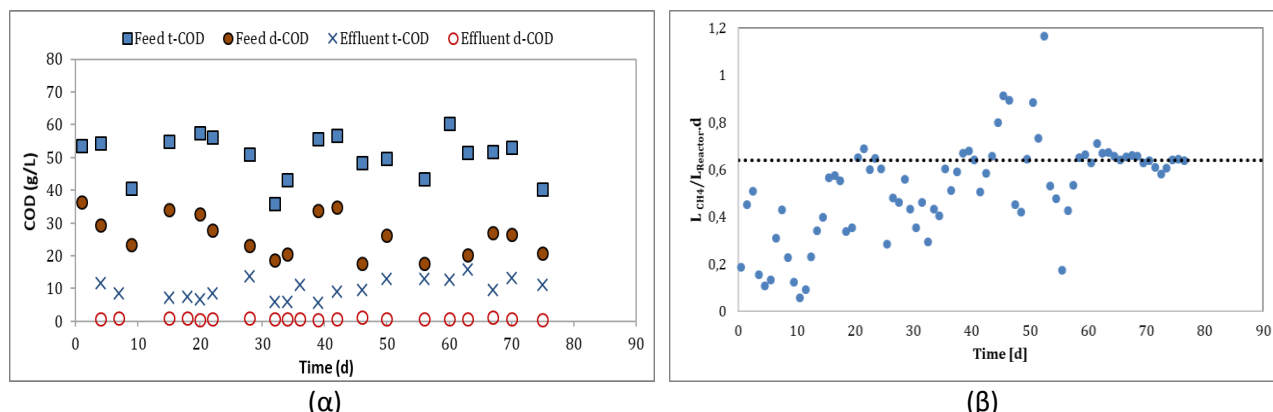
Σχήμα 4. Διαγράμματα (α) εισόδου και εξόδου των ολικών και διαλυτών υδατανθράκων, και (β) παραγωγής H_2 κατά τη διάρκεια λειτουργίας του οξεογόνου αντιδραστήρα.

Σχετικά με την κατανάλωση των υδατανθράκων (**Σχήμα 4α**), αυτή έφτασε το 70.5% στη μόνιμη κατάσταση, ενώ τα διαλυτά σάκχαρα καταναλώθηκαν πλήρως. Η παραγωγή H_2 (**Σχήμα 4β**), είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κατανάλωση υδατανθράκων και επηρεάζεται δραματικά από τα μεταβολικά μονοπάτια που ακολουθούν οι μικροοργανισμοί κατά την αναερόβια ζύμωση. Τις πρώτες 11 ημέρες λειτουργίας, παρά την κατανάλωση υδατανθράκων, δεν παρατηρήθηκε παραγωγή H_2 στο σύστημα. Υδρογόνο άρχισε να παράγεται μετά το πέρας των 11 ημερών, φτάνοντας κατά μέσο όρο το 30.3% του βιοαερίου του οξεογόνου αντιδραστήρα. Η διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή των πειραμάτων εργαστηριακής κλίμακας.

Μεθανογόνος αντιδραστήρας

Σχετικά με τη λειτουργία του μεθανογόνου αντιδραστήρα, οι συγκεντρώσεις των ΠΛΟ ανιχνεύθηκαν σε τιμές κάτω των 300 mg/L, υποδεικνύοντας σταθερή λειτουργία, ενώ η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών έφτασε το 38-40% σε μόνιμη κατάσταση. Όσον αφορά την απομάκρυνση COD, το σύνολο των οργανικών ενώσεων στον μεθανογόνο αντιδραστήρα μειώθηκε κατά 74.5%, φτάνοντας τα 12.7 ± 1.9 g COD/L στην έξοδο όπως φαίνεται στο **Σχήμα 5α**. Οι υδατάνθρακες αντίστοιχα μειώθηκαν συνολικά κατά 93.7%, καθώς μετρήθηκαν σε συγκεντρώσεις της τάξεως του 1.6 g/L στην απορροή. Η περιεκτικότητα του βιοαερίου που παρήχθη από τον

μεθανογόνο αντιδραστήρα σε μεθάνιο κυμάνθηκε στα $62.8 \pm 2.1\%$. Η παραγωγικότητα αυτή αντιστοιχεί σε 0.63 ± 0.06 LCH_4/L αντιδραστήρα ανά ημέρα (**Σχήμα 5β**), τιμή που ταυτίζεται με την αντίστοιχη μελέτη σε εργαστηριακή κλίμακα (διακεκομμένη μαύρη γραμμή).



Σχήμα 5. Διαγράμματα (α) εισόδου και εξόδου του ολικού και του διαλυτού COD, και (β) παραγωγής CH_4 κατά τη διάρκεια λειτουργίας του μεθανογόνου αντιδραστήρα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λειτουργία της πιλοτικής μονάδας χρησιμοποιώντας ως υπόστρωμα μίγμα φρούτων/λαχανικών και υδρόλυμα χρησιμοποιημένων πανών έδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα συγκρινόμενα με την αντίστοιχη εργαστηριακή μελέτη. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας καταναλώθηκαν 2.33 τόνοι φρούτων/λαχανικών και 249 κιλά βρεφικών πανών παράγοντας $3.72 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2$ και $77.68 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4$. Η ενέργεια από τη χρήση του βιοαερίου αντιστοιχεί σε 46 MJ ανά ημέρα, ποσότητα που καλύπτει μέρος των ενεργειακών αναγκών (πχ ζεστό νερό) ενός βρεφονηπιακού σταθμού.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Waste4Think-Moving Towards Life Cycle Thinking By Integrating Advanced Waste Management Systems», και χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος καινοτομίας και έρευνας HORIZON 2020.

WASTE 4think.eu



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Mendoza J.M.F., Azapagic A., Journal of Cleaner Production. 210 (2019) 916-928
- [2] EDANA: Sustainability Report 2015. EDANA, ISBN 2-930159-73-1, D/2011/5705/1.
- [3] Zohuriaan-Mehr M.J., Kabiri K. Iranian Polymer Journal. 17(2008) 451-477.
- [4] Torrijos M., Sousbie P., Rouez M., Lemunier M., Lessard Y., Galtier L., Simao A., Steyer J.P. Waste Manage. 34 (2014) 669-675.
- [5] Campos E., Almirall M., Mtnes-Almela L., Palatsi J., Flotats X. Bioresource Technology 99 (2008), 387-395.
- [6] American Public Health Association (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd edition (2012)
- [7] Ren N. Q., Guo W. Q., Wang X. J., Xiang W. S., Liu B. F., Wang X. Z., Ding J. Chen, Z. B. International Journal of Hydrogen Energy 33 (2008) 4318-4324.
- [8] Edwiges T., Frare L., Mayer B., Lins L., Triolo J. M., Flotats X., de Mendonça Costa M. S. S. Waste Management 71 (2018) 618-625.
- [9] Kirchmann H., Pettersson S. Fert. Res. 40 (1994) 149-154.
- [10] Liu H., Han P., Liu H., Zhou G., Fu B., Zheng Z. Bioresource Technology 260 (2018) 105-114.