



Τεχνολογικό  
Πανεπιστήμιο  
Κύπρου

Σχολή Γεωτεχνικών  
Επιστημών και  
Διαχείρισης  
Περιβάλλοντος

**Πτυχιακή εργασία**

**ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΕ  
ΒΙΟΜΕΘΑΝΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΙΛΥΟΣ ΚΑΙ  
ΣΙΔΗΡΟΥ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΣΘΕΝΟΥΣ**

**Νικόλαος Λύτρας**

**Λεμεσός, Μάιος 2019**



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πτυχιακή εργασία

**ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΕ  
ΒΙΟΜΕΘΑΝΙΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΙΛΥΟΣ ΚΑΙ  
ΣΙΔΗΡΟΥ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΣΘΕΝΟΥΣ**

του

Νικολάου Λύτρα

Επιβλέπων Καθηγητής  
Δρ. Ιωάννης Βυρίδης

Λεμεσός, Μάιος 2019

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright ©Νικόλαος Λύτρας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Περιβάλλοντος του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή Δρ. Ιωάννη Βυρίδη για την πολύτιμη αλλά και για τη συνεχή καθοδήγηση και γνώση που μου παρείχε. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω ιδιαίτερα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, με το να μου αναθέσει πειράματα μεγάλης σημασίας και με το να μου επιτρέπει να εργάζομαι σχεδόν αυτόνομα εντός του εργαστηρίου. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Διδακτορική φοιτήτρια Ανδρονίκου Μαρία που έλυne την κάθε μου απορία και με καθοδηγούσε καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους εργαζόμενους εντός του εργαστηρίου για την βοήθεια τους και ιδιαίτερα τον διδακτορικό φοιτητή Χάρη Σαμανίδη που με βοήθησε απειροελάχιστες φορές και που απαντούσε σε κάθε μου κάλεσμα χωρίς παράπονο. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που μου στάθηκε σε όλα μου τα προβλήματα και ευχαριστώ και δοξάζω καθημερινά Τον Θεό που τους έχει κοντά μου και που με βοηθάει καθ' όλη την διάρκεια της ζωής μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσης μελέτης ήταν ο καθαρισμός και η αναβάθμιση του βιοαερίου προς παραγωγή καθαρού βιομεθανίου, κάνοντας χρήση σκόνης μεταλλικού σιδήρου μηδενικού σθένους (Zero Valent Iron - ZVI) και αναερόβιας κοκκώδους ιλύος (Granular Sludge - GS), και έχοντας το διοξείδιο του άνθρακα, ως μόνη πηγή άνθρακα. Η αναερόβια χώνεψη αποτελεί από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους στον τομέα της περιβαλλοντικής βιοτεχνολογίας. Πρόκειται για μια βιολογική διεργασία τεσσάρων βασικών σταδίων, μέσα στα οποία οι διάφορες μικροβιακές ομάδες συνεργάζονται μεταξύ του, με αποτέλεσμα να επιτευχθεί η παραγωγή του βιοαερίου. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο μείγμα που αποτελείται κυρίως από  $\text{CH}_4$  και  $\text{CO}_2$  και σε μικρότερα ποσοστά από  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  κ.α.. Από τα αέρια αυτά το μόνο που έχει ενεργειακή αξία είναι το  $\text{CH}_4$  και συνεπώς είναι επιθυμητή η μετατροπή του βιοαερίου σε όσο το δυνατό μεγαλύτερα ποσοστά καθαρού μεθανίου. Στην συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκαν 2 κύριες πειραματικές μέθοδοι οι οποίες χωρίζονταν από 2 μέρη η κάθε μία. Η πρώτη μέθοδος αφορούσε την μελέτη των μεταβολικών οδών και η δεύτερη την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν διάφορες συγκεντρώσεις ZVI και GS. Για βιομέσο ακολουθήθηκε το πρωτόκολλο της αναερόβιας χώνεψης και έγινε χρήση Angelidaki media με επιπλέον προσθήκη 20g/L Sodium Bicarbonate για να υπάρχει ισχυρό buffer του pH. Τέλος οι καλλιέργειες ρυθμίστηκαν σε ένα εύρος pH 6.5-7.5 και τοποθετήθηκαν σε ελεγχόμενες συνθήκες με θερμοκρασία 33.3 °C και ανάδευση 100 rpm. Το πρώτο πείραμα εμφάνισε αρχικά, αρκετά προβλήματα κυρίως λόγω υψηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου και αζώτου. Αν και επαναλήφθηκε χωρίς να παρουσιαστούν ιδιαίτερα προβλήματα, δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν σημαντικά αποτελέσματα. Οι ακόλουθες πειραματικές διαδικασίες αφορούσαν εξολοκλήρου την αναβάθμιση εργαστηριακά παραγόμενου βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Στο πρώτο μέρος των πειραμάτων αυτών έγινε έλεγχος της βέλτιστης συγκέντρωσης σιδήρου για την καλύτερη μετατροπή του βιοαερίου και βρέθηκε πως η συγκέντρωση με την καλύτερη μετατροπή ήταν τα 75g/L ZVI. Στην συνέχεια έγινε έλεγχος μετατροπής εργαστηριακά παραγόμενου βιοαερίου, από απόβλητα καφέ. Το βιοαέριο που παραγόταν από τον βιοαντιδραστήρα είχε μέγιστη συγκέντρωση μεθανίου 46.1%. Το αέριο αυτό εισαγόταν σε αντιδραστήρες που περιείχαν 75g/L ZVI και γινόταν έλεγχος της μετατροπής. Οι αντιδραστήρες χρειάστηκαν ένα διάστημα 13 περίπου ημερών μέχρι να καταναλώσουν το

υδρογόνο από τον σίδηρο και να οδηγήσουν στην παραγωγή μεθανίου. Αφού έγινε πλήρης κατανάλωση του υδρογόνου, οι αντιδραστήρες παρουσίαζαν μέγιστη μετατροπή από την 2<sup>η</sup> κιόλας μέρα μετά την εισαγωγή του βιοαερίου από τον βιοαντοδραστήρα, χωρίς να μεταβάλλεται ιδιαίτερα το pH. Τα επίπεδα μετατροπής ήταν της τάξεως του 94-96% CH<sub>4</sub>. Τέλος παρατηρήθηκε ότι με συστηματική ρύθμιση του pH η μετατροπή είναι πιο γρήγορη.

**Λέξεις κλειδιά:** Αναερόβια κοκκώδης ύλη, Μεταλλικός σίδηρος μηδενικού σθένους, βιοαέριο, βιομεθάνιο, Αναβάθμιση βιοαερίου

## **ABSTRACT**

The purpose of this study was to purify and upgrade the biogas to produce pure biomethane using (ZVI) and anaerobic granular sludge (GS), and having carbon dioxide as the sole carbon source. Anaerobic Digestion is one of the most widely used methods in the field of environmental biotechnology. It is a biological process of four basic stages, in which the various microbial groups cooperate with each other, resulting in the production of biogas. Biogas is a gaseous mixture consisting mainly of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> and at lower rates of N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S etc. From these gases only CH<sub>4</sub> is of energy value and it is therefore desirable to convert biogas to as much possible higher percentages of pure methane. In this study, two main experimental methods were carried out which were separated by 2 parts each. The first method concerned the study of metabolic pathways and the second the upgrading of biogas into biomethane. Various concentrations of ZVI and GS were used to perform the experiments. For biomass, the anaerobic digestion protocol was followed and Angelidaki media was used with an additional addition of 20g/L Sodium Bicarbonate to have a strong pH buffer. In the end the cultures were adjusted to a pH range of 6.5-7.5 and placed under controlled conditions at a temperature of 33.3 ° C and shaking at 100 rpm. The first experiment initially caused several problems mainly due to high concentrations of oxygen and nitrogen. Although it was repeated without any problems, it was not possible to find any significant results. The following experimental procedures related entirely to the upgrading of biogas to biomethane. In the first part of these experiments the optimal ZVI concentration was checked for better conversion of biogas and it was found that the concentration with the best conversion was 75 g/L ZVI. Laboratory-produced biogas conversion from coffee waste was then tested. Biogas produced by the bioreactor had a maximum methane concentration of 46.1%. This gas was introduced into reactors containing 75 g/L ZVI and conversion control was performed. The reactors took about 13 days to consume hydrogen from the iron and produce methane. After full hydrogen consumption, the reactors showed a maximum conversion from the 2nd day after the introduction of the biogas from the bioreactor, without changing the pH. Conversion levels were 94-96% CH<sub>4</sub>. Also, it was observed that with systemic pH adjustment the conversion is faster.

**Key words:** Anaerobic granular sludge, Zero valent iron, biogas, biomethane, Biogas upgrade