



Progress Report για την Αναερόβια Χώνευση Υδρολυμένων Υπολειμμάτων Τροφών

Βιδιάνος Γιαννίτσης

Θέμα

Το θέμα της διπλωματικής είναι η επεξεργασία υπολειμμάτων τροφών με αναερόβια χώνευση. Πριν την χώνευση γίνεται μία διεργασία υδρόλυσης με ένα εμπορικό σκεύασμα που περιέχει ένζυμα και μικροοργανισμούς (παρακάτω αναφέρεται ως "μιξ" χάριν ευκολίας) το οποίο διαλυτοποιεί την οργανική ύλη του FW αλλά ταυτόχρονα κάνει και μία οξεογενή ζύμωση, το οποίο είναι επιθυμητό καθώς κάνει την οργανική ύλη ποιο εύκολα προσβάσιμη προς τους μεθανογόνους.

Παράγοντες που επηρεάζουν την διεργασία I

Η διεργασία της ταυτόχρονης υδρόλυσης και ζύμωσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες.

- Ποσότητα Μιξ: Θέλουμε να δούμε πως επιδρά το μιξ αυτό στην διεργασία σε διαφορετικές ποσότητες
- Θερμοκρασία: Βασική λειτουργική παράμετρος κάθε μικροβιακού συστήματος. Υπήρξε δυνατότητα ρύθμισης της με θερμόλουτρο
- pH: Επίσης βασική παράμετρος για μικροβιακά συστήματα, αλλά δεν ρυθμίστηκε στην περίπτωση μας. Αφέθηκε στην αρχική τιμή των FW (4.2-4.3).

Παράγοντες που επηρεάζουν την διεργασία II

- Αερισμός: Σημαντική παράμετρος καθώς καθορίζει αν θα γίνουν αερόβιες ή αναερόβιες δράσεις. Δεν ρυθμίστηκε, με αποτέλεσμα να γίνεται κατά βάση αναερόβια δράση, με κομμάτια αερόβιας όταν ανοίγουμε το καπάκι των αντιδραστήρων
- Αραίωση: Εκφράζει πόση θα είναι η υγρή φάση. Αν το δείγμα είναι κυρίως ρευστό, θα έχει καλή ομοιογένεια. Από προπαρασκευαστικά πειράματα επιλέχθηκε σε αναλογία 1:3 (FW:Νερό).
- Ανάδευση: Απαραίτητη για να πετύχουμε ομοιογένεια. Όσο περισσότερα στερεά υπάρχουν, τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι. Επιλέχθηκε η τιμή 120 rpm για την παραπάνω αραίωση.

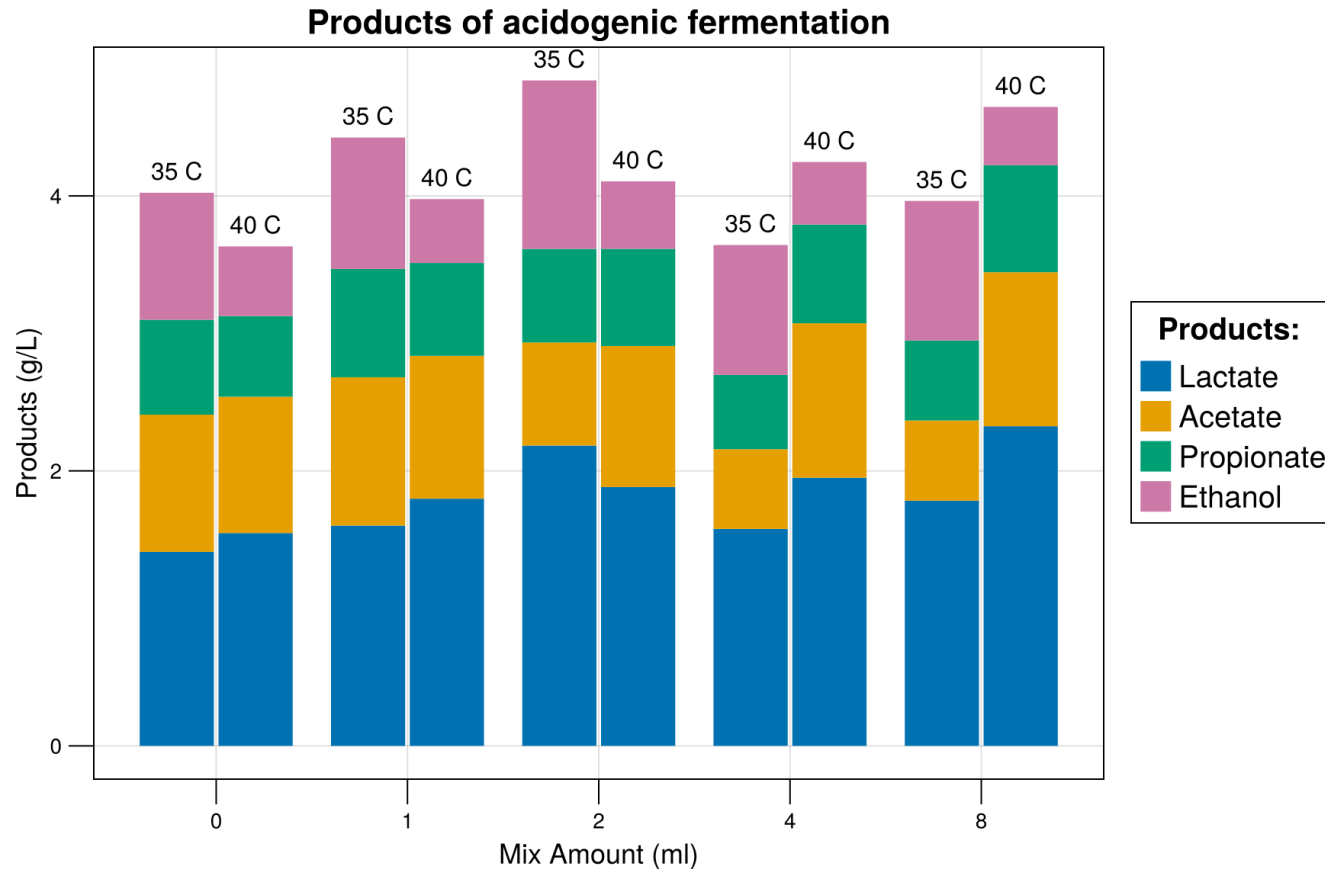
Επιλογή επιπέδων θερμοκρασίας

- Ο πειραματικός σχεδιασμός βασίστηκε στην μεταβολή της θερμοκρασίας και της ποσότητας του μιξ. Για την θερμοκρασία, δοκιμάστηκαν κατά βάση οι θερμοκρασίες 35 και 40 C.
- Έγινε και ένα προπαρασκευαστικό πείραμα στους 45 C, αλλά δεν έβγαλε πολύ καλά αποτελέσματα.
- Επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικές τιμές της μεσόφιλης περιοχής.

Επιλογή επιπέδων του μιξ

- Για το μιξ ενζύμων και μικροοργανισμών, επιλέχθηκαν οι τιμές 0, 1, 2, 4 και 8 ml.
- Το 0 χρησιμοποιείται ως blank για να δούμε τι αλλάζει με την προσθήκη του μιξ.
- Τα 1 και 2 είναι οι χαμηλές τιμές για να δούμε αν επαρκούν για να βελτιώσουν την χώνευση
- Τα 4 και 8 είναι οι υψηλές τιμές για να δούμε αν μετά από μία ποσότητα το πείραμα πιάνει πλατό.

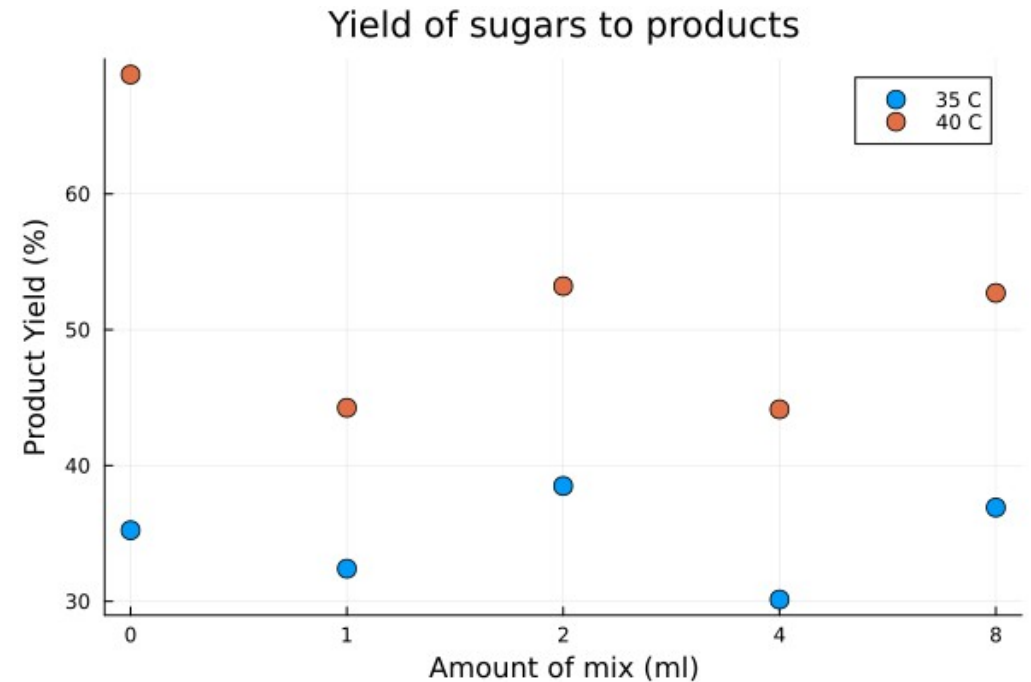
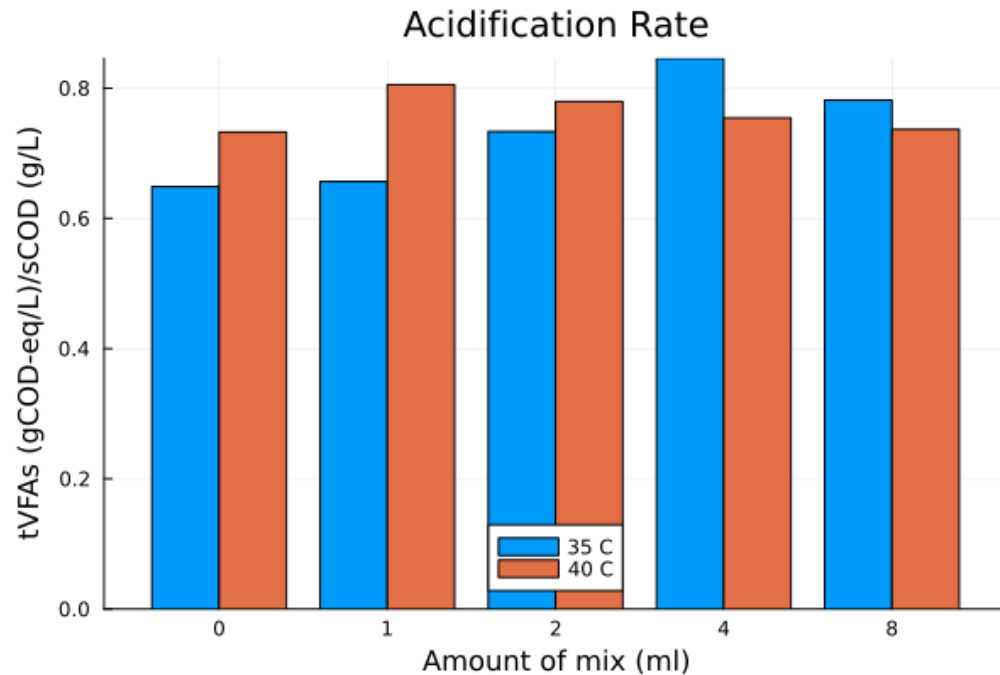
Αποτελέσματα από τα πειράματα υδρόλυσης I - Κατανομή Προϊόντων



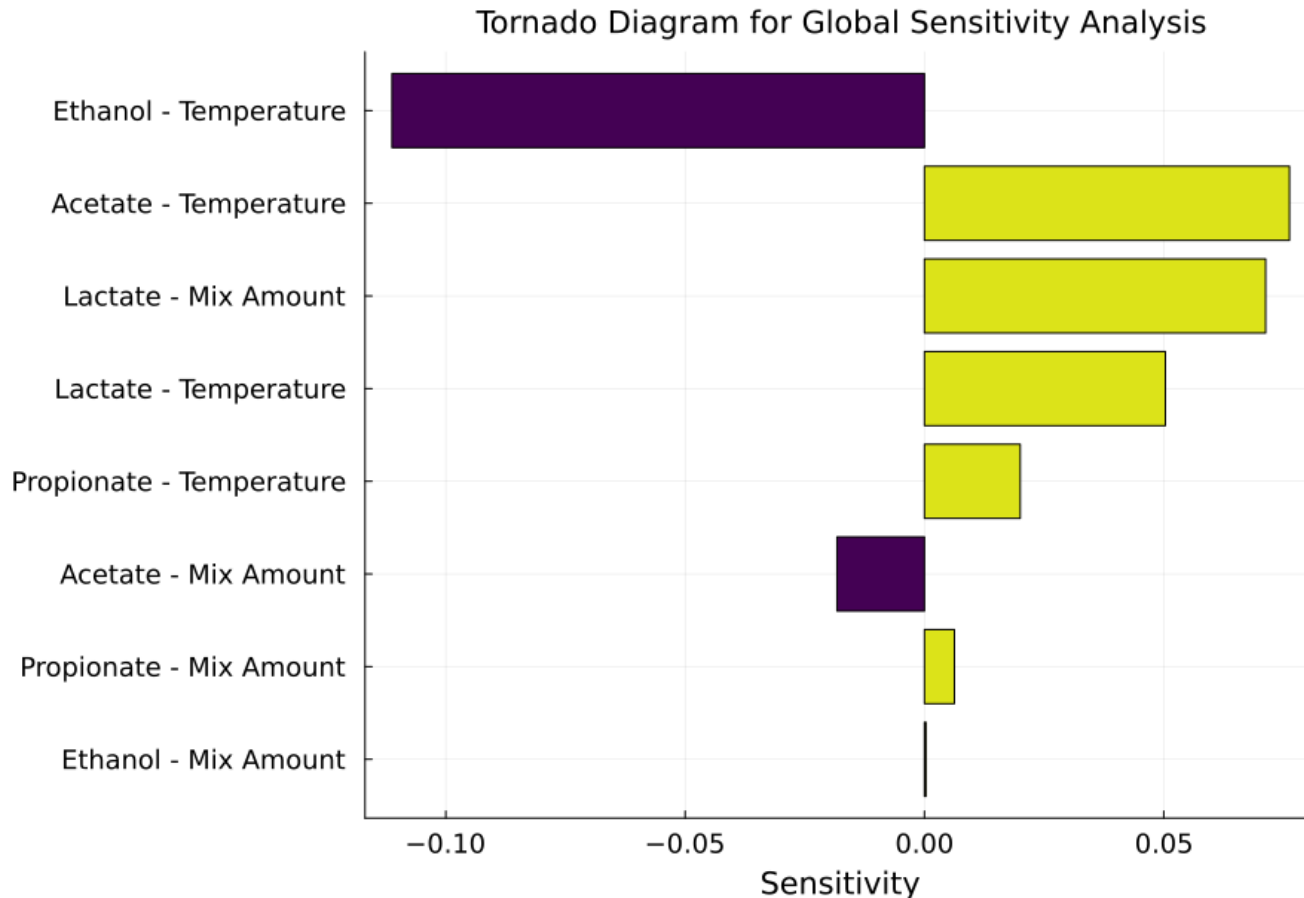
Ένα από τα βασικά κριτήρια για να κρίνουμε την διεργασία είναι τα παραγόμενα προϊόντα (είτε ως σύνολο ή ξεχωριστά για το κάθε προϊόν).

Αποτελέσματα από τα πειράματα υδρόλυσης I – Συγκεντρωτικά Κριτήρια

Πολύ συχνά, αντί να ασχοληθούμε όμως με την κατανομή των προϊόντων, κοιτάμε το σύνολο τους

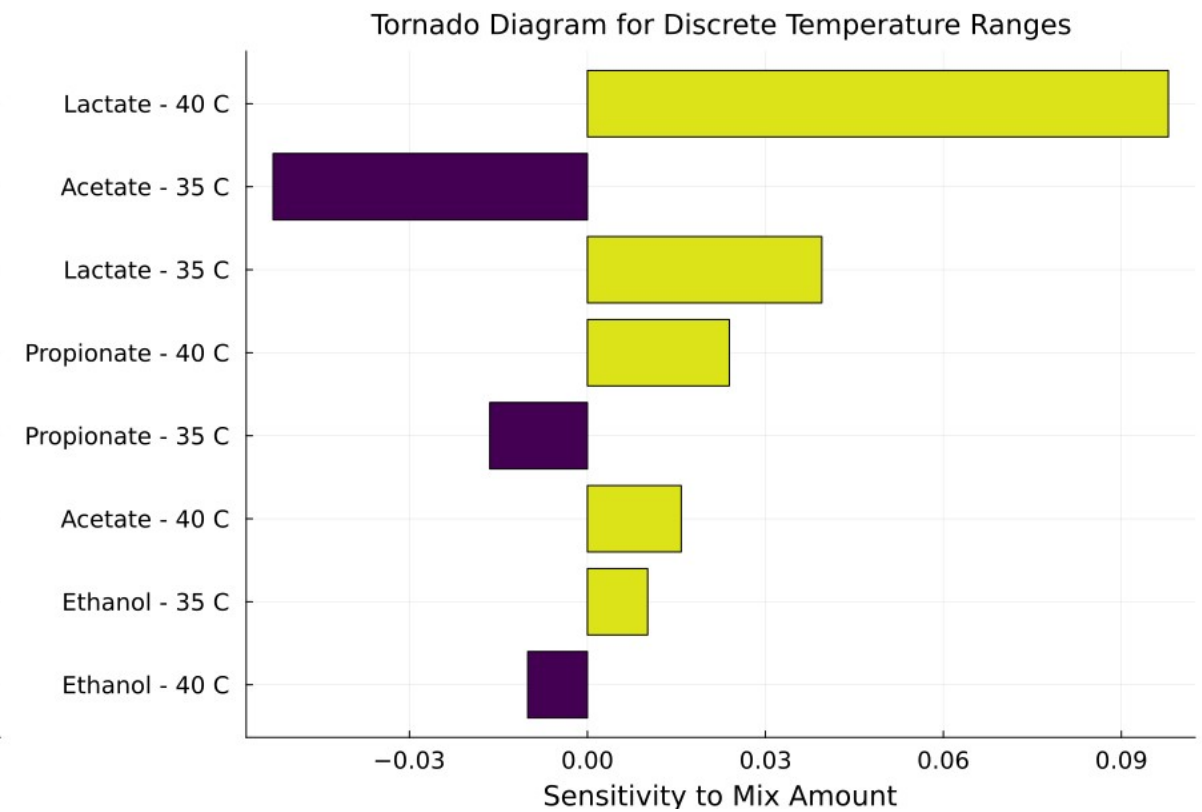
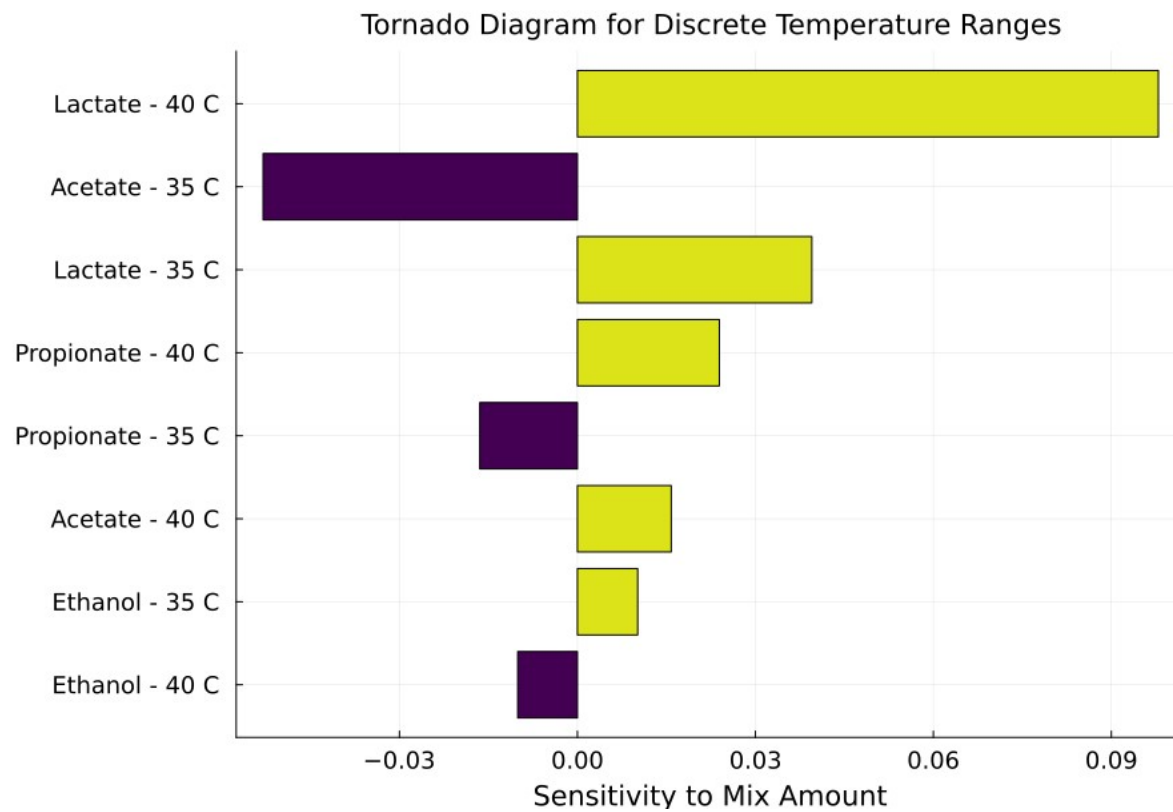


Αποτελέσματα από τα πειράματα υδρόλυσης III - Ανάλυση Ευαισθησίας



Από την ανάλυση ευαισθησίας βλέπουμε πως η αύξηση της θερμοκρασίας βοηθάει στην παραγωγή τριών από τα 4 προϊόντα, οπότε, αν δεν μας ενδιαφέρει πολύ η αιθανόλη, η υψηλή θερμοκρασία (40 C) είναι η πιο επιθυμητή.

Αποτελέσματα από τα πειράματα υδρόλυσης IV - Ανάλυση Ευαισθησίας

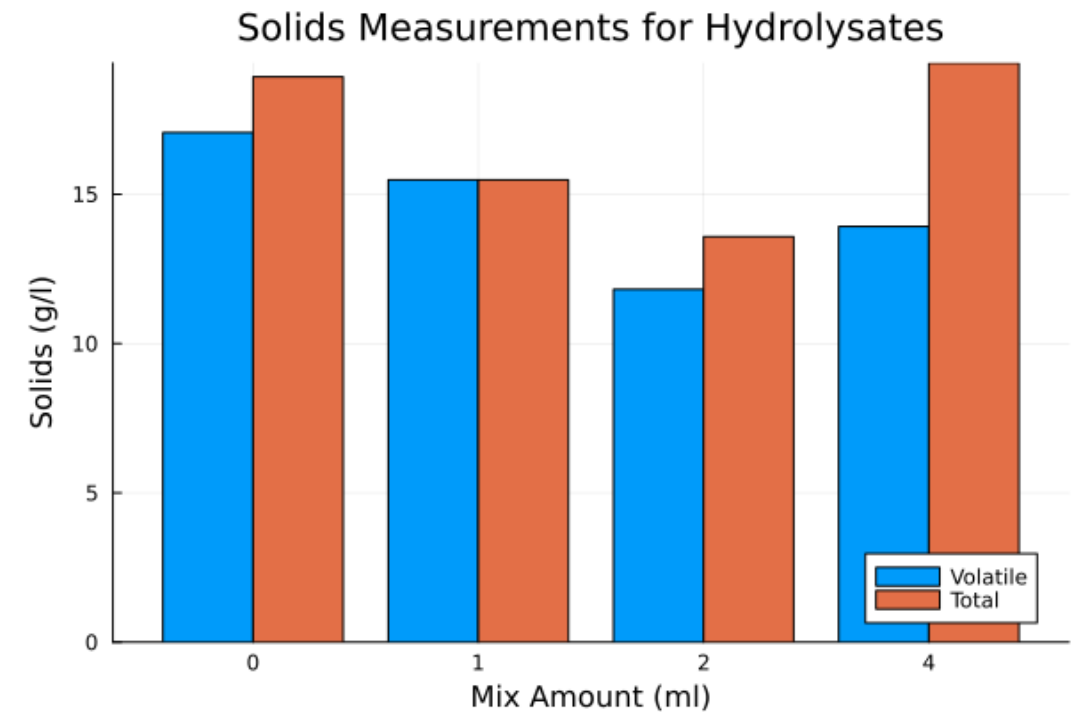
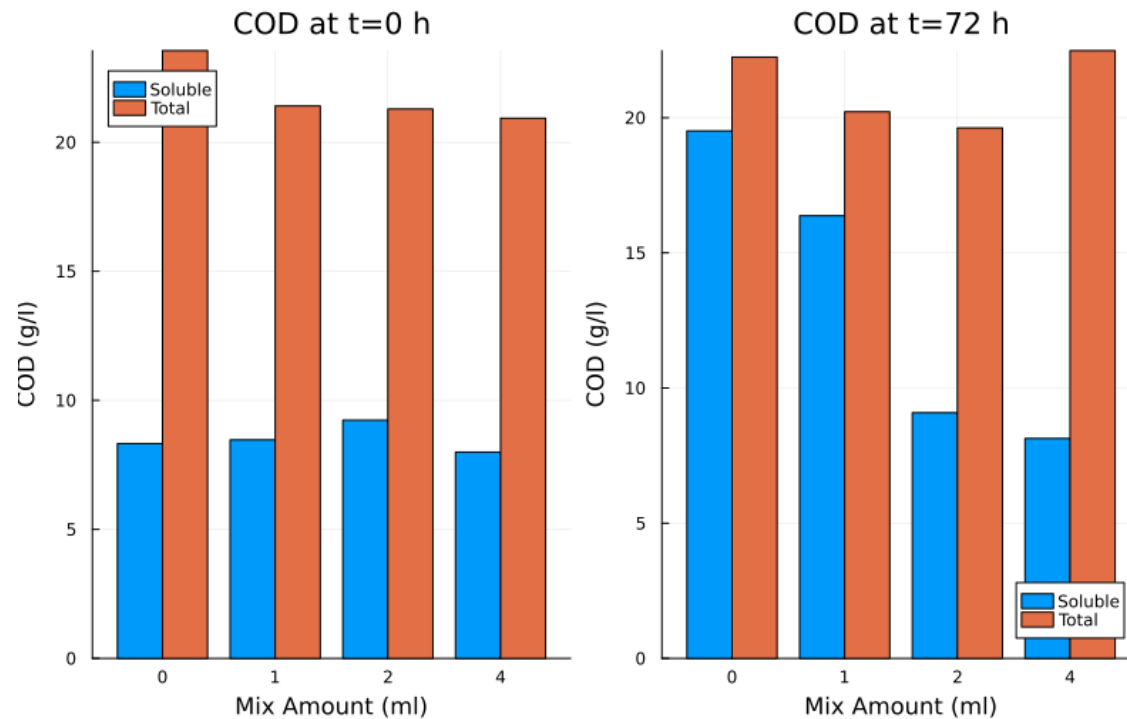


Συμπεράσματα

- Παρότι τα συμπεράσματα δεν είναι ξεκάθαρα (ανάλογα με τον τρόπο εξέτασης των αποτελεσμάτων βγαίνουν διαφορετικά συμπεράσματα), η γενική κατάληξη είναι πως η θερμοκρασία 40 είναι καλύτερη και ότι οι πολύ υψηλές ποσότητες μιξ είναι πολύ πιθανό να μην βοηθάνε την διεργασία. Οπότε για την χώνευση προετοιμάστηκε υπόστρωμα από υδρόλυση στους 40 με ποσότητες μιξ 0, 1, 2 και 4 ml.

Προετοιμασία υποστρώματος για χώνευση

- Για να τρέξουμε την αναερόβια χώνευση, προετοιμάσαμε καινούργια υδρολύματα και μετρήθηκαν TS, VS, sCOD και tCOD.



Αναερόβια Χώνευση - Πειραματική Διάταξη



Αναερόβια Χώνευση - Πειραματική Διαδικασία

- Στον πρώτο κύκλο πειραμάτων, προσθέσαμε 125 g λάσπης (1.55 g VS) και 315 g νερό με σκοπό μόλις προστεθεί το υδρόλυμα ο αντιδραστήρας να έχει πληρωθεί. Όλες οι τροφοδοσίες έγιναν με 100 mg sCOD-eq. Αρχικά, έγινε τροφοδοσία με οξικό, το οποίο ενεργοποιεί την λάσπη και μας δείχνει την μέγιστη δυνατή παραγωγή μεθανίου που μπορούμε να περιμένουμε από την λάσπη αυτή. Έπειτα, τροφοδοτήσαμε με τα υδρολύματα για να δούμε πόσο μεθάνιο θα παράγουν αυτά.

Χαρακτηριστικά λάσπης

Χαρακτηριστικό	Τιμή
TS (g/l)	46.28
VS (g/l)	12.36
VS/TS	0.267
pH	8.33
Αλκαλικότητα (mg CaCO ₃ /L)	12250

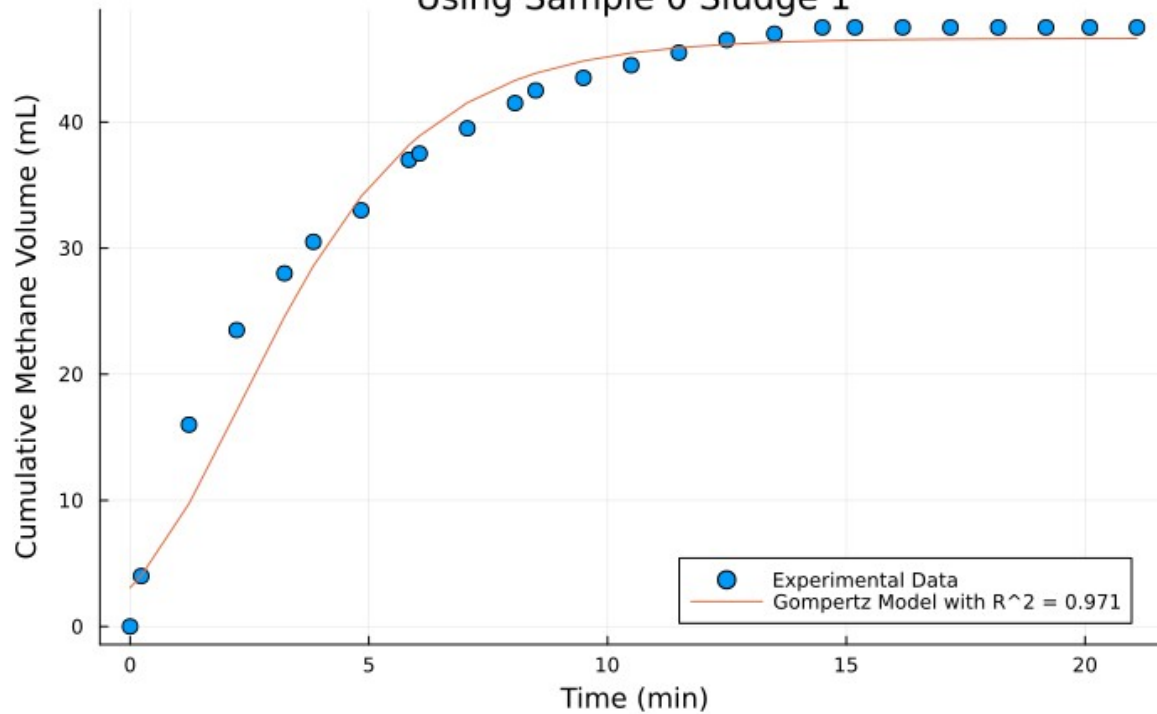
Μοντέλο Gompertz για κινητική ανάλυση

Καθώς έχουμε την δυνατότητα του 24ωρου monitoring της διεργασίας, μπορεί πολύ εύκολα να γίνει κινητική ανάλυση της χώνευσης. Ένα από τα καλύτερα μοντέλα για κινητική ανάλυση αναερόβιας χώνευσης στη βιβλιογραφία είναι το τροποποιημένο μοντέλο Gompertz. Η προσαρμογή στο μοντέλο μπορεί να γίνει είτε με τον όγκο μεθανίου ή διαιρώντας τον με κάποιο μέγεθος για σύγκριση με άλλες μελέτες. Συνήθως χρησιμοποιείται είτε όγκος μεθανίου ανά g VS λάσπης ή όγκος μεθανίου ανά g COD που καταναλώνεται.

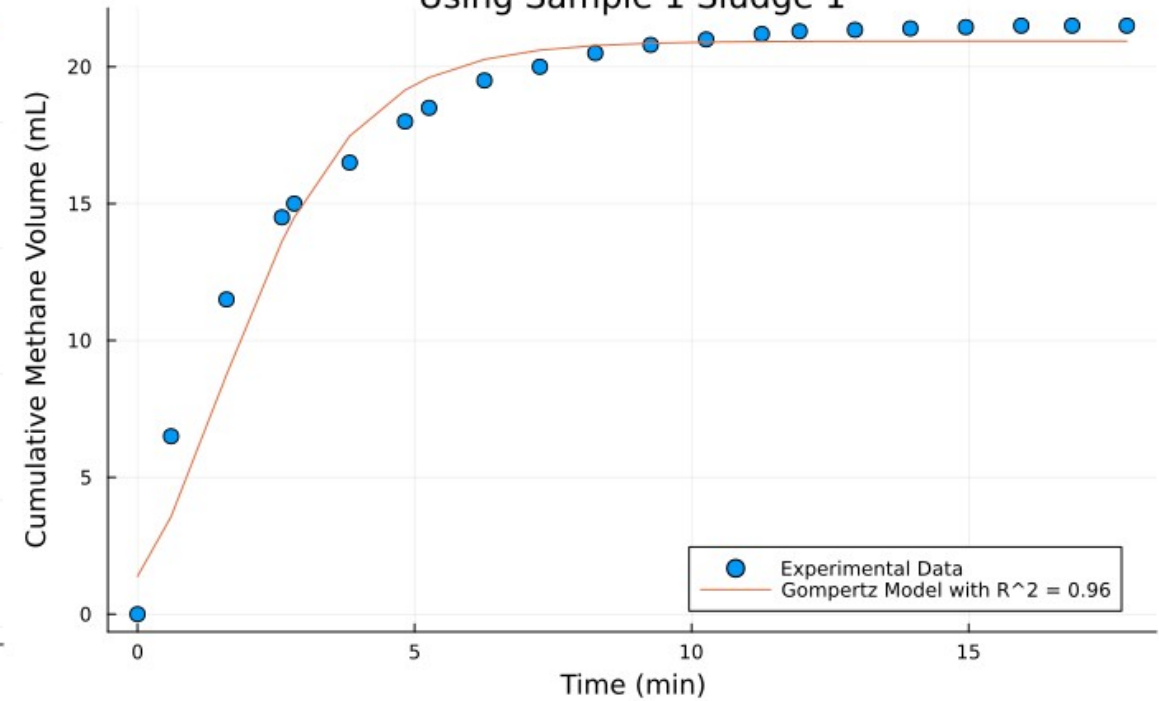
$$P(t) = P_{max} \exp \left(- \exp \left[\frac{R_{max} e^{(\lambda - t)}}{P_{max}} + 1 \right] \right)$$

Αποτελέσματα κύκλου με οξικό οξύ

Cumulative Methane Production from Acetate
Using Sample 0 Sludge 1

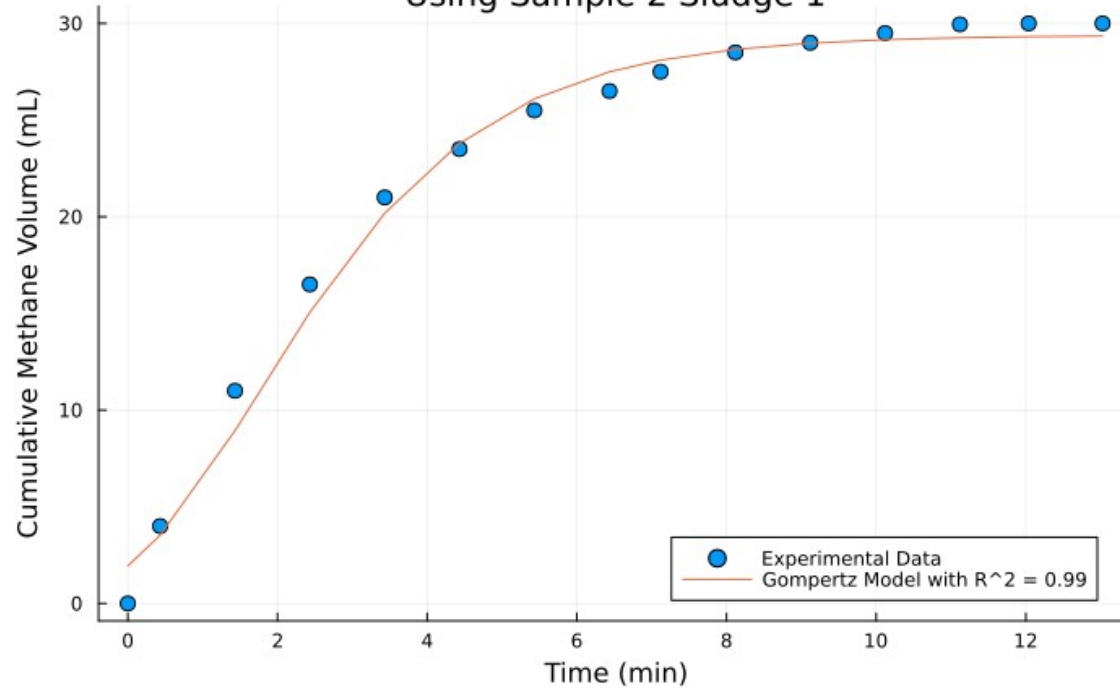


Cumulative Methane Production from Acetate
Using Sample 1 Sludge 1

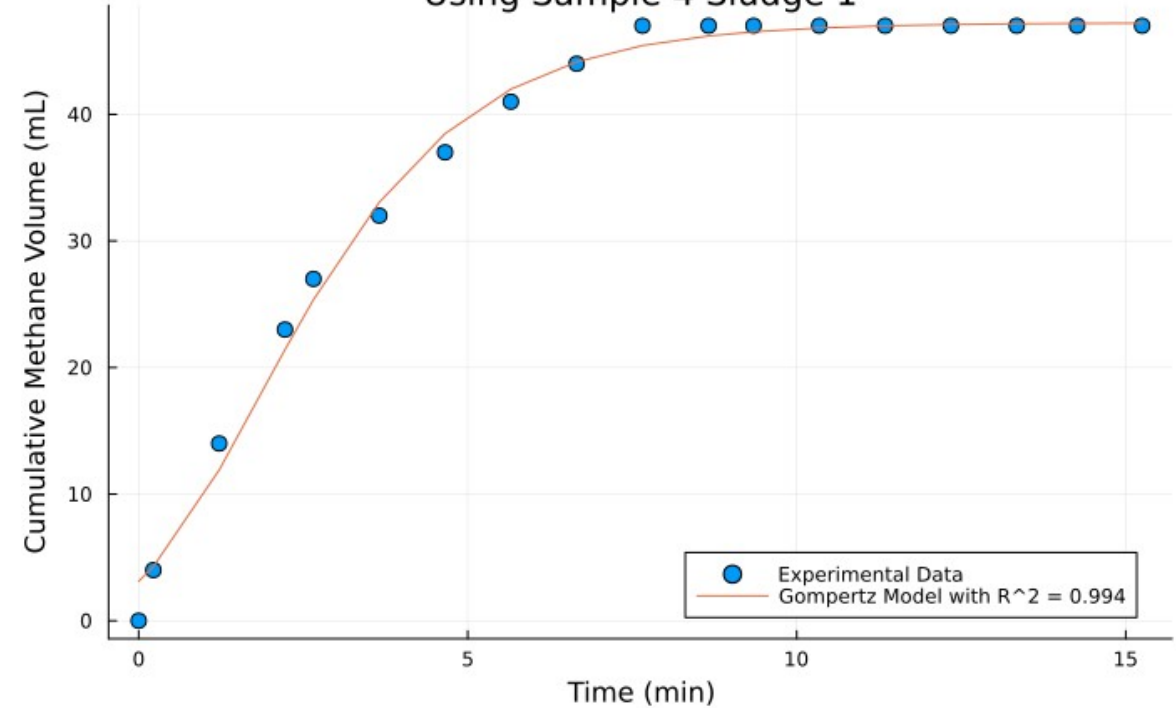


Αποτελέσματα κύκλου με οξικό οξύ

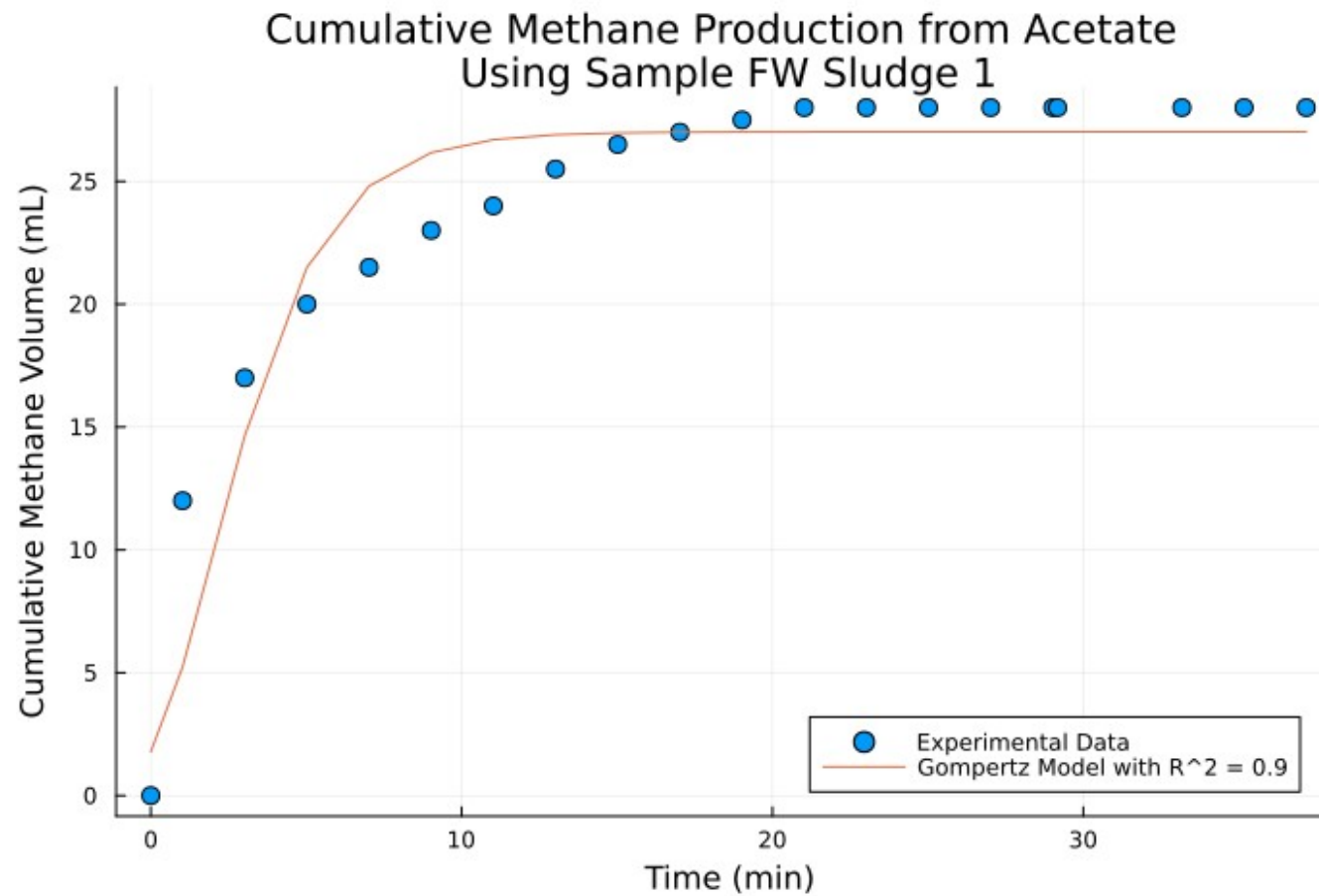
Cumulative Methane Production from Acetate
Using Sample 2 Sludge 1



Cumulative Methane Production from Acetate
Using Sample 4 Sludge 1



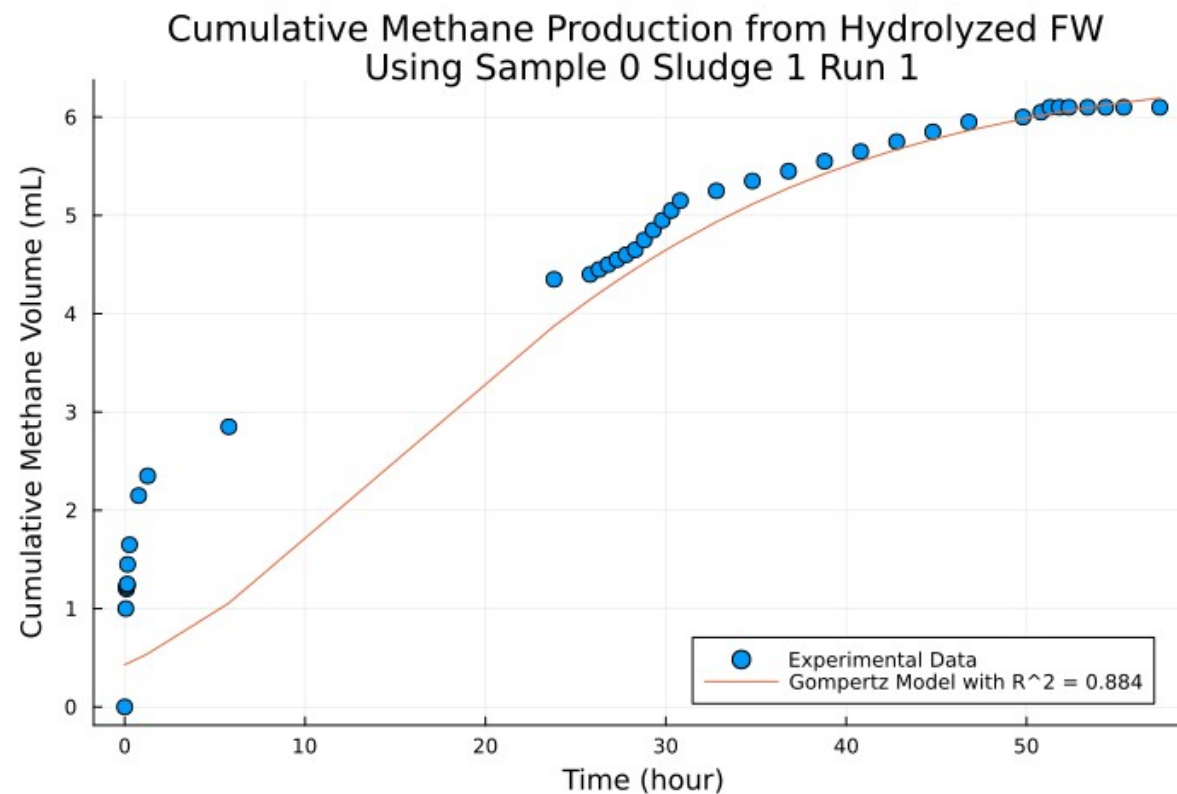
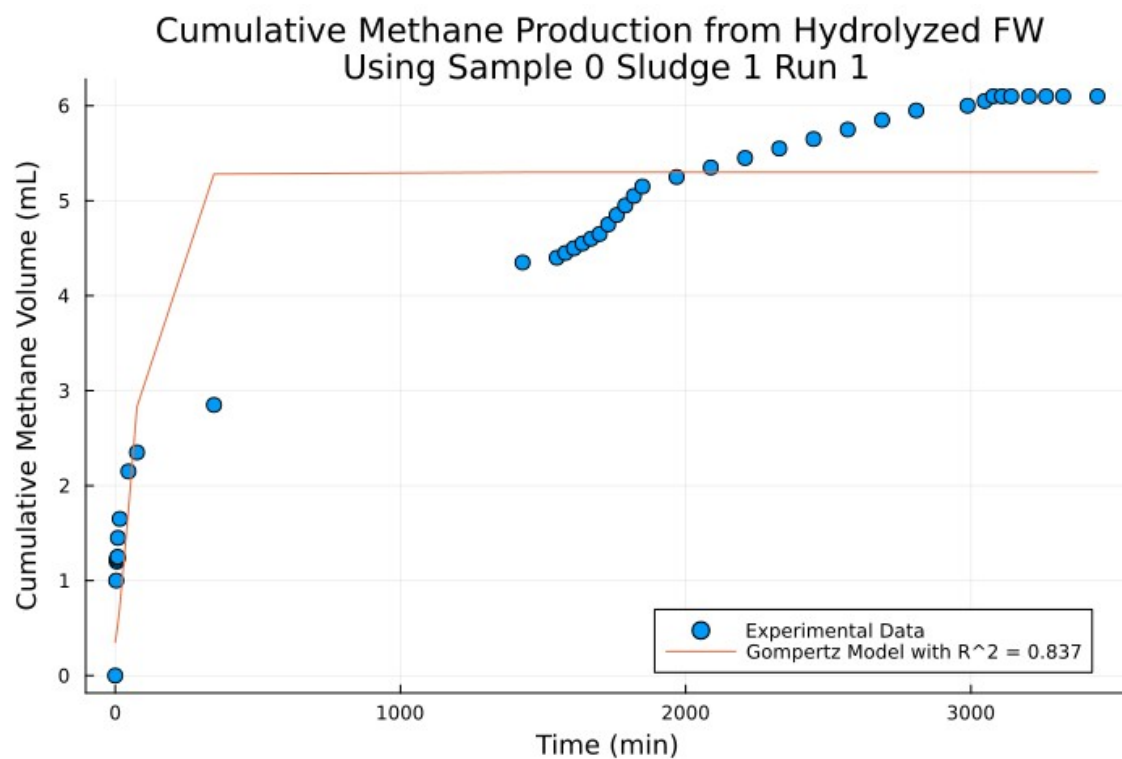
Αποτελέσματα κύκλου με οξικό οξύ



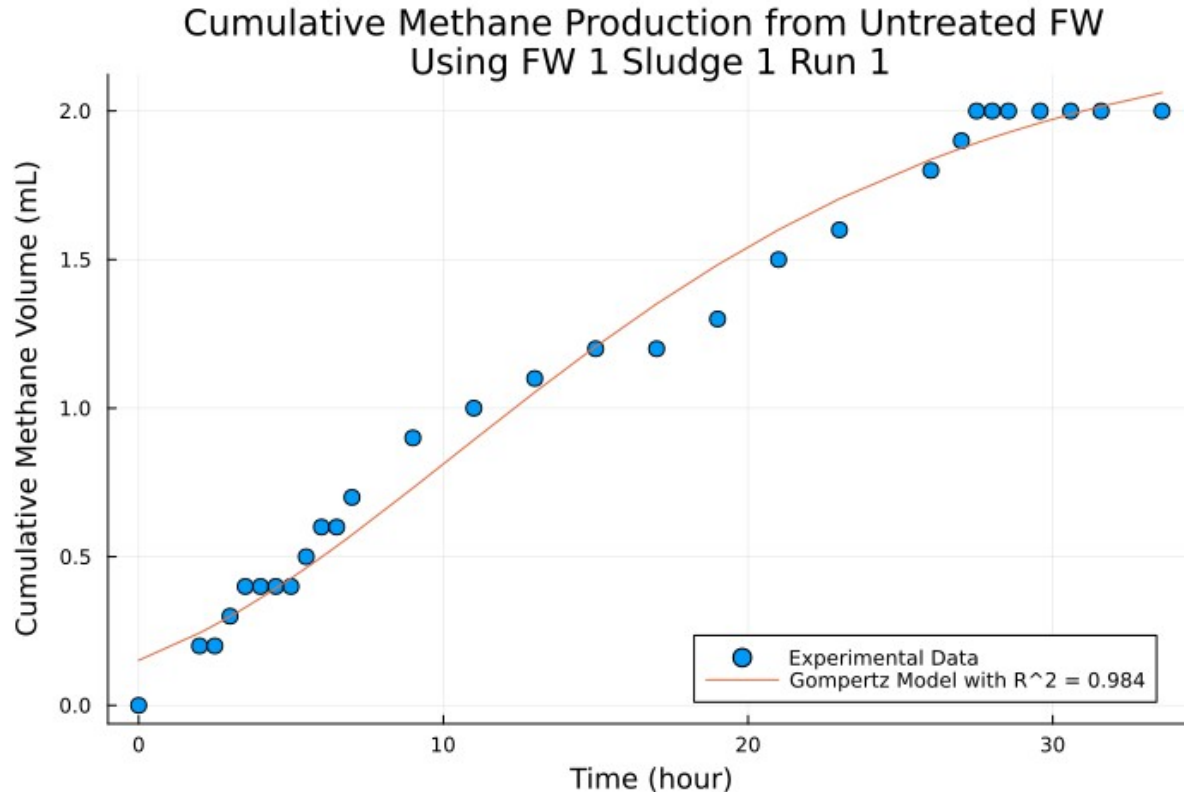
Αποτελέσματα πρώτου κύκλου με υδρολύματα

- Δεν θα αναφερθούν πολύ αναλυτικά αποτελέσματα για τον κύκλο αυτόν λόγω των προβλημάτων που είχε. Λογικά μόλις έγινε η τροφοδοσία είχε περισσέψει οξικό από την προηγούμενη δοκιμή και μεταβολίστηκε ταχύτατα, χαλώντας πρακτικά την απόκριση του πειράματος. Οπότε, κάποιες τάσεις που φαίνονται εδώ πιθανόν να είναι σωστές, αλλά δεν είναι έμπιστο πείραμα και για αυτό έγινε και μία επανάληψη.

Αποτελέσματα πρώτου κύκλου με υδρολύματα



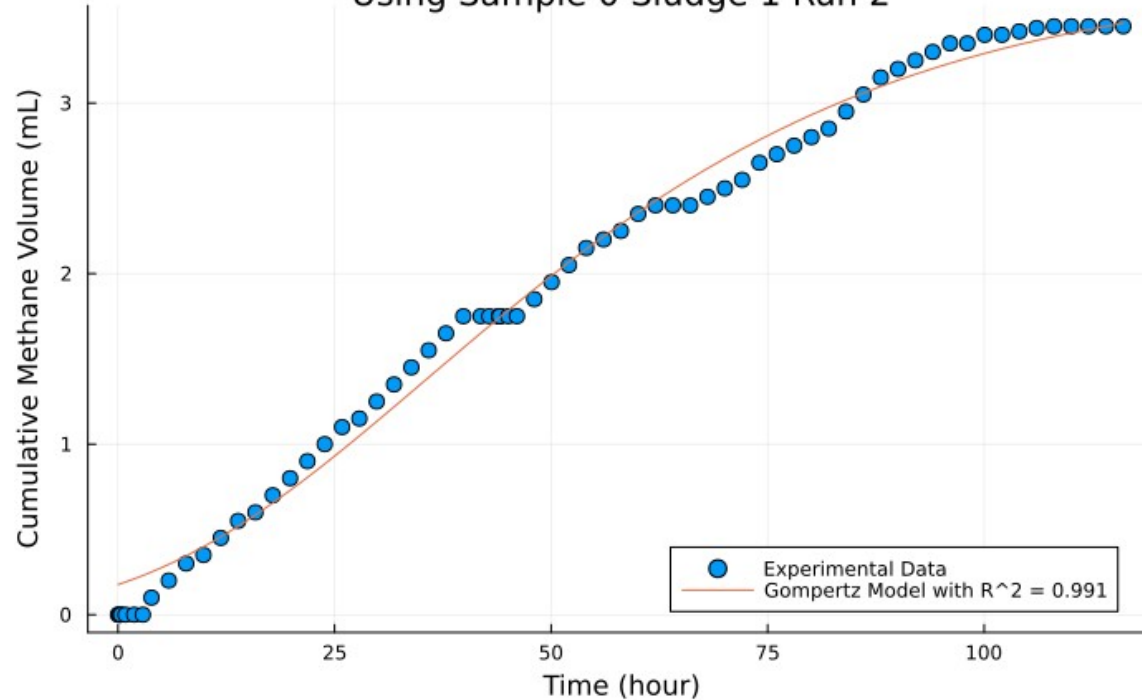
Untreated FW



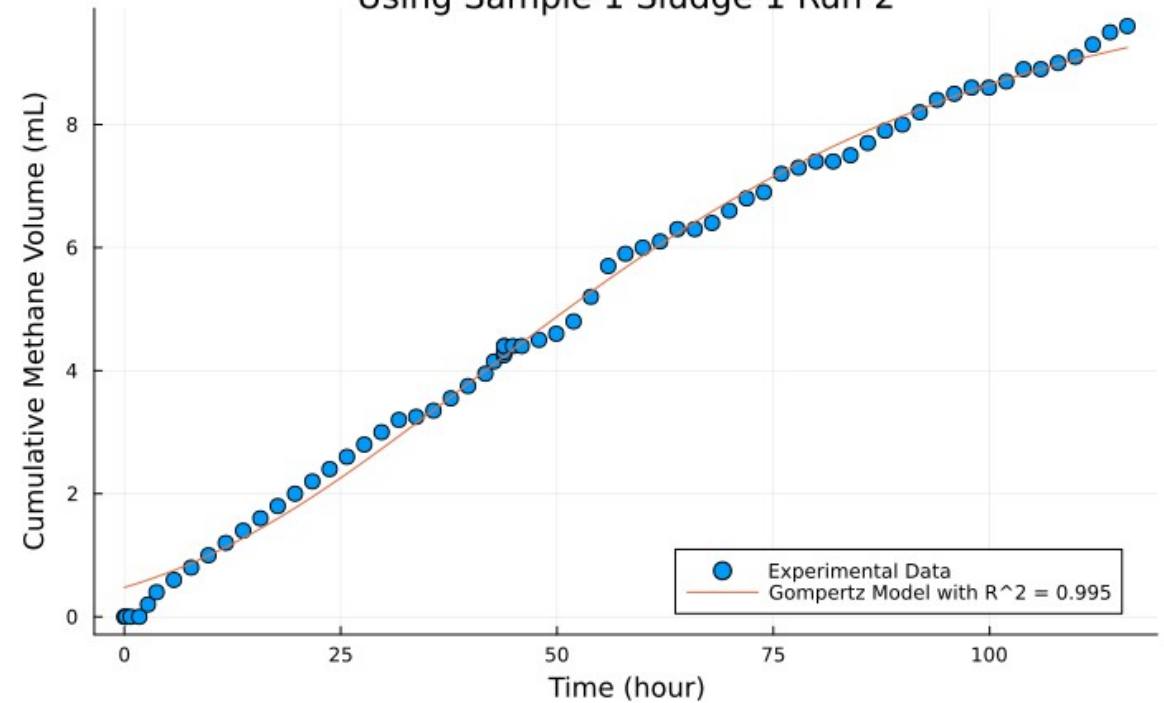
Ένα από αυτά τα δείγματα (αυτό που τροφοδοτήθηκε με ακατέργαστο FW) δεν παρουσίασε αυτό το φαινόμενο και παράγαγε πάρα πολύ λίγο μεθάνιο. Υποτέθηκε ότι μπορεί να υπήρξε κάποια διαρροή στο δείγμα αυτό.

Αποτελέσματα δεύτερου κύκλου με υδρολύματα I

Cumulative Methane Production from Hydrolyzed FW
Using Sample 0 Sludge 1 Run 2

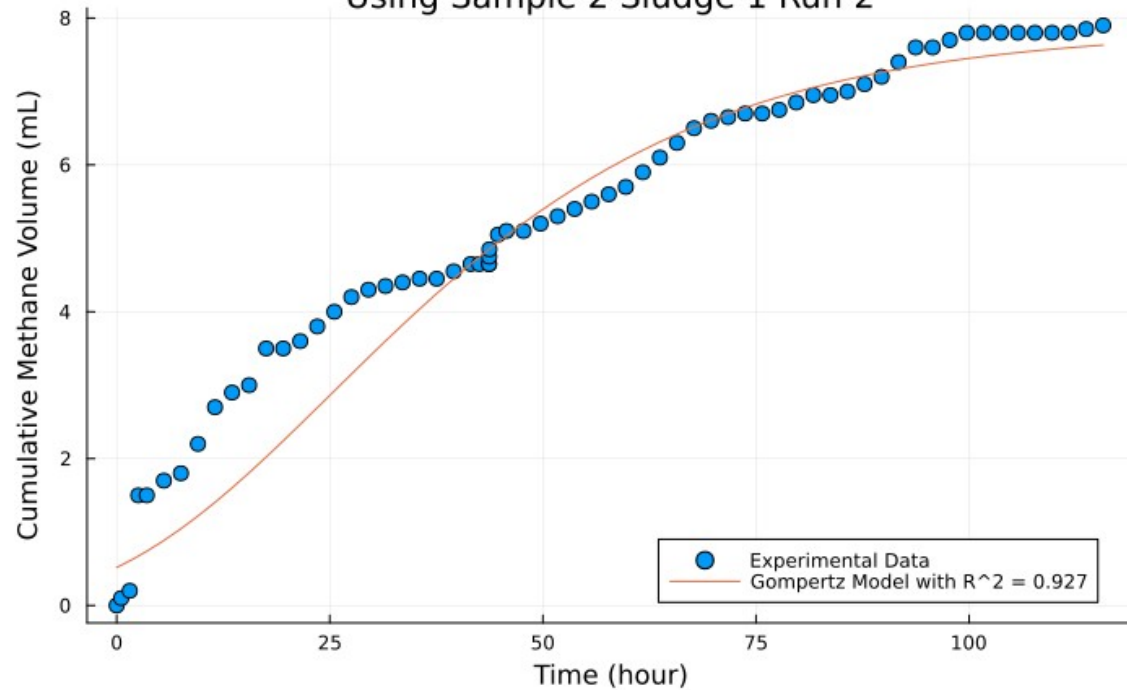


Cumulative Methane Production from Hydrolyzed FW
Using Sample 1 Sludge 1 Run 2

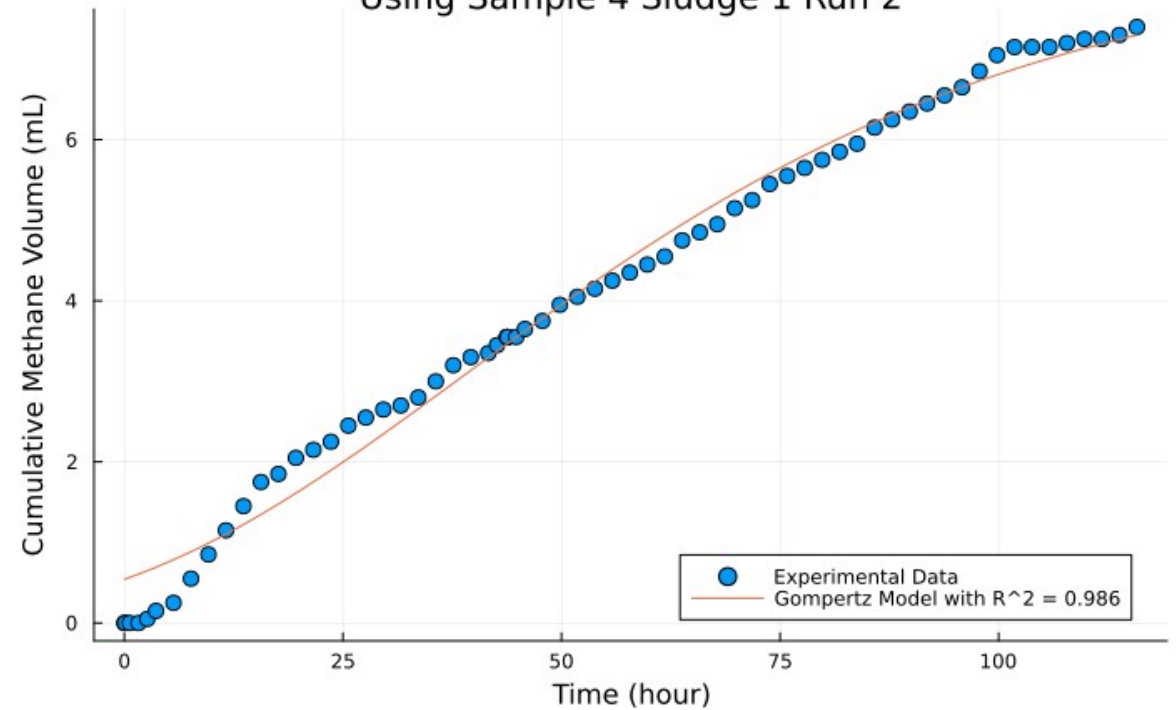


Αποτελέσματα δεύτερου κύκλου με υδρολύματα II

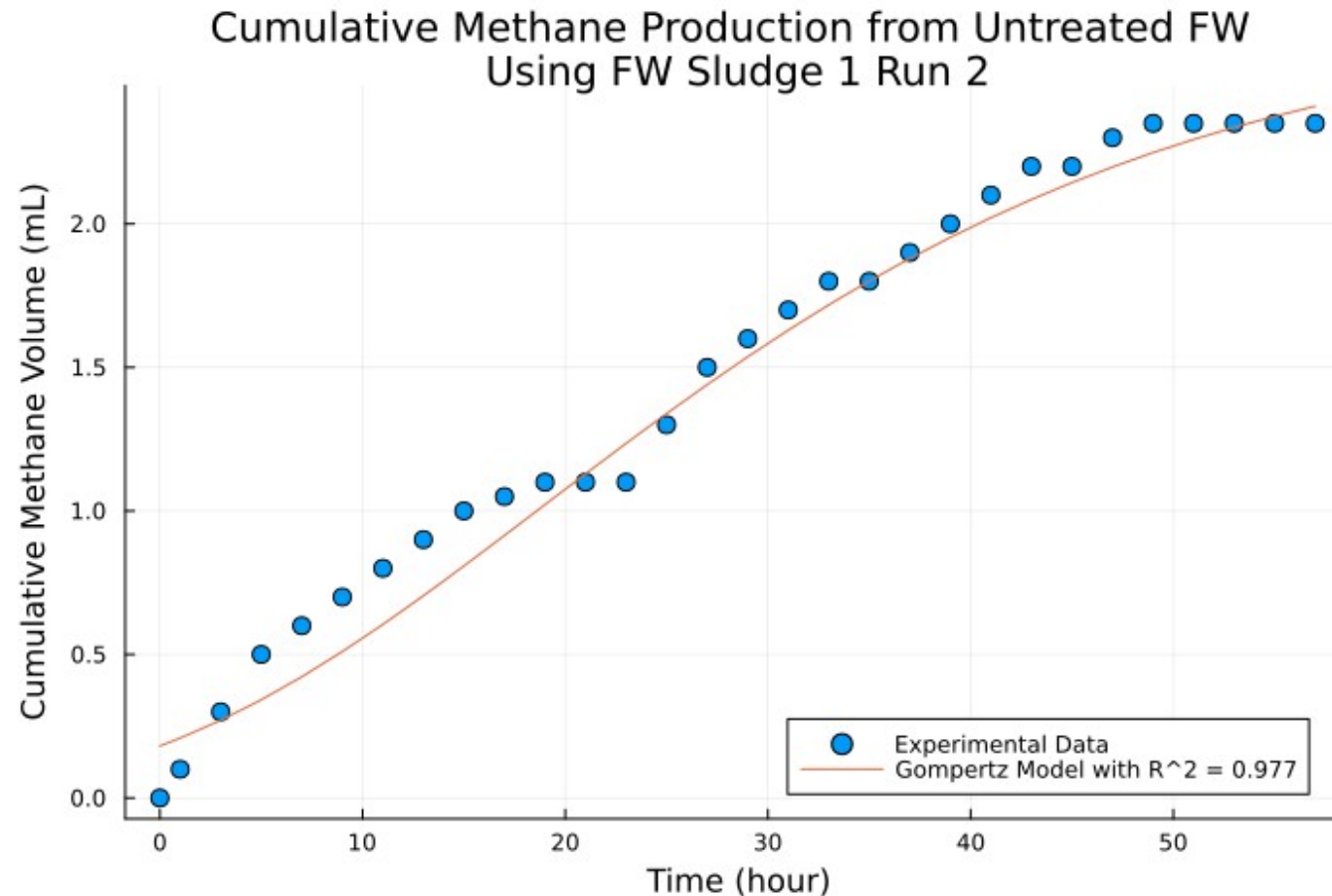
Cumulative Methane Production from Hydrolyzed FW
Using Sample 2 Sludge 1 Run 2



Cumulative Methane Production from Hydrolyzed FW
Using Sample 4 Sludge 1 Run 2



Αποτελέσματα δεύτερου κύκλου - FW

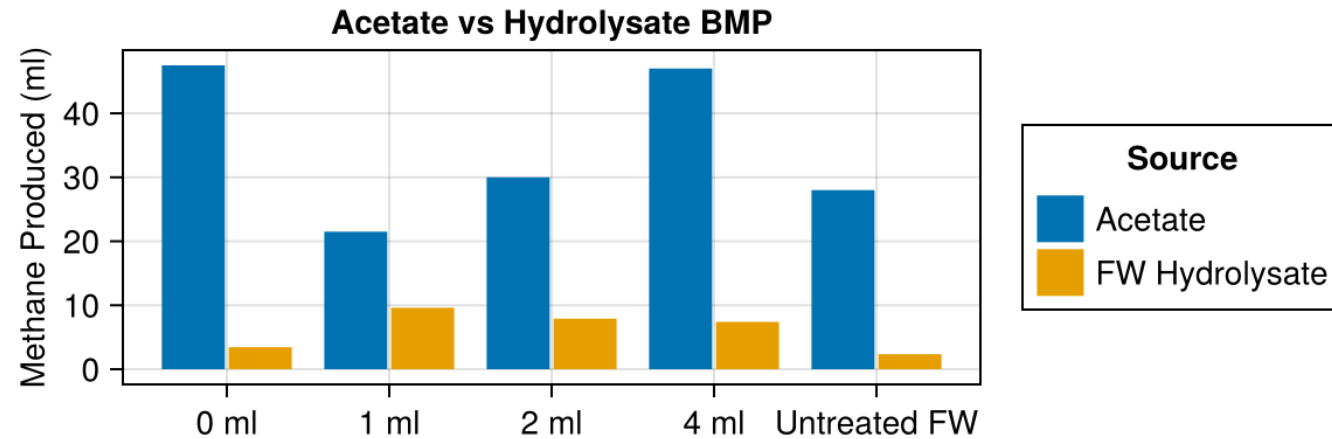


Με την επανάληψη αυτή βλέπουμε πως παρόλο που τα υπόλοιπα δείγματα διαφέρουν στις δύο επαναλήψεις (και φαίνεται πως το δεύτερο αυτό run έχει πιο λογικά αποτελέσματα), το δείγμα που τροφοδοτήθηκε με ανεπεξέργαστο FW παράγαγε πολύ μικρή ποσότητα μεθανίου και στις 2 περιπτώσεις.

Αποτελέσματα δεύτερου κύκλου - FW

Μετά την λήξη του κύκλου, πείραμε δείγματα από το κάθε δοχείο για αναλύσεις. Στην περίπτωση του δείγματος αυτού, το pH είχε πέσει στο 4.22. Τέτοιο pH σε αναερόβια χώνευση παρατηρείται μόνο όταν η χώνευση έχει καταρρεύσει. Συμπερασματικά, η χώνευση ανεπεξεργαστού FW είναι ασταθής και μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση, το οποίο δείχνει και την χρησιμότητα της προεπεξεργασίας που κάναμε.

Βιοχημικό Δυναμικό Μεθανίου (BMP)



% of Acetate BMP in Hydrolysates

0 ml	1 ml	2 ml	4 ml	Untreated FW
7.26 %	44.65 %	26.33 %	15.74 %	8.39 %

Βιοχημικό Δυναμικό Μεθανίου - Σχόλια

Βλέπουμε πως το περισσότερο μεθάνιο έχει παραχθεί από το υδρόλυμα με 1 ml μιξ και το δεύτερο καλύτερο είναι αυτό με τα 2 ml. Επίσης, το 0 ml έχει την χειρότερη απόδοση, το οποίο δείχνει πως αν η ζύμωση γίνει χωρίς την προσθήκη του μιξ είναι πολύ λιγότερο αποδοτική. Με βάση τα αποτελέσματα της υδρόλυσης, θα περιμέναμε το 2 (ή ακόμη και το 4) να έχουν την καλύτερη απόδοση. Βέβαια, στην επανάληψη αυτή, το 1 είχε πολύ υψηλό διαλυτό COD, το οποίο μπορεί να εκφράζει ότι έγινε καλύτερη διαλυτοποίηση στο πείραμα αυτό. Το θέμα αυτό πιθανόν να διερευνηθεί περαιτέρω με HPLC.

Ρυθμός Παραγωγής Μεθανίου

Sample Name	Acetate	Hydrolysate	Ratio
Sample 0	459.84	0.043	0.0094
Sample 1	326.88	0.108	0.033
Sample 2	374.04	0.114	0.0305
Sample 4	579.0	0.08	0.0138
Sample FW	294.06	0.054	0.0184

Οι ρυθμοί είναι εκφρασμένοι σε $\frac{mlCH_4}{hour}$

Ακολουθείται η ίδια τάση με το BMP ως προς τα δύο καλύτερα, αλλά το FW είχε και αυτό σχετικά γρήγορο ρυθμό, παρά το χαμηλό BMP του.

Ειδική Μεθανογόνος Δραστικότητα της Λάσπης (SMA)

Sample Name	Acetate	Hydrolysate	Ratio
Sample 0	7119.36	0.672	0.0094
Sample 1	5061.6	1.728	0.0341
Sample 2	5676.48	1.776	0.0313
Sample 4	8965.44	1.224	0.0137
Sample FW	4554.72	0.84	0.0184

Ακόμη ένα χρήσιμο μέγεθος για την αξιολόγηση της χώνευσης. Έχει μονάδες $\frac{ml CH_4}{day g VS}$ και αποτελεί τον λόγο του μέγιστου ειδικού ρυθμού ανάπτυξης με τα VS λάσπης που έχουμε τροφοδοτήσει. Χρησιμοποιείται κυρίως ως μέτρο της ενεργότητας της λάσπης, όμως επηρεάζεται και από την τροφοδοσία.

What's next

- Πειραματικός κύκλος με το 2ο δείγμα λάσπης για να δούμε αν θα έχει την ίδια τάση.
- HPLC νέου υδρολύματος κυρίως για να δούμε γιατί το 1 ml έχει πάει τόσο καλά?
- Χώνευση με υδρόλυμα Orca?



Ευχαριστώ πολύ για τον χρόνο σας!!