

דו"ח מחקר מספר: 870-4002-21

פתרון מקומי לפסולת אורגנית במשקים חקלאיים באמצעות מתקני ביוגז קטנים

צפיר גרינהוט, ראיף פאלח, ליאור אברהם, שה"מ משרד החקלאות ופיתול הכפר, מורן סגולי, מו"פ רמת נגב.

תקציר

בענף הגידול של ירקות בבתי צמחיה נוצרים במהלך הגידול תוצרי לוואי אורגניים הכוללים את גזם הירקות הנוצר בסוף מחזור גידול, פחת פרי לא משווק ועלים וחלקי צמחים הנגזמים במהלך הגידול. הטיפול בתוצרי לוואי אלו הינו אתגר מרכזי למגדלים וכיום לא קיים פתרון מיטבי עבור הטיפול בזרמים אלו בכלל ופחת הגידול בפרט. מטרת המחקר המרכזית היא לבחון את ההיתכנות הכלכלית והמקצועית של טיפול בפחת ירקות בבתי צמחיה בעזרת שימוש במתקני ביוגז קטנים, מקומיים וזולים ובכך להפוך את תוצר זה למשאב.

המחקר כלל שני טיפולים: בטיפול הראשון הוכנסו מדי יום תערובת של פסולת אורגנית ביתית ושאריות גידולים שאינם עגבניות. טיפול זה הוגדר כביקורת (Control) בטיפול השני - מתקן 2 (Tomatoes) הוגדר וסומן כטיפול עגבניות.

מהתוצאות הראשוניות ממחקר זה ניתן להסיק כי:

- יש התכנות לייצר ביוגז מפחת של עגבניות.
- הוספת 15 ליטר חומר אורגני ביום (גם בביקורת וגם בפחת של העגבניות) אינו מממש את הפוטנציאל האפשרי של המתקן.
- בהתאם לתוצאת הראשוניות נמצא שמתקן אחד שאינו מפחית את עלות הפינוי של הפסולת, אינו כלכלי יחסית לגז ביתי.
- לעומת זאת מהתחשיב עולה כי הקמת מספר מתקני ביוגז או מתקן אחד גדול בעלות דומה (במידה וקיים בשוק) אשר מפחית את מחיר פינוי הפחת הינם כלכליים ויכולים לחסוך לחקלאי עשרות אלפי שקלים בשנה.
- המחקר ימשך בשנת 2023 במימון והובלת מו"פ רמת נגב ובו ייבחנו ההשפעות של טמפרטורת הבוצה על קצב ייצור הגז. כמו כן, תבדק כמות החומר האורגני המקסימאלי שאפשר להכניס למערכת.

רקע קצר ותיאור הבעיה

טיפול בפסולת אורגנית חקלאית הינו אתגר כלל ארצי המטופל במספר מישורים הכוללים את תחומי המחקר, הכלכלה והיזמות, התכנון, הרגולציה, הדרכה, הסברה השקעות ההון ואכיפה. במקרים רבים לא קיים כיום פתרון מיטבי לזרמים רבים מהפסולת האורגנית הנוצרת מחקלאות.

בענף הגידול של ירקות בבתי צמיחה נוצרים ארבעה זרמים מרכזיים של תוצרי לוואי הכוללים את גזם הירקות הנוצר בסוף מחזור גידול, עלים וחלקי צמחים הנגזמים במהלך הגידול, פחת פרי לא משווק, ופלסטיק חקלאי הכולל יריעות, רשתות, חיפויי קרקע, אריזות חומרי הדברה ודשן וחוטי הדליה. ניתן לחלק את החלק האורגני הנוצר בגידול לשני זרמים מרכזיים: פסולת של פחת (פירות שאינן לשיווק, עלים, וכו'), ושאריות צמחים (שאריות צמחים של סוף הגידול). מסקר שנעשה ברמת הנגב נמצא שבממוצע, כל דונם של בית צמיחה בו מגודלים צמחי עגבנייה, מייצר בשנה כ-500 ק"ג פסולת אורגנית שמקורה בפחת (פרי שאינו לשיווק). במשק ממוצע של 60 דונם בתי צמיחה של עגבניות צירי היוצר בשנה כ-30 טון פסולת אורגנית שמקורה בפחת (פירות). כיום מגדלים כ-3,000 דונם עגבניות ברמת הנגב, דבר היוצר בשנה מעל 1,500 טון פסולת אורגנית שמקורה בפחת. טיפול לא נאות בפחת זה עלול להוות בית גידול לזבובים ולייצר מטרדי ריח וזבובים כמו גם מפגעים נופיים ואף סיכון בהפצת מחלות לגידולים שכנים ועוקבים. פחת הגידול נוצר לאורך כל עונת הגידול ובכמויות קטנות יחסית ולכן לעיתים מוצא את דרכו לשולי החלקות או לאתרי פסולת מקומיים ואינו מטופל מעבר לכך.

במועצה האזורית רמת נגב מעל 15,000 דונם שטחי חקלאות ולמעלה מ-80 משקים חקלאיים. ההתמודדות עם סוגי הפסולת השונים היא אחד מהאתגרים המורכבים ביותר העומדים בפני החלקאים הפועלים באזור ובפני המועצה. במסגרת הצעת מחקר זו אנו מבקשים לבחון את השימוש בביוגז לפתרון מקומי של פחת חקלאי מגידול ירקות בבתי צמיחה.

ביוגז הינו אחד מהפתרונות הקיימים לטיפול בפסולת חקלאית. בישראל כשליש מזבל הרפתות בארץ עובר תהליך של עיכול אנ-ארובי ליצירת ביוגז. במקומות רבים בעולם (ניו זילנד, ארה"ב, אירופה, וכו') משתמשים במתקני ביוגז גדולים לטיפול בשאריות של מפעלי עיבוד עגבניות. בעולם המתפתח (אפריקה, מזרח רחוק, וכו') משתמשים במתקני ביוגז קטנים בשביל לייצר גז בישול מהפחת של תערובות של גידולים חקלאיים ומפסולת אורגנית ביתית.

מטרת המחקר

מטרת המחקר המרכזית היא לבחון את ההיתכנות הכלכלית והמקצועית של טיפול בפחת ירקות בבתי צמיחה בעזרת שימוש במתקני ביוגז קטנים, מקומיים וזולים ובכך להפוך את תוצר זה למשאב. הגז הנוצר מההליך ישמש כגז בישול עבור העובדים בחקלאות או לכל פתרון אחר כגון חימום מים וכו'. במידה ופתרון זה ימצא יעיל הוא יוכל לצמצם את המפגעים הנוצרים מזרם זה, לצמצם הטמנה, לחסוך בהובלה ובעלויות נוספות. כאמור, פתרון עשוי לצמצם את כמות הפסולת האורגנית שמצטברת באופן לא מוסדר באזורי החקלאות ולכן גם את הבעיות הכרוכות בכך.

שיטות וחומרים

מתקן הביוגז הנבחר לטיפול בפחת נרכש מחברת הום-ביוגז (<https://www.homebiogas.com>). מתקן זה מאושר לשימוש בישראל. במערכת זו החומר האורגני מוכנס למיכל סגור, ובתהליך אנאירובי נוצר גז (כ-65% מתאן CH₄, וכ-35% פחמן דו חמצני CO₂), ותוצר נוזלי. הגז הלא דחוס מצטבר ומשמש

לבישול, ואילו הנוזל שנוצר בתהליך יכול להיות מוצנע בגידולים החקלאיים. הגז יכול גם לשמש לחימום מים, חימום חממה בחורף או הפקת חשמל.

במאי 2022 הוקמו והוצבו שתי מתקני "הומביוגז 7", בסמוך למגורי הסטודנטים במו"פ רמת הנגב (איור 1). ההתקנה נעשה בהתאם לפרוטוקול הסטנדרטי של החברה וכללה הכנסה של כ-200 ליטר זבל פרות מדולל בארבע קו"ב מים. בנוסף, כל מערכת חוברה למונה גז בלחץ נמוך, מד טמפרטורת מי הבוצה וכיריים שהותקנו במטבח הסטודנטים. פורק הגז הותקן לאחר מונה הגז על-מנת שכל הגז הנוצר בתהליך ימדד.

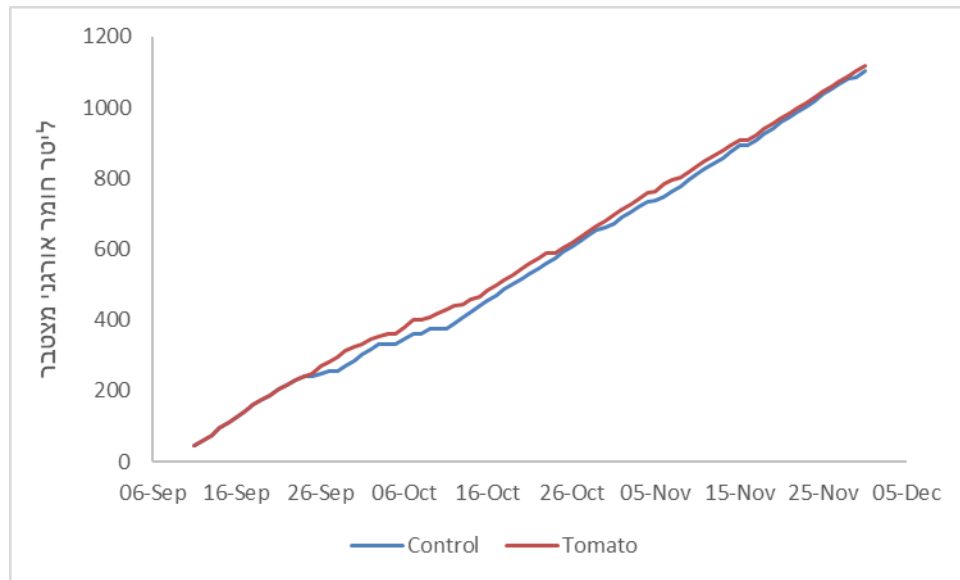
המחקר כלל שני טיפולים: בטיפול הראשון למתקן הוכנסו מדי יום תערובת של פסולת אורגנית ביתית ושאריות גידולים שאינם עגבניות (פלפלים, רימונים, תפוזים, תותים, אננס, מלפפונים, וכו'). טיפול זה הוגדר כביקורת (Control) בטיפול השני - מתקן 2 (Tomatoes) הוגדר וסומן כטיפול עגבניות. כלומר - למתקן 2 הוכנסו רק פחת עגבניות שאינן לשיווק (פחת, מחלות וירוקות). בכל יום הוכנסו כ-15 ליטר של חומר אורגני ומים עד גובה Overflow. עד ספטמבר, המערכת עברה איזון וייצוב ומדידות המחקר התחילו בספטמבר.



איור 1. שתי מתקני הומביוגז 7, מוכנים לעבודה.

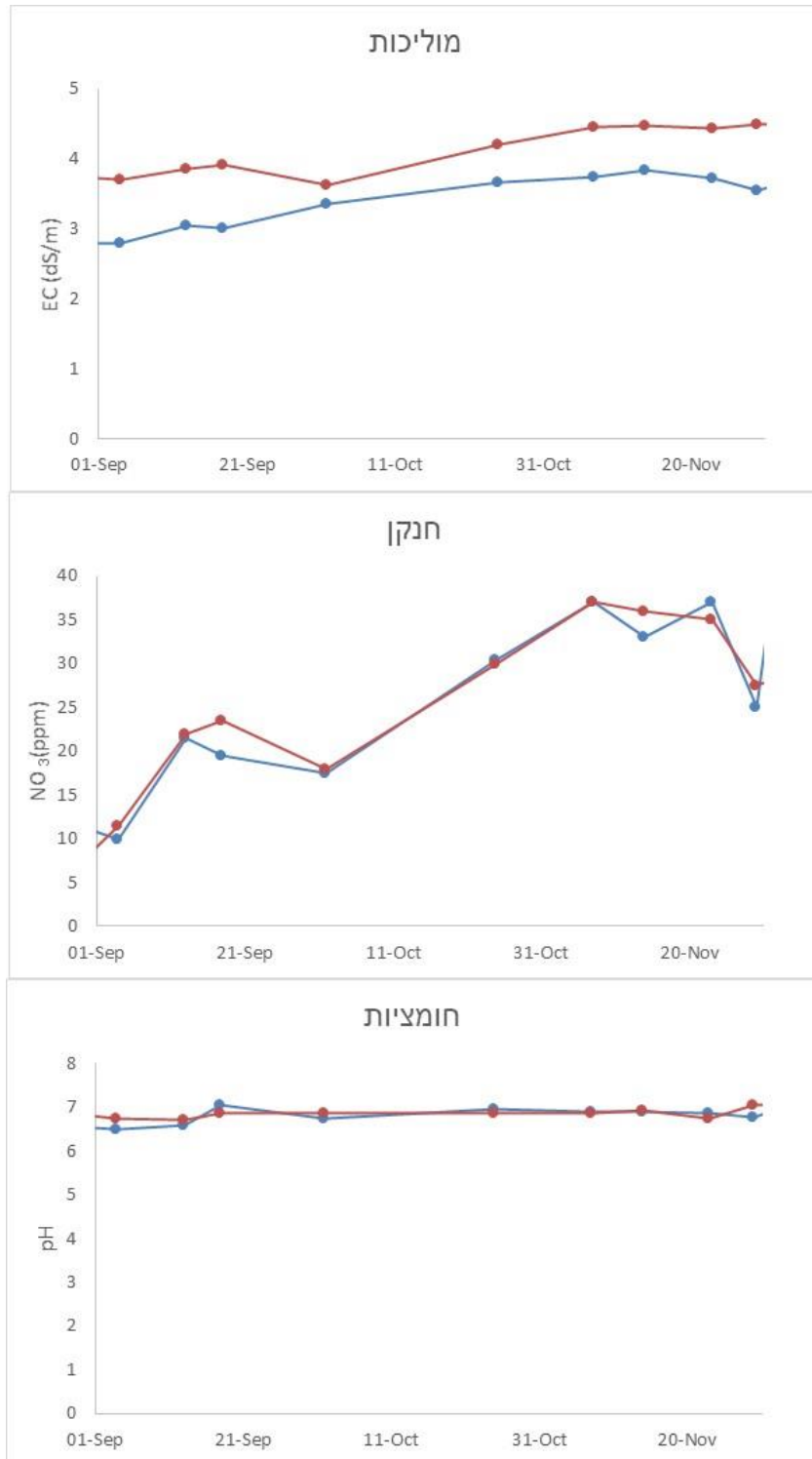
בדיקות ומעקב: כל שבוע, נלקחו דגימות ממי הבוצה למעבדה. בתחילת המחקר נלקחה דגימה מפתח הכנסת החומר האורגני וגם מפתח יציאת מי הבוצה. לאחר מעל 15 מדידות בהם נמצא שמי הבוצה בכניסה וביציאה דומים, הוחלט לקחת דגימות רק ממי הבוצה בנקודת היציאה. כמו כן, מדי טמפרטורה הוכנסו למי הבוצה באזור היציאה של מי הבוצה. בכל טיפול נמדדה כמות הגז הנוצרת בתהליך. תוצאות כמות הגז שימשו להערכה כלכלית של כדאיות ההשקעה במתקנים אלו במשק החקלאי.

תוצאות ראשוניות:



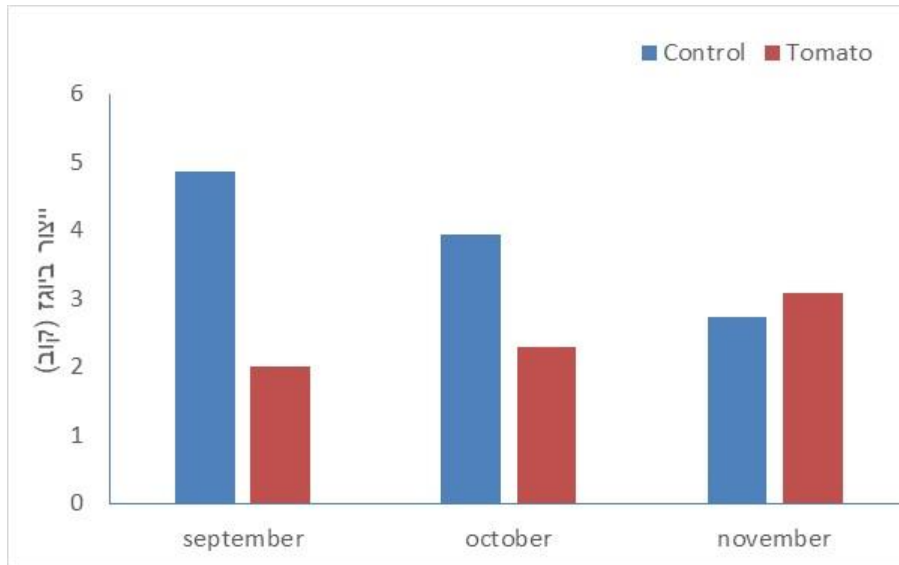
איור 2. כמות החומר האורגני שהוכנסה למתקני הביגוד

מאיור מספר 2 ניתן לראות שכמות החומר האורגני (בליטרים) שהוכנסה בשני הטיפולים הייתה זהה וליניארית בהתאם לתוכנית המחקר. איור מספר 3 מתאר את איכות הנוזל שיצאה בסיום התהליך בשני הטיפולים. ניתן לראות שנתוני מי הבוצה מאוד דומים בן הטיפולים (איור 3) ונמצאים בטווח התפעולי של המערכת. ערכי החומציות הינם יציבים בסביבות רמת חומציות של 7. הדבר מרמז שהמערכת לא עובדת בשיאה ויכולה לקלוט עוד חומר אורגני. כאשר רמת החומציות מתקרבת לערך של 6.5 אז המערכת עובדת בקצב המקסימאלי שלה. בשלב הראשון של המחקר נמדד רק חנקן חנקתי ולא אמוני ולא ראינו הצטברות של חנקן במי הבוצה. כמו כן, לא ראינו השפעה של הטיפול על החומציות של מי הבוצה, דבר שעלול לעקב את יצירת הפעילות המיקרוביאלית במתקן ולכן קצב יצירת הגז.



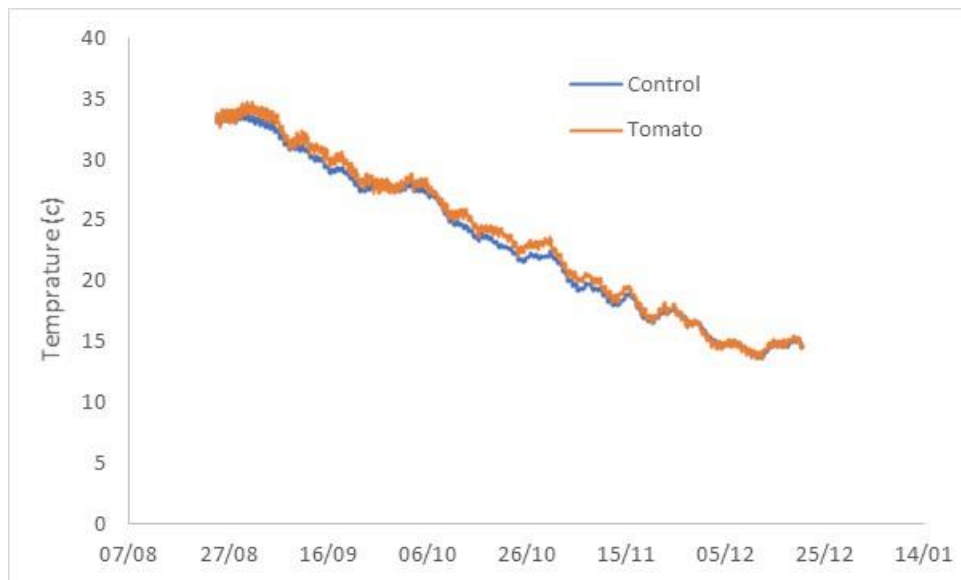
איור 3. מדדי איכות של מי הבוצה.

ייצור הביוגז מהמתקן נמדד באופן רציף על ידי מד זרימת גז בלחץ נמוך (איור 4). נמצא שכמות הגז שנוצרה בטיפול הביקורת היה גדולה יותר ממתקן שהוכנסו אליו רק עגבניות, אך השונות בין החודשים הינה גדולה.



איור 4. כמות הגז היוצרה בכל אחד מהמתקנים.

טמפרטורת מי הבוצה משפיעה על קצב פירוק החומר האורגני וכתוצאה מכך על קצב ייצור הגז. במהלך הניסוי נמדדה ירידה עיקבית בטמפרטורה של מי הבוצה (איור 5) כתוצאה מהאקלים המשתנה. לפי היצרן, מתחת לטמפי של 24°C ישנה פגיעה ביעילות של פעילות המיקרוביום ולכן יש ירידה בקצב ייצור גז. מהנתונים שלנו, אנו רואים יש ירידה בייצור הגז בביקורת, אך לא בטיפול העגבניות. כמו כן, אנו רואים שגם בטמפרטורות של מתחת ל 20°C יש ייצור גז.



איור 5. טמפרטורת מי הבוצה בשני הטיפולים.

שימוש בגז הנוצר לבישול:

מרבית העובדים הזרים בחקלאות בארץ הינם ממדינות המזרח אשר בתרבותם מבשלים רבות על אש חזקה (בעיקר אוכל מוקפץ). כחלק מפרויקט של סטודנטים במו"פ רמת נגב המתמחים בחקלאות במו"פ – הגז הנוצר מהמתקן חובר לכיריים בנוסף לכיריים "רגילות". בהתחלה, הסטודנטים התלוננו שהכיריים אינם מספקים את צורכיהם ולא היה שימוש ניכר בביוגז לבישול. חברת הומביוגז הביאה מחו"ל כיריים חדשים עם דיזות יותר גדולות, והסטודנטים מרוצים מהכיריים ומשתמשים בהם כל הזמן.

תחשיב כדאיות כלכלית להקמת מתקן לטיפול בפחת תוצרת חקלאית

התחשיב הכלכלי חושב למתקן ביוגז יחיד וכפתרון לכל הפחת של חממות עגבנייה של חקלאי יחיד. הנחות היסוד ובסיס הנתונים של התחשיב:

עלות מתקן: 5,000 ₪ (כולל התקנה), אורך חייה של מתקן – 8 שנים, ריבית 7%, עלות פילטרים – 180 ₪ בשנה (4 פילטרים בשנה במחיר של 45 ₪ לפילטר) עלות, מים – 10 ₪ לשנה. ייצור ביוגז – 56 קו"ב לשנה למתקן – אקסטרפולציה של מדידות המחקר.

עלות אלטרנטיבית: צריכת גז ביתי בשנה לשישה עובדים – 288 ק"ג במחיר של 2,400 ₪ לשנה. פינוי פחת – 2 פועלים לחמש שעות עם טרקטור, פעם בשבוע. עלות הטמנה – 120 ₪ לטון.

תחשיב למתקן אחד:

מחיר ייצור ק"ג גז ביתי ממתקן ביוגז אחד: 40 ₪
מחיר קניה של ק"ג גז ביתי: 8 ₪

תחשיב ל-11 מתקנים

עובדי החקלאי משתמשים ב 288 ק"ג גז ביתי לשנה.
על מנת לספק כמות דומה של גז יש צורך ב-11 מתקני הומביוגז 7
כאשר כל הפחת נכנס למתקני הביוגז – יש חסכון בפינוי הפחת.
מחיר ייצור ק"ג גז ביתי מ-11 מתקני הומביוגז 7: 64 ₪
מחיר קניה של ק"ג גז ביתי כולל מחיר פינוי פחת: 257 ₪

דיון

ניתן ללמוד מהתוצאות הראשוניות של מחקר זה מספר דברים אך יש לסייגם מכיוון שמשך המדידה של ייצור הביוגז הינו קצר באופן יחסי. להלן המסקנות:

- יש התכנות לייצר ביוגז מפחת של עגבניות.
- הוספת 15 ליטר חומר אורגני ביום (גם בביקורת וגם בפחת של העגבניות) אינו מממש את הפוטנציאל האפשרי של המתקן.
- עד היום נמצא שהמערכת מייצרת גז גם מתחת ל-20 מעלות ביעילות דומה.

4. בהתאם לתוצאת הראשוניות נמצא שמתקן אחד שאינו מפחית את עלות הפינוי של הפסולת, אינו כלכלי יחסית לגז ביתי.
5. לעומת זאת מהתחשיב עולה כי הקמת מספר מתקני ביוגז או מתקן אחד גדול בעלות דונה (במידה וקיים בשוק) אשר מפחית את מחיר פינוי הפחת הינם כלכליים ויכולים לחסוך לחקלאי עשרות אלפי שקלים בשנה.

על מנת להכין תחשיב מדויק יותר יש צורך להמשיך את המחקר ולבחון עוד פרמטרים. מחקר זה יימשך גם בתחילת שנת 2023. בשנה זו אנו מתכננים לבדוק את הפרמטרים הבאים:

1. כמות החומר האורגני שאפשר להכניס למתקן. אנו מעריכים שהכמות המקסימלית תלויה בטמפרטורה של מי בוצה. ככל שטמפרטורת מי הבוצה מתקרבת לטמפרטורה המיטבית כך קצב פעילות המיקרוביום במתקן עולה וקצב ייצור הביוגז עולה. אי לכך – יתכן שחימום המתקן באופן פסיבי (הכנסת המתקן למנהרת פלסטיק/חממה) יהיה כלכלי, בייחוד בחורף.
2. מדידת כמות ייצור ביוגז בחורף כשטמפרטורת מי הבוצה יורדת

כמו כן, אנו ננסה למצוא מימון לבדוק את הפרמטרים הבאים:

1. שימוש במי בוצה כתוסף לדשן. מבדיקה ראשונית אצלנו ואצל חקלאי מהאזור, נמצא במים יש דשן (מאות חלקים למיליון (ppm) של חנקן בצורת אמוניה) שיכולים לשמש כדשן. נושא זה צריך להיבחן.
2. שיפור השימוש בגז המיוצר. בדיקת כיריים עם יותר דיזות גדולות, או הוספת בוסטר להגברת הלחץ שמגיע לכיריים.
3. בחינה של הוספת עלים כחומר אורגני והשפעתם על ייצור הגז. במהלך הגידול ישנו פסולת של עלים וגבעולים קטנים (שוצים).
4. בחינת השימוש במתקן גדול יותר. מכיוון שיש צורך במספר מתקנים, אנו מעריכים ששימוש במתקן גדול יותר יקל על התפעול ויפחית את המחיר.

ביבליוגרפיה

- Andria manohiariso amanana, F. J., S. Yasui, T. Yamashiro, V. Ramanoelina, I. Ihara, and K. Umetsu. 2020. Anaerobic co-digestion: a sustainable approach to food processing organic waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 22: 1501-1508.
- Bacenetti, J., D. Duca, M. Negri, A. Fusi, and M. Fiala. 2015. Mitigation strategies in the agro-food sector: The anaerobic digestion of tomato puree by-products. An Italian case study. *Science of the Total Environment* 526: 88-97.
- Ghaly, A.E. Effect of reseeded and pH control on the performance of a two-stage mesophilic anaerobic digester operating on acid cheese whey, *Can. Agr. Eng.*, Vol. 42, N. 4, 2000, pp 173-183

Gohil, A., and G. Nakhla. 2006. Treatment of food industry waste by bench-scale upflow anaerobic sludge blanket-anoxic-aerobic system. *Water Environment Research* 78: 974-985.

Lamidi, R. O., L. Jiang, Y. D. Wang, P. B. Pathare, and A. P. Roskilly. 2019. Techno-economic analysis of a biogas driven poly-generation system for postharvest loss reduction in a Sub-Saharan African rural community. *Energy Conversion and Management* 196: 591-604.

Nugroho, A., and I. Sumantri. 2020. Biogas Production of Tomato Sauce Wastewater by Batch Anaerobic Digestion. in L. Buchori, A. Purbasari, and D. Ariyanti, editors. *Proceedings of the 2nd International Conference on Chemical Process and Product Engineering*.