



Nedbrytning av bioplaster i biogasprocesser och effekt av drifttemperatur

Kristina Wigfeldt

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

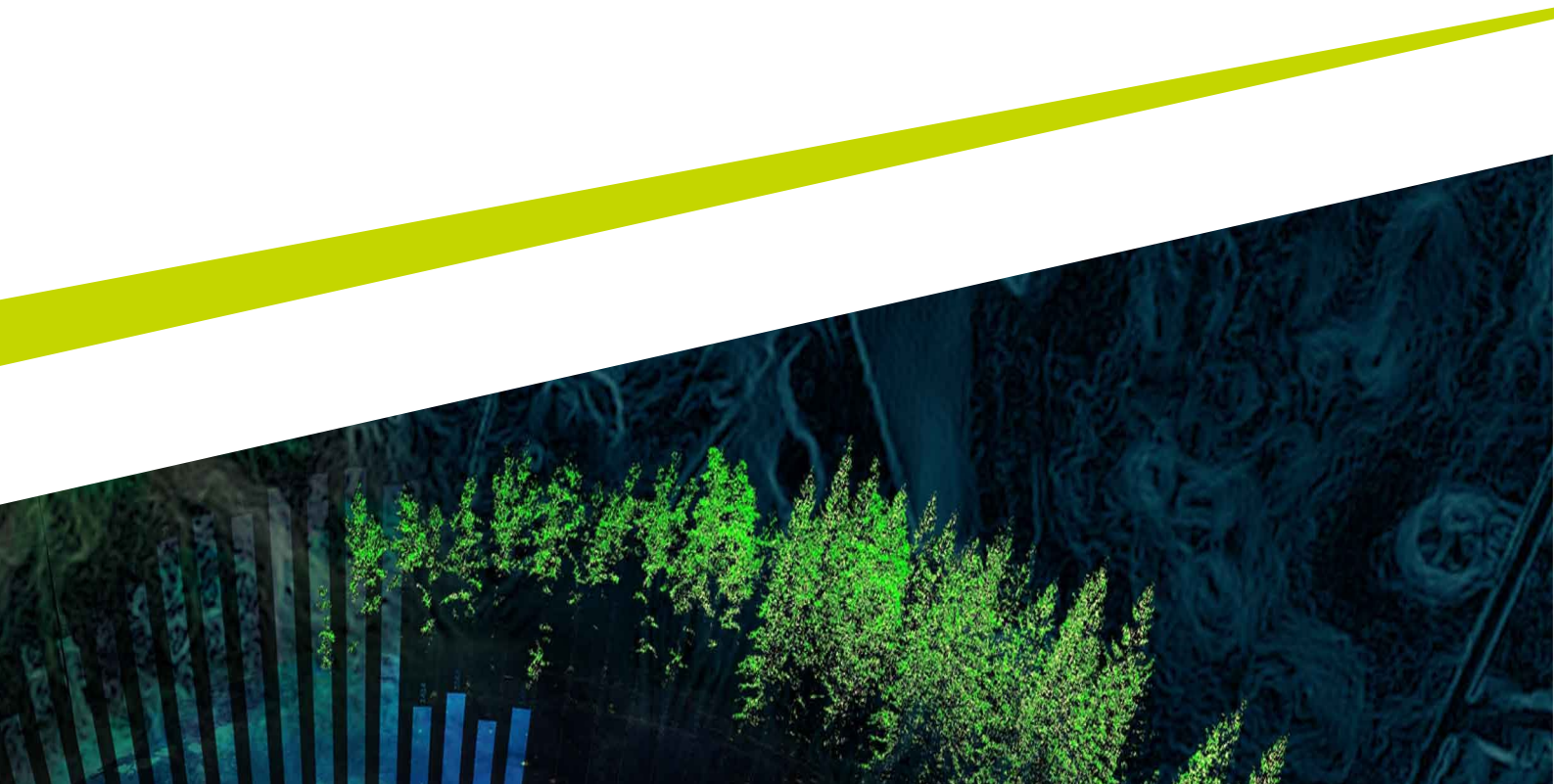
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Institutionen för molekylära vetenskaper

Agronom mark/växt programmet

Molekylära Vetenskaper, 2024:27

Uppsala, 2024



Nedbrytning av bioplaster i biogasprocesser och effekt av drifttemperatur.

Av Kristina Wigfeldt

| | |
|----------------------------------|--|
| Handledare: | Maria Westerholm, Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för molekylära egenskaper |
| Examinator: | Anna Schnürer , Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för molekylära egenskaper |
| Omfattning: | 30 hp |
| Nivå och fördjupning: | Masternivå |
| Kurstitel: | Självständigt arbete |
| Kurskod: | A2E |
| Serietitel: | Molekylära Vetenskaper |
| Delnummer i serien: | 2024:27 |
| Program/utbildning: | Agronom - mark/växt |
| Kursansvarig institution: | Institutionen för molekylära vetenskaper |
| Utgivningsort: | Uppsala |
| Utgivningsår: | 2024 |
| Upphovsrätt: | Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd. |
| Nyckelord: | Rötrest, anaerob miljö, bioplaster, PLA, Mater-Bi, PHBV, biogasprocesser, termofil, mesofil, mikroorganismer, |

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakultet: NJ (Natur och Jordbruk)

Institution: Institutionen för molekylära vetenskaper

Sammanfattning

En biogasanläggning omvandlar organiskt avfall så som matrester och gödsel till metan (CH₄) som används till energiproduktion och fordonsbränsle. Genom att ta vara på metan minskar utsläppen av klimatgaser. Dessutom bildas en näringsrik rötrest som kan användas som biogödsel på odlingsmark vilket minskar beroendet av konstgödsel och bidrar på så sätt till ett hållbart cirkulärt system samt att Sveriges självförsörjning stärks. Till en biogasanläggning kommer plast i form av förpackningar och avfallspåsar från hushåll och industrier. Trots förbehandling kan en mindre mängd plast följa med i rötresten. En ökad produktion och användning av bioplast kan vara en lösning på problemet, men mer forskning behövs för att avgöra vilka typer av plast som lämpar sig för anaerob nedbrytning. I masteruppsatsen har ett anaerobt försök utförts där tre bioplaster valts ut: PLA (Poly Lactic Acid) i form av vita granuler, PHBV (Poly-3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) i form av en styv plastfilm och Mater-Bi i form av en avfallspåse, för att se om och hur plasten bryts ner. Bioplasterna inokulerades med rötrest från två biogasanläggningar i anaeroba flaskor för att efterlikna en biogaskammare. Resultaten visade att nedbrytning av plasten varierade beroende på plasttyp och temperatur, mesofil (37°C) eller termofil (52°C). Mikroorganismerna i rötresten påskyndade nedbrytningen av plasten men även kemisk påverkan observerades. PHBV bröts ned helt och snabbast i mesofil temperatur. Nedbrytning av PLA och Mater-Bi påverkades mest i termofil temperatur, dock hade PLA även börjat brytas ned kemiskt, dvs i de flaskor som inte innehöll mikroorganismer. Fler försök pågår för att följa upp och förstå nedbrytningsprocessen och också se vilka ämnen som frigörs. Optimalt bör rötrest vara plastfri men är nästintill oundvikligt i dagens samhälle där icke-nedbrytbar plast dominerar. Resultatet från denna studie kan bidra till att öka förståelsen för anaerob nedbrytning av bioplast vilket krävs för fortsatt utveckling av bioplast som bryts ner fullständigt och kan bidra med näring, vilket vore en ideal lösning för att hantera plastavfall i rötresten.

Nyckelord: Rötrest, anaerob miljö, biogasprocess, termofil, mesofil, bioplaster, PLA, Mater-Bi, PHBV, mikroorganismer

Abstract

A biogasplant converts organic waste such as food scraps and manure into methane (CH₄) which is used for energy production and vehicle fuel. By taking advantage of methane, emissions of climate gases are reduced. In addition, a nutrient-rich digestate is formed that can be used as biofertilizer on farmland, which reduces dependence on artificial fertilizers and thus contributes to a sustainable circular system and to strengthening Sweden's selfsufficiency. Plastic comes to a biogas plant in the form of packaging and waste bags from households and industries. Despite pretreatment a small amount of plastic can be included in the rotting residue. An increased production and use of bioplastics may be a solution to the problem, but more research is needed to determine which types of plastics are suitable for anaerobic degradation. In the master's thesis, an anaerobic experiment was carried out where three bioplastics were selected: PLA (Poly Lactic Acid) in the form of white granules, PHBV (Poly-3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) in the form of a rigid plastic film and Mater-Bi in shape of a waste bag, to see if and how the plastic breaks down. The bioplastics were inoculated with digestate from two biogas plants in anaerobic flasks to simulate a biogas chamber. The results showed that degradation of the plastic varied depending on the plastic type and temperature, mesophilic (37°C) or thermophilic (52°C). The microorganisms in the rotting residue accelerated the degradation of the plastic, but a chemical effect was also observed. PHBV was completely and most rapidly degraded in mesophilic temperature. Degradation of PLA and Mater-Bi was most affected in thermophilic temperature, however, PLA had also started to break down chemically, i.e. in the bottles that did not contain microorganisms. More trials are underway to follow up and understand the degradation process and also see which substances are released. Ideally, compost should be plastic-free, but is almost inevitable in today's society where non-degradable plastics dominate. The results from this study can contribute to increasing the understanding of anaerobic degradation of bioplastics, which is required for the continued development of bioplastics that break down completely and can contribute with nutrition, which would be an ideal solution for managing plastic waste in the rotting residue.

Keywords: Digestion residue, anaerobic environment, biogas process, thermophilic, mesophilic, bioplastics, PLA, Mater-Bi, PHBV, microorganisms

Populärvetenskaplig sammanfattning

I en biogasanläggning tar man till vara på organiskt avfall som matrester och gödsel. Då det bryts ned i biogaskammarens syrefria (anaeroba) miljö bildas en näringsrik rötrest som sedan används som gödning ute på åkrarna för växter. På så sätt skapas ett hållbart cirkulärt flöde. Vid nedbrytning av det organiska materialet (rötning) bildas också förnybar energi i form av biogas. Biogas består av metan och koldioxid, där metan är den energirika delen. Biogas samlas in och används för att ersätta fossil energi hos fordon och vid produktion av värme och el. På så sätt minskas utsläpp av klimatgaser. I Sverige är ökad biogasproduktion en av lösningarna till att öka självförsörjningen, då näringsrikt gödningsmedel och förnybar energi produceras inom landet och inte behöver importeras.

När gödsel och matrester från hushåll och företag kommer till en biogasanläggning följer också en del plast med i form av emballage och plastförpackningar. På anläggningen finns maskiner som tar bort plasten innan avfallet åker in i biogaskammaren och rötas, men det finns en risk att en liten mängd plast följer med det organiska avfallet in i biogasreaktorn och sedan förorenar rötresten. Detta är ett problem som är viktigt att hitta en lösning för. En lösning är att använda bioplast som är helt eller delvis tillverkad av förnyelsebart material till insamling av matavfall eller inplastning av livsmedel. Men det finns emellertid fortfarande kunskapsbrist om vilken bioplast som lämpar sig för anaerob nedbrytning.

I studien undersöktes om bioplast kunde brytas ned tillsammans med organiskt avfall genom att använda tillslutna flaskor utan närvaro av syre för att likna miljön i en biogaskammare. Tre olika typer av bioplast testades. PLA (Poly Lactic Acid), PHBV (Poly-3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) och Mater-Bi. PLA tillverkas av majs och sockerrör och används t ex till godispapper och medicinska implantat. PHBV tillverkas av majs och cassava och används till förpackningar av livsmedel som t ex ost och nötter. Mater-Bi tillverkas av råvaror från majs, potatis, vete, cassava och sockerrör men har även en fossil ingrediens. Plasten används främst till soppsåsar. En biogaskammare kan ha olika temperatur och ofta används temperaturer runt 37 grader (så kallad mesofil) och runt 52 grader (så kallad termofil). I denna studie undersöktes påverkan av temperatur på plastnedbrytningen genom att placera de tillslutna flaskorna med bioplast tillsammans med mikrobiella kulturer som härstammade ifrån en mesofil eller termofil biogaskammare. Mikroorganismerna fick bryta ned bioplasten i den anaeroba miljön och påverkan på bioplasten analyserades visuellt efter försökets slut.

Resultatet av studien visade att de tre plasterna kunde brytas ned i en biogaskammare tillsammans med organiskt avfall, men att nedbrytningsgraden varierade betydligt, både beroende på bioplastens sammansättning och på vilken temperatur nedbrytningen skedde. PHBV bröts ned snabbast och var mest nedbruten efter försökets gång i mesofil temperatur. PLA och Mater-Bi blev mest påverkade i termofil temperatur. Resultatet av studien kan hjälpa oss att bättre förstå anaerob nedbrytning av bioplast. Optimalt vore att ingen plast följde med in i biogaskammarna. Mer forskning behövs för att utveckla en bioplast som är 100 % nedbrytbar och dessutom skulle kunna bidra med näring till växterna.

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| Tabellförteckning | 9 |
| Figurförteckning | 10 |
| Förkortningar | 14 |
| 1. Introduktion | 17 |
| 1.1 Plast | 17 |
| 1.2 Framtid | 19 |
| 1.3 Anaeroba miljöer och metan | 20 |
| 1.4 Biogasanläggningen | 20 |
| 1.5 Nedbrytningsstegen av det organiska materialet i anaerob miljö | 22 |
| 1.6 Rötrest certifiering | 24 |
| 1.7 Anaerob nedbrytning av plast | 24 |
| 1.8 Syfte | 26 |
| 2. Material och Metod | 27 |
| 2.1 Uppsättning av anaeroba nedbrytningsförsök | 27 |
| 2.1.1 Medium för inkubering | 27 |
| 2.1.2 Plaster som undersöktes | 30 |
| 2.1.3 Inokulering | 31 |
| 2.1.4 Analyser av ymp | 33 |
| 2.1.5 Analytiska metoder | 34 |
| 2.2 Om ympning för anrikning av plastnedbrytande organismer | 35 |
| 2.3 Analys av plastnedbrytning | 35 |
| 3. Resultat | 37 |
| 3.1 Plastnedbrytning | 37 |
| 3.2 Avslut av försöket | 45 |
| 3.2.1 PLA (Poly Lactat Acetat) | 47 |
| 3.2.2 Mater-Bi | 49 |
| 3.2.3 PHBV (Poly-3-hydroxi-3-butyratvalerat) | 51 |
| 4. Diskussion | 56 |
| 4.1 Nedbrytning av plasten | 56 |
| 4.1.1 57 | |
| 4.2 Vidare undersökning | 60 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 4.3 Intervjuer | 61 |
| 5. Slutsats | 66 |
| Referenser..... | 67 |
| Tack 74 | |
| Bilaga 1..... | 75 |
| Bilaga 2..... | 77 |

Tabellförteckning

| | |
|--|----|
| Tabell 1 Uträknad TS och VS i ympar från de två biogasanläggningarna som användes i studien. Anges som procent av våtvikt. | 37 |
| Tabell 2. Tabellen visar plastsort, flaskans namn och vikten av plastbitarna i milligram, mg. Vikten angiven för Start av försöket och jämförs med vikten vid Avslut av försöket. M står för mesofil och T står för termofil. | 38 |
| Tabell 3. Sammanfattande tabell för nednedbrytning av de tre undersökta plasterna PLA, Mater-Bi och PHBV. Grön figur symboliserar nedbrytning där 1 är lite och 3 betyder helt nedbruten. Ljust lila figur står för att plasten är påverkad genom att bitar spruckit, gått sönder eller skrynklat ihop men ej nedbruten synligt för ögat. | 53 |
| Tabell 4. Tabell för invägd plast för start av försöket jämförelse med vikt för plasten vid avslut av försök. Vikten mäts i mg. Saknade värden för icke avslutade försök. | 77 |

Figurförteckning

| | |
|--|----|
| Figur 1. Illustration över uppdelning av biobaserade- och fossilbaserade plaster samt om de är nedbrytbara eller icke nedbrytbara (European bioplastics 2024.)..... | 18 |
| Figur 2. Den övre processen visar lastbil som kommer med organiskt material från hushåll och verksamheter. Här avskiljs förpackningsmaterial av plast och metallföremål som tex plastpåsar och bestick. Den nedre processen visar lastbil som kommer med organiskt maerial från slakteri, industri och lantbruk. Det organiska materialet kommer sällan i förpackningar varvid det inte avskiljs något här.(Uppsala vatten 2021) | 21 |
| Figur 3. Bilden visar det organiska materialets väg genom förbehandling, hygieniseringsprocess och rötning för att sedan transporteras ut på åkern igen som en näringsrik rötrest. Metan tas till vara och blir fordonsbränsle.(Uppsala vatten 2021). | 22 |
| Figur 4. Stegvis nedbrytning av organiskt material till biogas. (Schnürer & Jarvis 2017). | 23 |
| Figur 5. a) avvattnad rötrest som kommit ur en biogasprocess. b). avvattnad rötrest när inte plasten kunnat rensas ut. | 25 |
| Figur 6. Tillverkning av fosfatbuffert. a) KH_2PO_4 tillsätts, b) blandas och c) kokas | 27 |
| Figur 7. a) Basalmediet blandat och kokat. b) Under kylningen av basalmediet flushas kvävgas ner i kolven. | 27 |
| Figur 8. 250ml Flaskor har fyllts med 72 ml basalmedium. (Se recept för W1 och W2). Butylgummipropp och aluminiumring (lock) satts på. | 28 |
| Figur9. a) .Flaskor med medium under flushning av N_2 . b) mikrofiltrets storlek c) mikrofiltret monterat på flaskan för flushning med N_2 | 28 |
| Figur 10. Flaskor med medium och C1 och C2 innan vätskan ändrat färg..... | 29 |
| Figur 11. Flaskor med plast och medium fotograferade underifrån. Från vänster PLA-plastbitar i form av granuler, mitten; 10 bitar av PHBV- plastremsa, till höger 10 bitar från Mater-Bi- grön bioplastpåse | 29 |
| Figur 12. <i>Plasterna som valts ut och använts i försöket är bioplaster.</i> | 30 |

| | |
|--|-----------|
| Figur 13. Till vänster; storleken på plastbitarna som användes i experimentet. I mitten; antalet bitar av varje plast som tillsattes i varje experimentflaska. Höger; 250 ml flaskorna med plastbitar..... | 31 |
| Figur 14. a). Simon Isaksson och Maria Westerholm fyller på de små biogasreaktorerna med termofil ymp från Kungsängens biogasanläggning. b). Ymp vägs upp och hålls i flaskorna. | 32 |
| <i>Figur 15. Mesofil behandling. Varje led sattes med tre replikata flaskor PLA, Mater-Bi, PHBV. "Metanflaskor" där ymp finns men utan plastbitar, för att kunna mäta metanproduktionen i ympen enbart. Till sist också tre kontrollflaskor med avdödad ymp och plastbitar i sattes för att se om någon nedbrytning sker enbart kemiskt utan mikroorganismer.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Figur 16. Termofil behandling. Triplikat sattes av PLA, Mater-Bi, PHBV, Triplikat av "Metan" dvs. flaskor med ymp utan plast i för att kunna mäta metanproduktionen i ympen enbart och till sist tre där flaskorna innehåller avdödad ymp och plastbitar för att se om nedbrytning sker kemisk utan mikroorganismer. Benämning av flaskorna i termofil behandling:.....</i> | <i>33</i> |
| Figur 17. a). termofila behandlingen b) mesofila behandlingen. 15 flaskor i varje behandling där triplikat sattes för varje plastsort. Småflaskorna till höger är vialer som används för gasprover..... | 33 |
| Figur 18 Aska som blir kvar efter att provet varit i ugnen 550° C. | 34 |
| Figur 19. a) vialflaska för gasprov. b) Röd tryckmätare och flaskor i dragskåpet. | 34 |
| Figur 20. 3 silar, med minskande mått nedåt i silnäten, staplade på varandra..... | 36 |
| Figur 21. Mesofil behandling av PHBV. Plastbiten har som en brun biofilm på ytan..... | 39 |
| Figur 22 . Mesofil behandling. a) flaskan med PLA plast. Exponerad bild så att en liten vit granul ska syna nere till höger, strax under ytan på ympen. b) Mater-Bi plastbitar fortfarande något ljusgröna. c) flaskan med PHBV plast. | 39 |
| Figur 23. Plastbitar, kontroller efter 36 dagars inkubation. a) 10 st. PLA i form av små granuler, b) 10 bitar av PHBV plastremsa, c) 10 bitar från grön plastpåse biobag av Mater-Bi..... | 40 |
| Figur 24. Flaskor med ymp och plast. Mesofil behandling a) PLA, b) Mater-Bi, c) PHBV. | 40 |
| Figur 25. Flaskor med ymp och plast. Termofil behandling från vänster a) PLA, b) Mater-Bi, c) PHBV. | 41 |
| Figur 26. PHBV- flaska mesofil behandling. | 41 |

| | |
|--|----|
| Figur 27. Mesofil behandling. I jämförelse med bilderna från dag 15, 2023-11-10 har det blivit mer ansamling av mörka partier i vätskan. a) PLA. b)Mater-Bi c) PHBVT. | 41 |
| Figur 28. Termofil behandling. a) PLA längst till vänster, b)Mater-Bi i mitten c) PHBV till höger..... | 42 |
| Figur 29. Närbild på PHBV termofil behandling, hur det ser ut på plastbitarna.Figur 29. Närbild på PHBV termofil behandling, hur det ser ut på plastbitarna. | 42 |
| Figur 30. Termofil och mesofil behandling från omgång 2. PHBVT till vänster och PHBVM till höger. | 42 |
| Figur 31. a och b. Termofil behandling med PHBV plasten. Bitarna har naggats i kanten, vätskan blivit mer svart och grumlig..... | 43 |
| Figur 32. a och b. Mesofil behandling med plasten PHBV. Vätskan blivit grumlig och mer gul, nedbrytning syns tydligt på plastbitarna vilka är naggade i kanterna. | 43 |
| Figur 33. PLA termofil behandling . a) PLA kontroll, b) PLA med ymp | 43 |
| Figur34. MB termofil behandling a) kontroll, b) MB med ymp..... | 44 |
| Figur 35. PHBV termofil behandling, a) PHBV kontroll, b) PHBV med ymp | 44 |
| Figur 36. PLA mesofil behandling. a) PLA kontroll, b) PLA med ymp | 44 |
| Figur 37. Mater-Bi mesofil a) Mater-Bi kontroll, där texten på plasten syns tydligt b) Mater-Bi med ymp där text försvunnit. | 45 |
| Figur 38. PHBV mesofil behandling. a) PHBV kontroll. b) PHBVM med ymp. | 45 |
| Figur 39. Metanproduktion vid mesofil behandling av PLA. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metan, dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast. | 48 |
| Figur 40. Termofila behandling av PLA. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje som visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metan dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast. | 48 |
| Figur 41. Mesofila behandlingen av Mater-Bi. Blå linje visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast. | 50 |
| Figur 42. Termofila behandlingen av Mater-Bi. Blå linje visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast. | 50 |

| | |
|---|----|
| Figur 43. Mesofil behandlingen av PHBV. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje som visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast. | 52 |
| Figur 44. Termofil behandlingen av PHBV. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje som visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast. | 52 |
| Figur 45. Metanproduktion i Mesofil behandling "nr2". | 54 |
| Figur 46. Metanproduktion för termofil behandling "nr 2"..... | 54 |
| Figur 47. Obehandlad yta av de tre plasterna. a)PLA, b)Mater-Bi, c) PHBV..... | 58 |
| Figur 48. Bitarna grävdes ner på 10 cm djup. Från vänster till höger: a) PLA, b) Mater-Bi, c) PHBV. | 75 |
| Figur 49. Krukorna förbereds med jord från trädgården. | 75 |
| Figur 50.a Mater-Bi plasten läggs ned i komposten. b) Plastpåsen grävdes upp 2024-04-07 | 76 |
| Figur 51. a) tre krukor med jord och plast i. b). PLA c). Mater-Bi d). PHBV. | 76 |

Förkortningar

| | |
|----------------|--|
| Additiver | Tillsatser, ämne som tillsätts för att plasten ska uppnå en viss egenskap. |
| Aerob | En miljö där det finns tillgång till syre |
| Anaerob | En syrefri miljö, ej tillgång till syre. |
| Bionedbrytning | Nedbrytning av organiskt material |
| Bioplast | Plast som är helt eller delvis tillverkad av förnyelsebara råvaror. |
| Flush | En gas som flödar ner i en behållare. I detta fall kväve som trycker undan syret för att få en syrefri miljö. |
| Fossilgas | Icke förnybar gas som utvinns ur gasfyndigheter under markytan för att användas till bland annat energi. |
| Fossilplast | Plast som framställs från råolja och fossilgas. |
| GC | Gaskromatograf, ett instrument som används för att mäta och separera olika typer av gas i ett prov. |
| Hydrolys | En kemisk process där molekyler och föreningar klyvs till mindre molekyler eller föreningar. |
| Hygienisering | Inom biogasproduktion; det organiska materialet som kommer in i en stor kammare där det värms upp till 70°C för att avdöda skadliga bakterier och patogener. |
| Inkubering | Förvaring av ett material vid en bestämd temperatur, luftfuktighet eller annan fysikalisk betingelse under en viss tid. |
| Inokulering | ”Inom”. Här i betydelsen att plast lades ner i flaskor tillsammans med ett |

| | |
|--------------|---|
| Kompostering | närings medium och ymp i en syrefri miljö likt en biogasprocess. En syresatt process för nedbrytning av där organiskt material av mikroorganismer. Kan nå höga temperaturer ca 50°- 70 °C, ibland lägre om det är en hemmakompost. |
| Mater-Bi | Namn på en bioplast tillverkad av förnyelsebart och fossilt råmaterial. |
| Medium | En vätska som innehåller en blandning av olika näring och buffertämnen som en mikroorganism behöver för att tillväxa. |
| Mesofil | Här i betydelsen en biogasprocess som hålls vid ca 37°C. |
| Monomerer | "en del", "en enhet". En liten molekyl |
| Omympning | En liten mängd ymp som tas från ett prov för att sättas om i ett nytt prov för att undersöka mer noggrant vad det finns för ämnen eller mikroorganismer i provet. |
| PHBV | Poly-3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate. Namnet på en bioplast. |
| PLA | Poly Lactate, namn på en bioplast |
| Polymer | "Många delar", "många enheter" som sitter ihop. De är uppbyggda av monomerer. |
| Reject | Den plats i en biogasanläggning dit avfall kommer som silats bort, som inte ska med i rötningsprocessen. Detta material skickas till energiåtervinning. |
| Rötning | Det organiska materialet kommer in i en stor kammare/ behållare i biogasprocessen. Här råder anaerob miljö och antingen mesofil eller termofil temperatur. Här bryts materialet ned av anaeroba mikroorganismer. Det bildas metan. |
| Rötrest | Den biogödsel som kommer ut ifrån röt-kammaren i biogasprocessen. |

| | |
|--------------|--|
| Termofil | Här i betydelsen en biogasprocess som hålls vid ca 52°C. |
| TS | Torrsubstans, Då vatten och fukt avdunstat i ett material. Här i betydelsen att ympen varit i en ugn i ett dygn vid 105 °C. |
| Uppehållstid | Den tid (antal dagar) som det organiska materialet befinner sig i biogasprocessens rötkammare. |
| VFA | Volatile fatty acids, fettsyror. |
| VS | Volatile solids, flyktiga fasta ämnen, då det organiska materialet befunnit sig i en ugn i ett dygn vid 550°C. I provet finns då bara aska kvar. |
| Ymp | Organiskt rötat material som hämtats från en biogasanläggning. |

1. Introduktion

Introduktionen inleds med en generell beskrivning av plast och bioplast för att sen beskriva plastens nedbrytning i en anaerob (syrefri) miljö som biogasprocess, därför finns biogasprocess och mikroorganismernas betydelse för nedbrytning av organiskt material med.

1.1 Plast

Plast är ett material som används dagligen över hela vår jord. Nedskräpning av plast är ett enormt problem världen över (Avfall Sverige 2022). Som exempel kan nämnas i havet, där det uppskattas finnas 150 miljoner ton plastskräp. Varje år ökar den siffran med mellan 5-13 miljoner ton. Detta påverkar djur, natur och oss människor negativt. (Urbanek et al. 2017, Connan et al. 2021). Plast kan tillverkas på många olika sätt och därför finns det också väldigt många olika plaster.

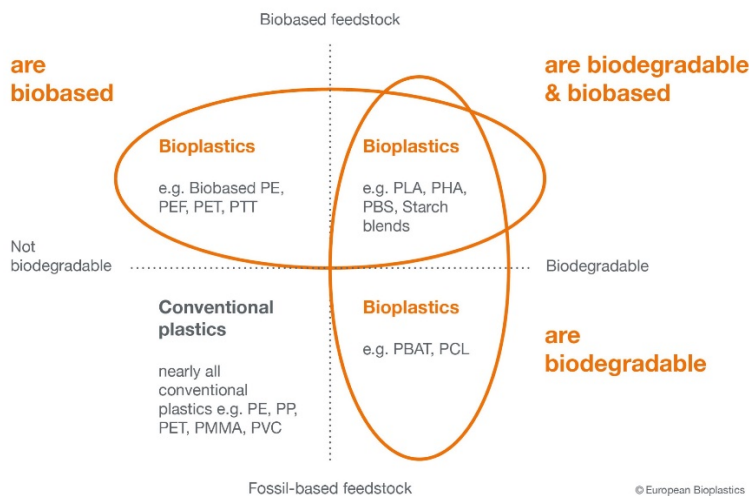
Plast består av långa, kemiska föreningar, *polymerer* som i sin tur är uppbyggda av mindre kemiska föreningar, *monomerer*

Plasterna är oftast sammansatta av organiska föreningar där kol och väte är de minsta beståndsdelarna. De byggstenar som plasten tillverkas av ger plasten dess egenskaper. För att plasten ska få en viss egenskap blandar man i tillsatser, additiver, som exempelvis kan vara mjukgörande, för armering eller ett flamskyddsmedel (Kemikalie inspektionen 2022, Livsmedelsverket 2017).

Oftast talar man om två olika typer av plast, fossila plaster och bioplaster, men det finns också plaster som innehåller både fossil och bioplast (Naturvårdsverket 2023). Fossila plaster tillverkas av råolja och fossilgas. Bioplaster har sin råvara från växtriket som exempelvis träfiber, grönsaksavfall, fityrolja, sockerrör, majs och alger. Det produceras ca 330 miljoner ton fossila plaster varje år medan bioplaster ligger på en produktion på ca 2 miljoner ton. Produktionen av bioplaster ökar för varje år (Nordisk bioplastförening 2019). Enligt en undersökning från 2021 minskar tyvärr inte produktionen av fossil plast i nuläget (Bauer 2021). Det flöde av plast

som är störst i Sverige är förpackningar och återfinns i alla samhällssektorer. (ivl 2023), (Ljungkvist Nordin 2019).

Kan plast brytas ner? Frågan kan besvaras med både ja och nej (Veluru & Seeram 2024). Det finns olika kategorier av fossilplast och bioplast (se exempel i Fig.1). Det finns plaster som är nedbrytbara och en del är icke nedbrytbara. Det är skillnad på *nedbrytbar plast* och *biobaserad plast*. En *nedbrytbar* plast kan ha fossilt ursprung eller förnyelsebart material som ursprung. En *biobaserad* plast framställs av förnyelsebara råvaror, helt eller delvis tillverkad av biomassa och kan vara helt nedbrytbar, delvis nedbrytbar eller icke nedbrytbar. Fullständig *bionedbrytning* av plast innebär att allt organiskt material i plasten bryts ner till koldioxid, vatten och salter. I anaeroba miljöer bildas även metan vid den mikrobiella nedbrytningen. Europakonventionen har tagit fram en standard, EN 13432, som vägleder och anger vilka egenskaper som material, däribland plast, måste ha för att få kallas biologiskt nedbrytbar. (European Commission 2022). Frågan om plast och dess produktion relaterar till FN:s miljömål nr 12 som handlar om att hållbar konsumtion och produktion.



Figur 1. Illustration över uppdelning av biobaserade- och fossilbaserade plaster samt om de är nedbrytbara eller icke nedbrytbara (European bioplastics 2024.)

Förkortningar och exempel på användningsområden:

PE(Polyeten) används till leksaker, köksredskap och kablar. PEF(Polyethylene furanoate)-plastflaskor för vatten, mjölk och andra drycker.(Bioplastic news.com 2023). PBS (Polybutulene succinate)- Förpackningar och engångs muggar för varma drycker, medicinkapslar (Science direkt 2023). PET(Polyetentereftalat)- plastburkar, plastflaskor och textilier. PTT(Polymtylentereftalat)-fiber som används inom textilindustrin (Bio innovation 2021) PLA (Polylactic acid)- i 3D-utskrifter, godispapper och medicinska implantat. PHA(Polyhydroxyalkanoat)- en grupp av biopolymerer där PHBV ingår och används till förpackning av livsmedel exempelvis ost, nötter och frysta livsmedel,

medicinska implantat (Grujic, R et al. 2017). PP (Polypropen)- matbehållare, leksaker, möbler och textilier. (Kemikalieinspektionen 2023). PMMA (Polymetylmetakrylat)- Glasningar, skylt och reklam, apparattillverkning, armaturer, kåpor (Nordic plastics group 2024). (PBAT(Polybutylene adipate tereftalat)- en mjukgörare som ingår bland annat i Mater-Bi. PCL(Polycaprolactone) – inom vården tex blodpåsar, (L, W. McKeen-2013).

Att bioplaster är nedbrytbara syftar till att de under rätt förhållanden med syre, temperatur, ljus och mikroorganismer bryts ner till koldioxid och vatten. (Nordisk bioplastförening 2023). Hur hög procent av plasten som är nedbrytbar och hur lång tid det tar beror på vad de är tillverkade av, hur plasten är sammansatt kemiskt och vilka additiver i olika nivåer den innehåller. Att en plast är nedbrytbar ska därför inte tolkas som att plasten lätt bryts ner i naturen eller i hemmakomposten. När det står att plasten är nedbrytbar betyder det oftast industriellt nedbrytbar vilket sker vid ca 50°-70°C. Så hög temperatur blir det inte i naturen och oftast inte i en hemmakompost (Naturvårdsverket 2023).

Hur bryts plasten ner? Plast som är nedbrytbar bryts ner bland annat av mikroorganismer och UV strålning från solen (Sharma & Jain 2020). Hamnar plasten i naturen kan det ta många, många år innan den är nedbruten. Oftast bryts inte plasten ner helt utan lämnar efter sig mindre fraktioner och mikroplaster (1nm-5mm). Beroende på vad additiven innehåller kan den vara helt ofarlig eller innehålla föroreningar och skadliga ämnen som då frigörs i naturen (Naturvårdsverket 2023, Naturvårdsverket 2021).

Nya innovationer och nya mjukgörare har uppfunnits vilket gör att mjukplast från Sverige numera inte innehåller giftiga additiver enligt Svensk Plastindustriförening (SPIF). På grund av att mikroplaster är så små och har så låg densitet finns de också som utbredda föroreningar i atmosfären (Revell et al. 2021). Det finns mycket osäkerhet om hur plasten påverkar naturen, människor och djurs hälsa (Livsmedelsverket 2023).

1.2 Framtid

Hur ser framtiden ut? Allt fler företag på marknaden startar upp produktion av plast som närmar sig fossilfritt. Mycket återstår av forskning inom området och om hur plaster kan produceras energisnålt, hållbart, utan farliga additiver och fossila inslag.

En plast som skulle kunna vara 100 % nedbrytbar och till och med kunna bidra till näring för växter och eventuellt även en ökad metanproduktion (här i avseende i en biogasprocess, se text nedan) vore en stor vinst i ett cirkulärt flöde i samhället (Muneer et al. 2016). Att tillverka nedbrytbar, giftfri plast av avfallsströmmar eller biprodukter vore optimalt då det inte heller konkurrerar med produktion av mat på

åkermark. Mer forskning behövs för att öka förståelsen av anaerob nedbrytning av bioplaster, undersöka vilka ämnen som frigörs och om och vad det ger för konsekvenser (Canete Vela et al. 2022).

1.3 Anaeroba miljöer och metan

Anaeroba miljöer finns naturligt överallt i vår omgivning som exempelvis i sjösediment, hav, i kons mage, våtmarker och risfält. Här bryts organiskt material ned till koldioxid och metan, vilket avges till atmosfären.

I en biogasanläggning, som är en av människan skapad anaerob miljö, fångas metan upp och kan användas som förnybar energi. Från processen kommer också en näringsrik rötrest, vilken innehåller kväve, fosfor, kalium och andra viktiga ämnen som sedan återförs till åkrar och mark. I rötresten finns också organiskt kol som kan bidra positivt till markens struktur och mullhalt (Schnürer & Jarvis 2017).

Biogasen som bildas är miljövänlig (Schnürer & Jarvis 2017) då endast koldioxid och vatten bildas vid förbränningen av metangasen. På grund av att kolet i processen kommer från det organiska avfallet som redan funnits ovan mark så är det inte ny koldioxid som bildas utan det finns redan i kretsloppet och blir inte ytterligare bidrag till växthuseffekten. På detta sätt skapas en cirkulärt hållbar miljö och blir en källa till ett cirkulärt ekonomiskt flöde genom att effektivt använda resurser, i detta fall är det avfall, i samhället så att det kommer tillbaka där de utgått ifrån. Det blir också en möjlighet att öka Sveriges självförsörjningsgrad genom att kunna minska import av näringsämnen som kväve.

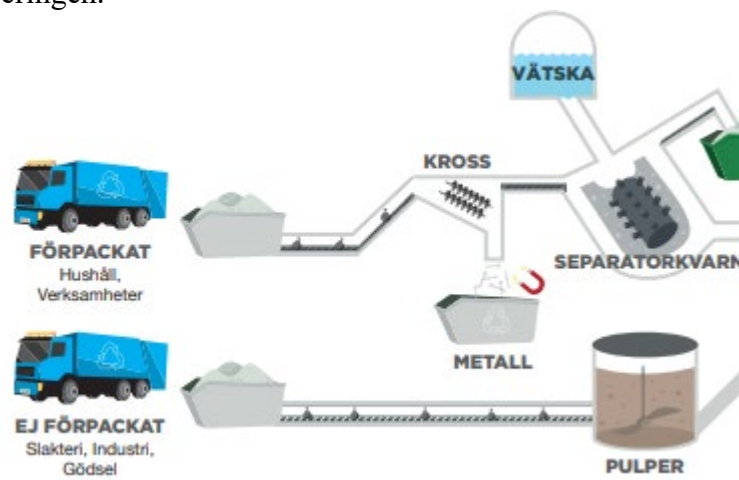
För att förstå det organiska materialets väg genom en anaerob process följer en enkel beskrivning i fyra steg på hur en biogasanläggning fungerar och sedan en beskrivning hur mikrobiologisk nedbrytning av organiskt material går till (stycke 2.1- 2.2).

1.4 Biogasanläggningen

Det finns olika typer av biogasanläggningar och den som beskrivs här är CSTR (Continuous stirred tank reaktor), kontinuerligt omrörd reaktortank vilket är den vanligaste reaktortypen i Europa (Schnürer 2023). Material som tas emot på en biogasanläggning kan exemplifieras med hur det ser ut hos Uppsala vatten (2021).

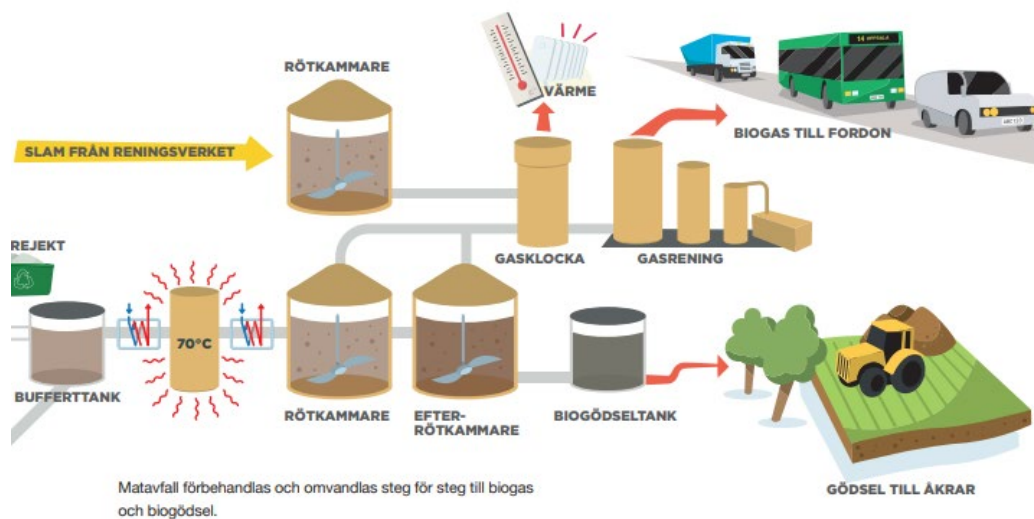
Mottagning av organiskt avfall hos anläggningen kommer i stora lastbilar från till exempel kommunens organiska avfall som hämtats från hushåll eller andra verksamheter. Det kan vara både förpackat och icke förpackat. För det förpackade

organiska avfallet sker en **förbehandling** i en kross. I matavfallet ligger ibland bestick och andra magnetiska föremål som rensas ut med hjälp av en stor magnet. Det organiska materialet sönderdelas i mindre bitar i en separatorkvärn för att sedan pressas genom en sil med 12 mm stora hål. Vätska tillsätts för att det ska bli till flytande och pumpbar konsistens. Det som inte kommer igenom silen utan blir kvar, tex förpackningar och påsar, blir ett rejekt. I rejektet samlas det avfall som går till förbränning och används för energiutvinning i kommunen. Från silen går sedan det organiska avfallet in i en bufferttank där det blandas med gödsel, slakteriprodukter och annat organiskt material för att transporteras till nästa steg som är hygieniseringen.



Figur 2. Den övre processen visar lastbil som kommer med organiskt material från hushåll och verksamheter. Här avskiljs förpackningsmaterial av plast och metallföremål som tex plastpåsar och bestick. Den nedre processen visar lastbil som kommer med organiskt material från slakteri, industri och lantbruk. Det organiska materialet kommer sällan i förpackningar varvid det inte avskiljs något här. (Uppsala vatten 2021)

Hygieniseringen sker genom att det organiska materialet från båda stegen ovan transporteras in i en tank där det värms upp till 70 °C. Där stannar materialet minst en timme för att ta död på smittförande mikroorganismer. Värmeenergin från tanken tas till vara och återanvänds i en värmeväxlare.

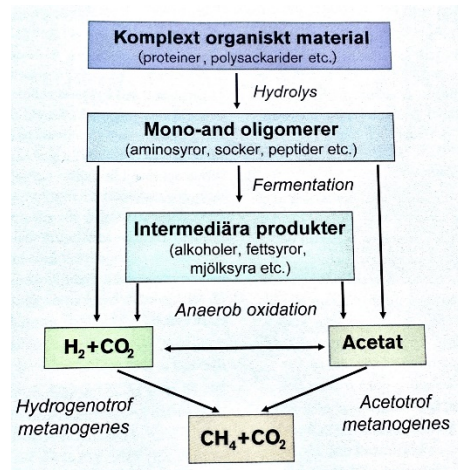


Figur 3. Bilden visar det organiska materialets väg genom förbehandling, hygieniseringsprocess och rötning för att sedan transporteras ut på åkern igen som en näringsrik rötrest. Metan tas till vara och blir fordonsbränsle. (Uppsala vatten 2021).

Avfallet rötas sedan i röt-kammare där kontinuerlig omrörning och inmatning av sönderdelat organiskt material sker (figur 4). I detta steg bryts det organiska materialet ner av de viktiga mikroorganismerna (Schnürer & Jarvis 2017). Rötningssprocessen sker antingen termofilt, vanligtvis vid 50-55°C eller mesofilt vid 35-37°C

1.5 Nedbrytningsstegen av det organiska materialet i anaerob miljö.

Bakom en effektiv nedbrytning av organiskt material och produktion av biogas finns ett komplicerat mikrobiologiskt förlopp (Schnürer & Jarvis 2017).



Figur 4. Stegvis nedbrytning av organiskt material till biogas. (Schnürer & Jarvis 2017).

Det första steget i den anaeroba nedbrytningen är **hydrolysen**. Eftersom mikroorganismerna inte kan ta in stora föreningar av kolhydrater, fett och protein producerar hydrolytiska bakterierna enzymer som kan bryta ner föreningarna i mindre beståndsdelar för att sedan kunna ta in dem i sina celler (Westerholm 2022). Av kolhydrater bildas olika sackarider, socker eller alkoholer. Av fetter bildas långa fettsyror eller glycerol och av protein bildas aminosyror. Det är viktigt med en balans mellan dessa olika komponenter då vissa kolhydrater är svårare att bryta ner än andra, till exempel cellulosa. Vad gäller fetter så är det energirikt, men det kan ibland bli problem i nedbrytningen om det finns för mycket fett, då det bildas långa fettsyror i nedbrytningen vilket kan orsaka skumning. (Schnürer & Jarvis 2017 se Mc Inerney, 1988)

I nästa steg i nedbrytningen bryter bakterierna ned föreningarna till syror som till exempel propionat, acetat, alkoholer, vätgas och koldioxid i s.k. fermentation. Dessa föreningar omvandlas vidare genom anaerob oxidation som i nästa steg bryts ned av metanogener till metan. För att de olika stegen ska kunna fungera och genomföras i biogasprocessen krävs ett lagarbete av mikroorganismerna för en effektiv nedbrytning. (Angelidaki et al. 2011) För att biogasprocessen ska kunna drivas stabilt och effektivt är det en förutsättning att ha kunskap om hur mikroorganismer fungerar och att också förstå biologin bakom, som är själva grunden för processen (Schnürer & Jarvis 2017).

Processparametrar

Omgivningsfaktorer är viktigt för mikroorganismer. De är ofta anpassade för att växa inom olika temperaturspann. Mikroorganismerna i en mesofil biogasprocess växer som snabbast vid 37° – 39°C och de termofila mikroorganismerna vid 55°– 60°C (Schnürer & Jarvis 2017) men mikrobiell tillväxt sker även mellan dessa

temperaturer. Andra viktiga omgivningsfaktorer är pH-värdet. Det vanligaste pH där mikroorganismerna trivs ligger mellan 7,0–7,5 men det kan variera och i biogasprocesser kan det ofta förekomma pH-värden upp till 7,9–8,3. (Schnürer & Jarvis 2017), (Muller, B et al. 2016)

I och med att mikroorganismerna växer till långsamt så är det viktigt med uppehållstiden i biogaskammaren. Materialet behöver därför stanna i biogasreaktorn en längre tid, ca en dryg månad. Räknar man med efterrötningsprocessen blir det ca 2 1/2 månad. Om materialet tas ut för fort så kan mikroorganismerna tvättas ut.

1.6 Rötrest certifiering

Certifieringen av en rötrest har också med om det finns synliga föreningar i rötresten. Definitionen av synliga föreningar är föremål större än 2 mm. (Avfall Sverige 2014).

Rötresten som bildas behöver vara av så god kvalitet som möjligt och inte innehålla hög andel av plastrester eller höga värden av kemikalier. Rötrest har olika benämningar beroende på vilket ursprung den har. Biogödsel kallas det då ursprunget är från gårdsanläggningar och samrötningsanläggningar dvs. anläggningar som rötar olika typer av organiskt material förutom slam från reningsverk. Röttslam kallas rötresten då den har ursprung från reningsverk För att en biogasanläggning ska kunna kvalitetssäkra biogödseln finns en certifiering som kallas SPCR 120 som ett hjälpmedel. Kraven som ställs i certifieringssystemet kontrolleras av RISE (Research Institute of Sweden). Certifieringssystem för röttslam är Revaq som drivs av Svenskt vatten (Svenskt vatten 2022).

Från och med 2023-01-01 gäller att i de biogasanläggningar som producerar certifierad biogödsel får endast godkända insamlingspåsar tas emot. En godkänd påse har blivit utvärderad som godkänd för kontakt med livsmedel enligt EC. No.1935/2004 eller certifierad enligt standarden EN13432 (Avfall Sverige 2023).

1.7 Anaerob nedbrytning av plast

Hur sker nedbrytning av plast anaerobt det vill säga i en miljö utan syre?

Kompostering luftas och är därmed framförallt aerob, vilket betyder att materialet bryts ner av mikroorganismer som har tillgång till syre. Rötning är en anaerob process vilket till exempel sker i en biogaskammare. Här bryts det organiska materialet ner av anaeroba mikrober som inte använder syre. Dessa två processer,

aerob och anaerob process skapar olika förutsättningar för hur nedbrytning sker och vilken mikrobiell flora som finns tillgänglig. (Schnürer & Jarvis 2017). För mikroorganismer innebär frånvaro av syre att de inte har en lika effektiv omsättning av energi eller elektronöverföring som när syre finns tillgängligt i en så kallad aerob respiration. Om det inte finns syre som kan ta upp elektroner som frigörs så behöver det finnas en annan elektronacceptor som tex en sulfat -eller järnförening. I en biogasprocess finns inte dessa föreningar i stora mängder. Mikroorganismerna kan i stället använda tex fermentation, vilket innebär att de ibland inte använder någon elektronacceptor som kommer utifrån cellen, utan cellen lägger elektroner på en mellanprodukt i nedbrytningen. Det finns relativt mycket forskning och arbeten om aerob plastnedbrytning. Intresset för om och hur plaster bryts ner anaerobt har ökat det sista decenniet.

Varför är det viktigt med anaerob nedbrytning av plast?

Undersökningen av anaerob nedbrytning av plast är viktig då det kommer en hel del plast till biogasanläggningar i form av till exempel avfallspåsar och matavfall i plastförpackningar. Det är av största vikt att se till att den rötrest som produceras är ren och av god kvalitet då den ska hjälpa till i produktionen av ny mat. Ofullständig nedbrytning av plaster resulterar i att plast sprids på odlingsmarker (Fig.5) där den riskerar att påverka vår natur. (Näring i kretslopp, 2022. Holmström 2022). Det behövs mer kunskap om hur plaster kan brytas ner i anaeroba miljöer och hur nedbrytningen påverkas av processparametrar. I en undersökning där en sammanfattning gjorts om kunskapsläget om nedbrytningshastighet av plast i anaerob miljö konstaterades att plasten bröts ner mer effektivt i biogassystem än i en naturlig anaerob miljö som en våtmark (Quecholac-Pina et al 2020). Det är också viktigt att veta vad som bildas då plasten bryts ned, att inte rötresten innehåller ämnen som hämmar tillväxten av grödan eller något ämne som man inte vill att växterna ska plocka upp, då rötresten sprids ut på åkern.

a



b



Figur 5. a) avvattnad rötrest som kommit ur en biogasprocess. b) avvattnad rötrest när inte plasten kunnat rensas ut.

1.8 Syfte

Syftet och bakgrunden till masteruppsatsen är att undersöka mikrobiell nedbrytning av olika bioplaster i anaerob miljö som imiterar biogasprocesser vid mesofil (37°C) och termofil (52°C) temperatur. Tre olika bioplaster har valts ut; PHBV (poly 3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) i form av en styv plastfilm som består av råmaterial från majs och cassava. PLA (polylactic acid) i form av små vita granuler vars råmaterial kommer från majs och sockerrör. Den tredje plasten heter Mater-Bi, en grön plastpåse, bio-bag, tillverkad av stärkelsebaserade polymerer från majs, potatis, vete, cassava, sockerrör och PBAT (Poly butylenadipat-co-tereftalat) vilket är ett biologiskt nedbrytbart ämne från fossil källa (Yang et al. 2023).

Nedbrytningen av plasten analyserades visuellt (med fotografier, mikroskop) och genom att mäta metanproduktionen från den anaeroba inkuberingen av plasten. Masteruppsatsen syftar även till att undersöka utmaningar och möjligheter kopplat till plast på biogasanläggningar och hos plastproducenter.

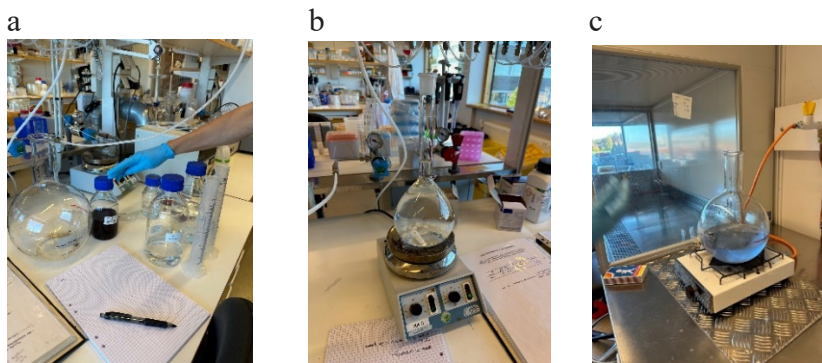
Intervjuer har gjorts med ingenjörer från biogasanläggningar, lantbrukare med egen biogasanläggning och ett företag som tillverkar vinylplast som dock är ett företag som tillverkar plast som inte ska brytas ned och hamnar därför lite utanför ämnet.

2. Material och Metod

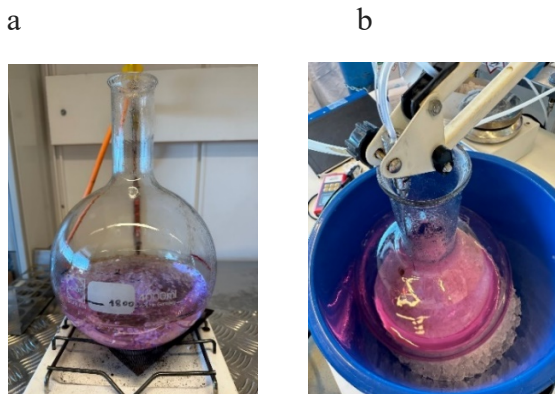
2.1 Uppsättning av anaeroba nedbrytningsförsök

2.1.1 Medium för inkubering

Mediet som användes i försöket är bikarbonat buffrat basalmedium (BM) som förbereddes i enlighet med Westerholm et al. 2010. BM innehåller en fosfatbuffert (KH_2PO_4), (NaHPO_4) för att stabilisera pH-värdet samt olika tillsatser som mikroorganismer behöver för att fungera och växa tex Se/Wo, Resazurin och jästextrakt.



Figur 6. Tillverkning av fosfatbuffert. a) KH_2PO_4 tillsätts, b) blandas och c) kokas



Figur 7. a) Basalmediet blandat och kokat. b) Under kylningen av basalmediet flushas kvävgas ner i kolven.

Medium hälldes i varje flaska samtidigt som kvävgasen flushade i flaskorna då syret måste tryckas bort. Gas byttes till 19,9% koldioxid och 80,1% kvävgas med hjälp av en vakumpump. Detta upprepades tre gånger.

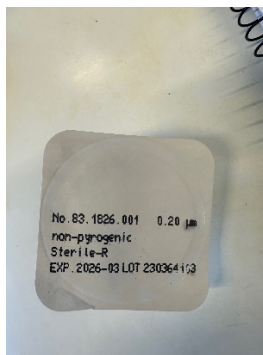


Figur 8. 250ml Flaskor har fyllts med 72 ml basalmedium. (Se recept för W1 och W2). Butylgummipropp och aluminiumring (lock) satts på.

a



b



c



Figur9. a) .Flaskor med medium under flushning av N2. b) mikrofiltrets storlek c) mikrofiltret monterat på flaskan för flushning med N2.

Efter autoklivering öppnades flaskorna, under flushning med N₂, för att lägga i de tre olika plasterna. Kvävgas, N₂ väljs som gasfas framför koldioxid för att buffertkapaciteten eller pH-värdet i flaskorna blir något högre (alkaliskt). Plastbitarna stoppades ner i respektive flaska och proppar sattes på. Samtidigt med att plastbitarna stoppades ner i respektive flaska flushades flaskorna med kvävgas (N₂) genom mikrofilter för att få bort det mesta av syret (O₂).

4 ml näringslösning (C1) tillsattes som vitaminer och mineraler för mikroberna. 4 ml vätska (C2) tillsattes sist, vilket gjorde att syretillgången reducerades i flaskorna. Färgen var från början rosa av mediet (figur 10). I och med tillsats av C2 försvann den rosa färgen och vätskan blev genomskinlig. Slutlig volym i flaskorna var 80 ml och inkubering skedde mesofil och termofil temperatur för att likna förhållandena i en biogaskammare.



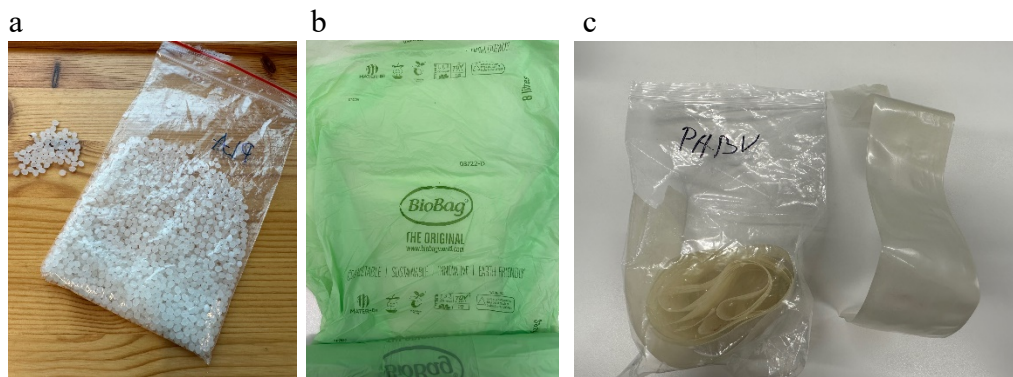
Figur 10. Flaskor med medium och Cloch C2 innan vätskan ändrat färg.

Innan C2 tillsattes var blandningen rosa. Efter 20 minuter var tre flaskor genomskinliga efter tillsats av C2 (se figur 10). Efter en timme var alla flaskor genomskinliga (figur 11).



Figur 11. Flaskor med plast och medium fotograferade underifrån. Från vänster PLA-plastbitar i form av granuler, mitten; 10 bitar av PHBV- plastrensa, till höger 10 bitar frånMater-Bi- grön bioplastpåse

2.1.2 Plaster som undersöktes



Figur 12. Plasterna som valts ut och använts i försöket är bioplaster.

a) PLA, b) Mater-Bi och c) PHBV plast.

PLA (Polylactic acid) i form av vita granuler är tillverkad av majs och sockerrör. En ren form utan additiver från Nature Works, USA. Mater-bi (stärkelsebaserad polymer), soppåsen ska vara komposterbar enligt EN 13432:2002-standarden med råvaror från majs, potatis, vete, cassava och sockerrör. Sammansättningen är 70% PBT (polybutylenadipatereftalat), 20% stärkelse och 10% tillsatser. (Dolci et al. 2021) och är från Novamont, Österrike. PHBV (poly-3-hydroxybutyrat-co-3-hydroxyvalerat) tillverkas av dextros från majs och cassava från TianAn, Biopolymer ENMAT, China

PLA har ett brett användningsområde och är ett av de vanligaste materialen för till exempel 3D skrivare, det sägs vara 100% nedbrytbart och återvinningsbart. Det används i bionedbrytbara medicinska implantat och i godispapper. En populär plast som används mer och mer inom industrin. Den är miljövänlig i sin rena form men är ett ganska skört och styvt material som gör att det inte blir lämpligt för utomhusklimat eller hög stress (3dguide.se).

PHBV tillhör PHA familjen (poly hydroxialkanoater) och används bland annat inom läkemedelsindustrin, särskilt inom biomedicinska områden. Exempelvis kan nämnas inkapsling av läkemedel för cancerterapi, då det stegvis bryts ner och kan vara en långtidsfrisättning av läkemedlet. Den används också till ben och vävnadsgenerering (Tibaldi et al. 2019). Både PLA och PHBV syntetiseras av bakterier. (Yoshie et al. 2002)

Mater-Bi är en vanligt förekommande soppåse för matavfall. (ETV-certifierat, Environmental Technology Verification). Det används även till applikationer för jordbruk som tex. marktäckare vid odling av grönsaker, förpackningar, hygienartiklar och tuggprodukter för husdjur. Mater-Bi är klassat som nedbrytbar i hemmakomposten eller i jorden. (novamont.com).

Dessa tre plaster valdes då de är tillverkade för olika ändamål och har olika form mjukhet och textur. Alla tre är plasterna har benämningen bioplast och är

tillverkade av biobaserade material. PLA och PHBV i sin rena form medan Mater-Bi materialet är en tillverkad soppåse och är delvis tillverkad av förnyelsebart material.



Figur 13. Till vänster; storleken på plastbitarna som användes i experimentet. I mitten; antalet bitar av varje plast som tillsattes i varje experimentflaska. Höger; 250 ml flaskorna med plastbitar.

Av Mater-Bi och PHBV klipptes 10 bitar som var och en var 2cm * 2cm. Av PLA, tillsattes 10 st vita granuler i genomsnitt 0,4 cm i diameter till varje flaska. Plasterna vägdes in för att sedan stoppas ner i flaskorna.

2.1.3 Inokulering

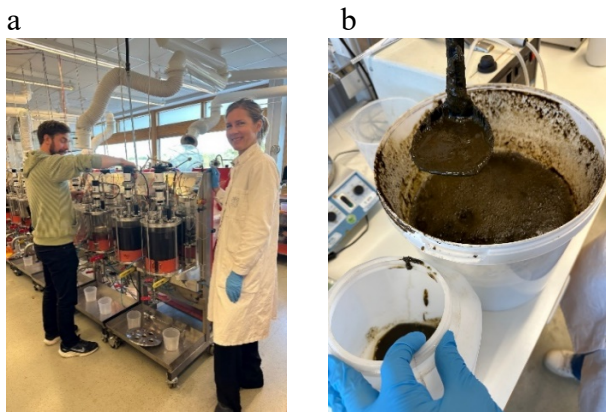
Satsvisa flaskförsök innehållande en typ av plast tillsammans med material från mesofil eller termofil ymp preparerades.

Ymp (rötrest) hämtades på Kungsängens och Lövsta biogasanläggningar. Flaskorna inkuberades i samma temperatur som källan för biogasmaterialet. Tre negativa kontroller för varje behandling med bioplast och filtersteriliserad vätska från biogasprocessen gjordes också i ordning. Tre kontroller för varje behandling utan bioplast sattes parallellt för att enbart mäta metanproduktionen i ymparna.

Ymp

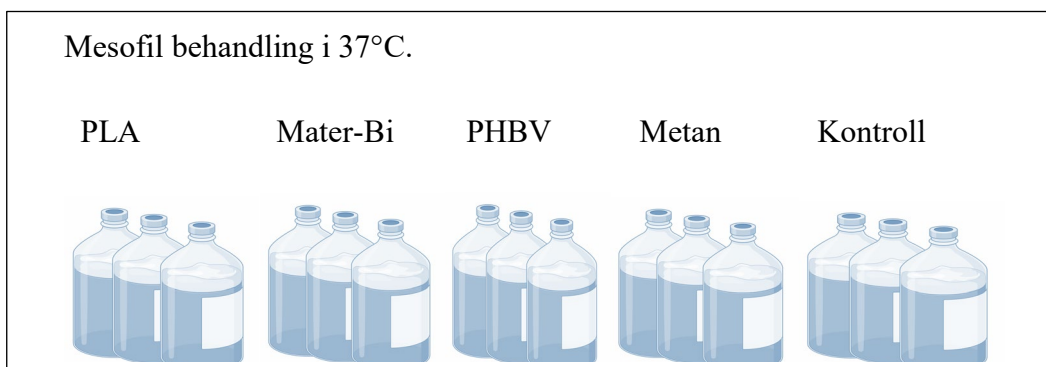
Ymp hämtades från två olika anläggningar. Biogasanläggningen i Lövsta drivs med mesofil temperatur (37°C) och rötar mestadels gödsel. I Kungsängens termofila biogasanläggning rötas i huvudsak matavfall och slakteriavfall. Båda ymparna avgasades vid sina respektive temperaturer då trycket annars skulle bli för högt i de flaskor som inkuberades.

Den termofila ympen (52°C) (figur 15a). Den mesofila ympen (37°C) (figur 15b).



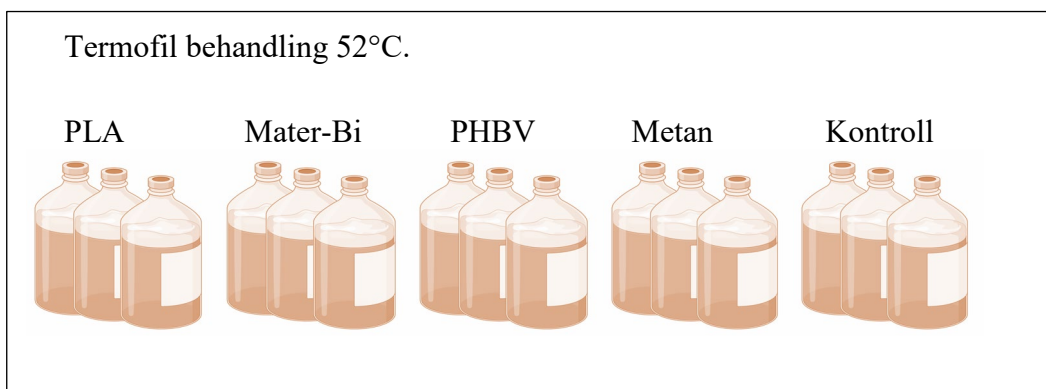
Figur 14. a). Simon Isaksson och Maria Westerholm fyller på de små biogasreaktorerna med termofil ymp från Kungsängens biogasanläggning. b). Ymp vägs upp och hälls i flaskorna.

Triplikata flaskor sattes för varje plastsort för både mesofil och termofil behandling. Totalt 30 flaskor. Tre flaskor utan plast startades i både det mesofila och termofila försöket för att registrera metanproduktionen från enbart ympen. 80 ml ymp från termofil ymp/mesofil ymp sattes till varje flaska. För att se om något kemiskt händer med plasten sattes tre negativa kontroller där respektive plastsort inkuberades i autoklaverad ymp från biogasreaktorerna. Autoklaven hettas upp till 121°C i 20 minuter under högt tryck och sedan fick flaskorna svalna innan plasten tillsattes. På så sätt avdödas bakterierna.



Figur 15. Mesofil behandling. Varje led sattes med tre replikata flaskor PLA, Mater-Bi, PHBV. "Metanflaskor" där ymp finns men utan plastbitar, för att kunna mäta metanproduktionen i ympen enbart. Till sist också tre kontrollflaskor med avdödad ymp och plastbitar i sattes för att se om någon nedbrytning sker enbart kemiskt utan mikroorganismer.

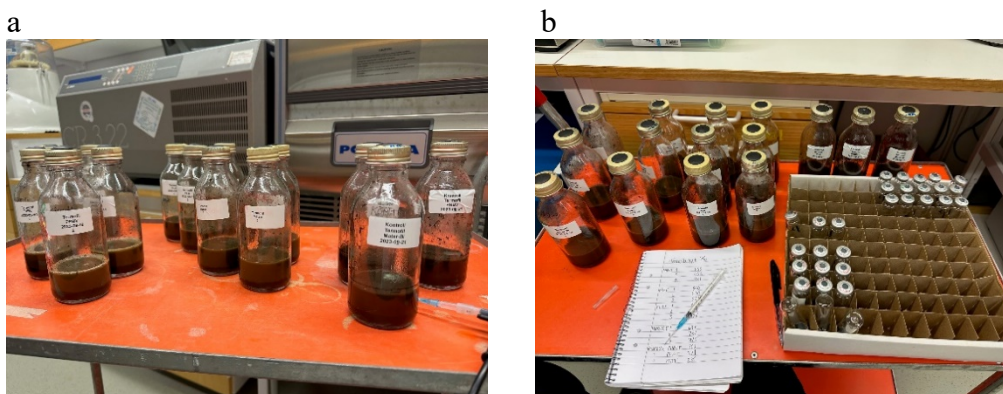
Benämning av flaskorna i mesofil behandling: MBM 1, MBM 2, MBM 3, PHBVM 1, PHBVM 2, PHBVM 3, PLA 1, PLA 2, PLA 3, Metan: M1, M2, M3 Kontroller: KPHBVM, KPLAM, KMBM



Figur 16. Termofil behandling. Triplikat sattes av PLA, Mater-Bi, PHBV, Triplikat av "Metan" dvs. flaskor med ymp utan plast i för att kunna mäta metanproduktionen i ympen enbart och till sist tre där flaskorna innehåller avdödad ymp och plastbitar för att se om nedbrytning sker kemisk utan mikroorganismer. Benämning av flaskorna i termofil behandling:

PLAT 1, PLAT 2, PLAT 3, MBT 1, MBT 2, MBT 3, PHBVT 1, PHBVT 2, PHBVT 3 Metan: T1, T2, T3, Kontroller KPLAT, KMBT, KPHBVT.

Inkubering fortgick i 111 dagar.



Figur 17. a). termofila behandlingen b) mesofila behandlingen. 15 flaskor i varje behandling där triplikat sattes för varje plastsort. Småflaskorna till höger är vialer som används för gasprover.

2.1.4 Analyser av ymp

Båda ymparna analyserades avseende torrsubstans (TS) och volatile solids (VS, flyktiga ämnen). För TS värms det organiska materialet till 105° C i 12 timmar. För att få fram VS värms sedan materialet till 550° C i 12 timmar. Materialet som blir kvar är aska och skillnaden mellan torrsvikt och aska motsvarar VS, det vill säga organiska ämnen.

TS (torrsubstans) och VS (volatile solids, flyktiga fasta ämnen) har beräknats för båda ymparna med formeln:

VS = Torrt prov – Aska / invägda totala provet.

VS i % = TS – aska / totala invägda provet.

a



b

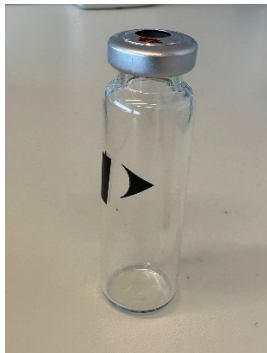


Figur 18 Aska som blir kvar efter att provet varit i ugnen 550° C.

2.1.5 Analytiska metoder

Tryckmätningar och gasproduktion analyserades varje vecka i samtliga flaskor.

a



b



Figur 19. a) vialflaska för gasprov. b) Röd tryckmätare och flaskor i dragskåpet.

Tryck och metanproduktion mättes en gång i veckan. Koncentration metan analyserades med en gaskromatograf (GC, Perkin Elmer instruments). Metoden för gaskromatograf analysen gjordes i enlighet med Westerholm et al. (2010).

Trycket mäts i millibar (mbar). Om trycket i flaskorna övergår 700 millibar släpps gas ut för att det inte ska ansamlas för mycket gas och flaskans propp ska flyga av på grund av för högt tryck. Då gas släpps ut noteras det nya trycket i flaskan. För att kunna räkna på hur mycket volym metan som producerats används ideala gaslagen. $pV = nRT$.

V är volymen som innesluts i flaskan i försöket, n=substansmängden gaspartiklar, T = den absoluta temperaturen,

R= en gaskonstant vilken är 8,31 J / Kmol. p = tryck i millibar (mbar). Temperaturen konverteras till Kelvin dvs 0° C är 273,15 ° K.

Av de kurvor för metan som redovisas i resultatdelen har ett medelvärde beräknats för de tre replikaten i varje behandling. (figur 43- 48)

2.2 Omympning för anrikning av plastnedbrytande organismer

För att anrika mikroorganismer som bryter ned plast togs ymp från den första omgångens flaskor och sattes i nya flaskor med nya plastbitar i. 12 nya flaskor förbereddes. 6 st flaskor där ymp fördes över från de mesofila flaskorna och 6 st flaskor där ymp från de termofila flaskorna överfördes. Dessa flaskor fick samma namn för respektive plast precis som första omgångens flaskor. Viktigt var att de fick ett tillägg i sin benämning som fick heta ”nr 2”, för att inte blandas ihop med första omgångens flaskförsök.

Det var svårt att få ut ymp från de mesofila flaskorna då ympen var tjock och trögflytande. Ca 2ml ymp togs ut från varje flaska i mesofil omgång 1 och sprutades ner i en ny flaska. Flaskorna från termofila behandlingen var något lättare att få ut ymp ifrån, då den ympen var något mindre trögflytande. Ca 4 ml togs ut från varje flaska och tillsattes i en ny flaska. Kontrollerna gjordes i ordning för omgång ”nr 2”. Plastbitar gjordes redo för att stoppas ner i flaskorna. (figur 12 a). Vialer och tryck tas en gång i veckan även för behandling ”nr 2” Totalt tas 42 tryck och prover varje vecka. (Från första omgången 30 st flaskor plus andra omgångens flaskor vilka blev 12 st).

2.3 Analys av plastnedbrytning

7 st flaskor i mesofil behandling, och 7 flaskor i termofil behandling i första omgångens försök avslutades efter 111 dagars inkubering. Från de 7 flaskorna i varje behandling som avslutades en flaska i varje triplikat. Flaskan som var märkt med nr 3 valdes. (sk.PLAM 3, PLAT3, MBM3, MBT3, PHBVM3, PHBVT3 för mesofil respektive termofil) samt metanflaska (M3) och alla triplikata. Kontrollerna (PLA, MB och PHBV) avslutades. Resterande flaskor från första försöket och de tolv nya omympningarna från försök ”nr 2” (se stycke 2.2) överlämnas till doktorand för fortsatta studier och nya försök

För att separera ut plasten användes silar i storleken 2mm, 1mm, 0,5 mm som sattes ovanpå varandra. Provet från avslutad flaska hälldes ut i silen för att undersöka om det fanns någon plast kvar (figur 22).



Figur 20. 3 silar, med minskande mått nedåt i silnäten, staplade på varandra.

Plastbitar som fanns kvar plockades ut och en del av dem sköljdes då det fanns mycket ymp som fastnat på bitarna. Plasten fick torka i rumstemperatur. Därefter fotades och vägdes plastbitarna för att kunna jämföras med utseendet och vikt de hade innan behandling. Bilder togs sedan med mobilkamera och mikroskop (MMT, Milmedtek AB, etaluma lumascope720). Plastbitarna fotades i vått och torrt tillstånd. Resterande 28 flaskor överlämnas till doktorand för fortsatta studier och nya försök (startvikt för plast vars försök ej är avslutat finns i Bilaga 2).

3. Resultat

Ympen från Lövsta hade högre TS och VS värden (i medel 7,7% , 9,1 %) än Kungsängens ymp (5,0 %, 2,8 %), Tabell 1, troligen pga att Lövsta rötter gödsel som gör ympen mer tjockflytande.

Tabell 1 Uträknad TS och VS i ympar från de två biogasanläggningarna som användes i studien. Anges som procent av våtvikt.

| Ymp från Kungsängens biogasanläggning | | Ymp från Lövsta biogasanläggning | |
|---------------------------------------|------|----------------------------------|------|
| TS % | VS % | TS% | VS % |
| A. 5,27 | 2,72 | A.7,73 | 4,32 |
| B. 4,39 | 2,82 | B. 7,91 | 4,63 |
| C. 5.31 | 2,85 | C. 7,40 | 4,45 |

3.1 Plastnedbrytning

Efter inkubering av plast i de anaeroba flaskorna vägdes plasten in för att kunna jämföra vikten vid avslutningen och vid början av försöket. Vikter tagna för både mesofil och termofil behandling. I Tabell 2 redovisas viktresultatet.

Tabell 2. Tabellen visar plastsort, flaskans namn och vikten av plastbitarna i milligram, mg. Vikten angiven för Start av försöket och jämförs med vikten vid Avslut av försöket. M står för mesofil och T står för termofil.

| Plastsort ↓ | Flaskans namn och plastens vikt i mg. | | | |
|----------------|---------------------------------------|------------|--------|------------|
| | START | | AVSLUT | |
| | M3 | M Kontroll | M3 | M Kontroll |
| PLA | 410,8 | 413,4 | 405,3 | 379,9 |
| PHBV | 287,5 | 271,0 | 0 | 515,0 |
| MATER-BI | 76,7 | 72,4 | 42,8 | 70,1 |
| Plastsort | T3 | T Kontroll | T3 | T Kontroll |
| PLA | 409,3 | 393,5 | 113,3 | 104,9 |
| PHBV | 632,3 | 557,3 | 5,3 | 192,2 |
| MATER-BI | 75,7 | 71,1 | 27,18 | 70,4 |

M3 - mesofil flaska nr 3 i triplikaten, T3 – termofil flaska nr 3 i triplikaten, M Kontroll – mesofil kontroll och T Kontroll – termofil kontroll.

Utifrån tabellen kan vi avläsa att vikten på plasten har minskat i nästan alla inkuberingar. Den plast som minskat mest är PHBV både i den termofila och den mesofila inkuberingen med mikroorganismer. I den mesofila behandlingen bröts den ner först och försvann helt. I den termofila behandlingen var den nästan helt nedbruten. I alla flaskor hade plasten minskat i vikt utom den mesofila kontrollen för PHBV. Den vägde nästan dubbelt så mycket efter behandling än före. Bitarna var mörkare än innan behandlingen och förmodligen har fett från ympen fastnat på plasten som orsakar viktökning. Eftersom vikten mäts i mg behövs inte så mycket för att plastens vikt ändras. I den termofila kontrollen hade vikten minskat för PHBV vilket tyder på att den högre temperaturen till viss del inverkat på plasten i frånvaro av mikroorganismer.

I följandet avsnitt följs plastnedbrytningen i flaskorna. Del 1 beskriver försök ”nr 1” (se 2.1.3) och del 2 beskriver försök ”nr 2” vilket är efter omympning (se 2.2).

DEL 1

Försök ”nr 1” sattes 2024-09-19.

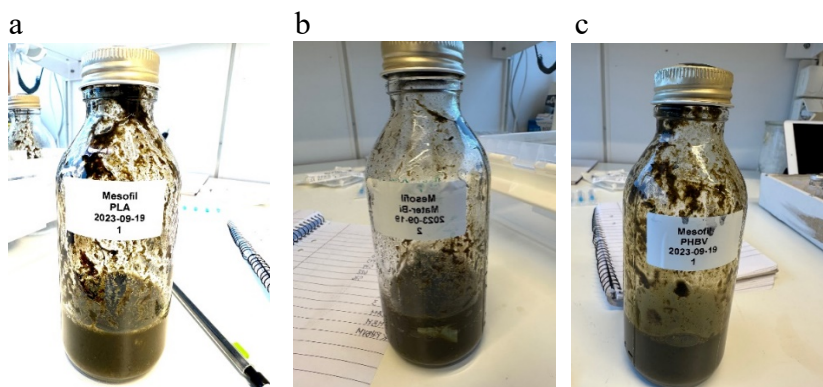
I figur 21 är en bild tagen efter ca 2 veckors inkubation från PHBV mesofilt 37° C. Plastbiten har mörknat möjligtvis på grund av mikroorganismer från ympen som koloniserat den i form av en biofilm.



Figur 21. Mesofil behandling av PHBV. Plastbiten har som en brun biofilm på ytan.

Figur 22 visualiserar svårigheten att analysera nedbrytningsgraden av plastbitarna i flaskorna på grund av den mörka ympen. Efter 56 dagars inkubation vid undersökning av flaskorna både i mesofil och termofil behandling med mikroorganismer syntes små granuler i flaskan med PLA - plast. I Mater-Bi sågs bitar, som tappat sin gröna färg. I flaskorna med PHBV syntes inga bitar. Frågan var om de redan brutits ned ? Eller var det så att de inte syntes på grund av den mörka ympen? Alla tre termofila och mesofila flaskorna i PHBV ledet undersöktes och inga plastbitar syntes.

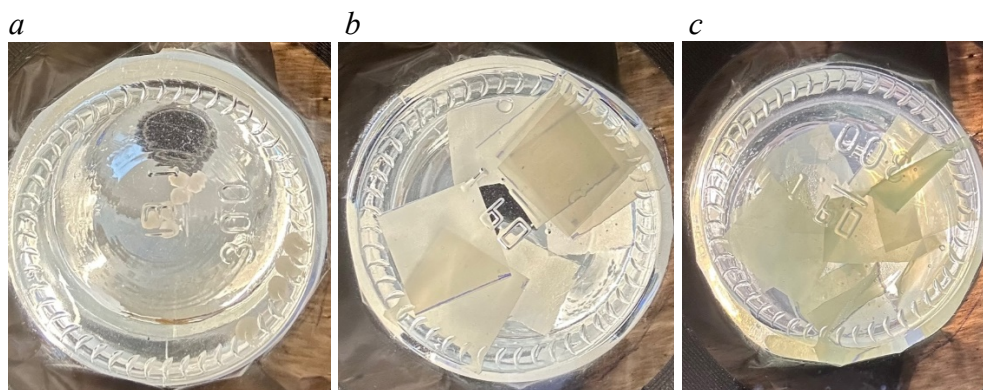
Dag 70 syntes inte de vita granulerna från plasten PLA. Det var svårt att veta om granulerna var helt borta.



Figur 22 . Mesofil behandling. a) flaskan med PLA plast. Exponerad bild så att en liten vit granul ska syna nere till höger, strax under ytan på ympen. b) Mater-Bi plastbitar fortfarande något ljusgröna. c) flaskan med PHBV plast.

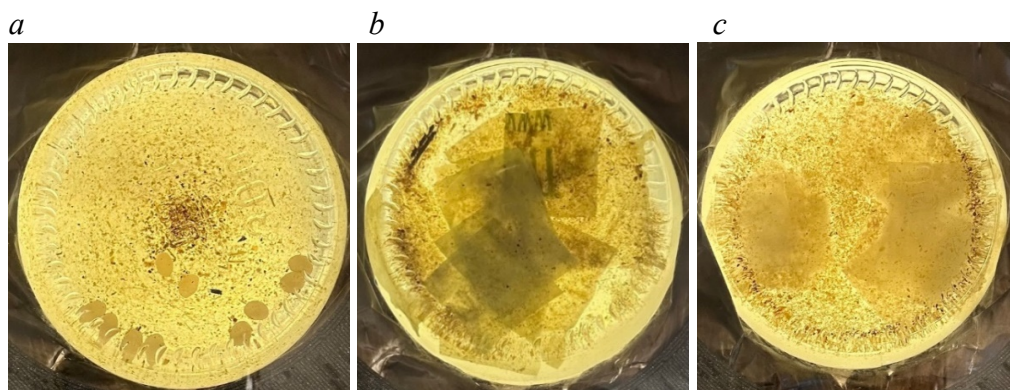
Del 2

Försök ”nr 2” sattes 2024-10-27 (dvs 1 ½ månad efter försök ”nr 1”). Då dessa flaskor innehöll en mindre mängd ymp kunde nedbrytningen visualiseras lättare, då vätskan i flaskorna blev ljusare. (se avsnitt 2.2: Om ympning). Plastbitarna var lättast att se längst ner i flaskans botten, därför blev flaskorna fotograferade underifrån med hjälp av Nils Weng’s egentillverkade ställning i kartong. Bilderna nedan är tagna vid flera tillfällen över tid och det syntes tydligt att plasten sakta brutits ned, tex vid jämförelse av mesofil behandling dag 15 (figur 24) med mesofil behandling dag 33 (figur 27). Figureerna visar hur mikroorganismerna har växt till sig och ansamling av biofilm framträder mer. Framförallt har det bildats som en mörka ringar i botten på flaskorna. Figur 24 c visar nedbrytningen av PHBV där plastbitarna är mer naggade i sina ytterkanter och fler plastbitar fragmenterats, betydligt mer än vad plastbitarna PLA (figur 24 a) och Mater-Bi blivit (figur 24 b). Samma resultat gäller för termofil behandling dag 15 (figur 25) jämfört med dag 33 (figur 28), även där speciellt behandlingen för PHBV (28 c). Kontrollerna (figur 23) är oförändrade.

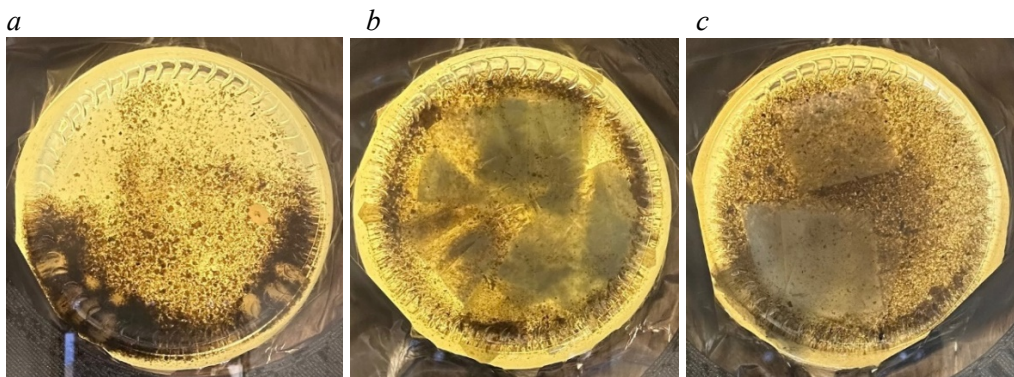


Figur 23. Plastbitar, kontroller efter 36 dagars inkubation. a) 10 st. PLA i form av små granuler, b) 10 bitar av PHBV plastremsa, c) 10 bitar från grön plastpåse biobag av Mater-Bi.

Dag 15. (2023-11-10)



Figur 24. Flaskor med ymp och plast. Mesofil behandling a) PLA, b) Mater-Bi, c) PHBV.



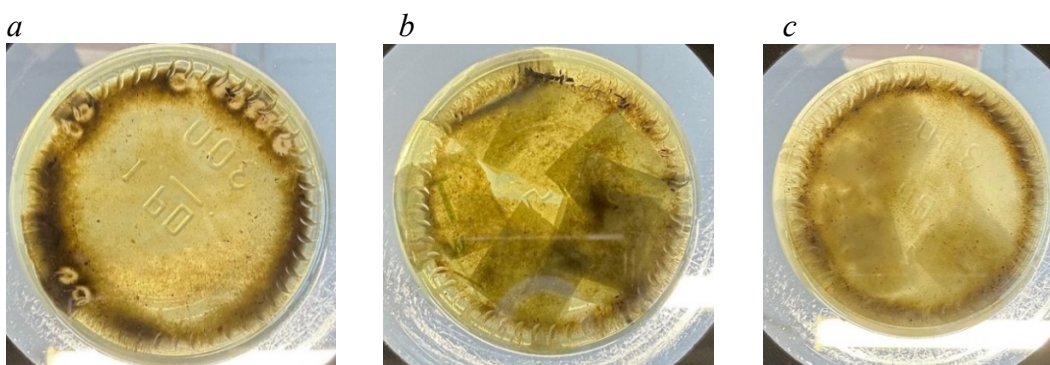
Figur 25. Flaskor med ymp och plast. Termofil behandling från vänster a) PLA, b) Mater-Bi, c) PHBV.

Efter ca 25 dagars inkubation hade vätskan i flaskan med PHBV-plast gulnat och plastens nedbrytning hade börjat, illustrerat av små ”angrepp” (mesofil behandling, figur 26).

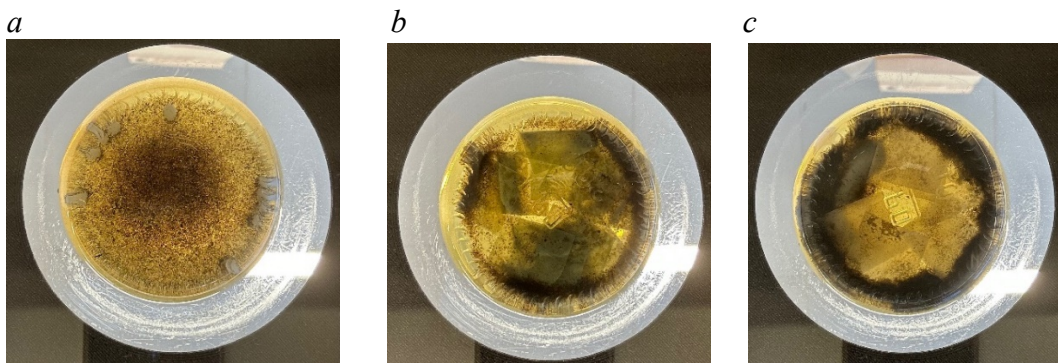


Figur 26. PHBV-flaska mesofil behandling.

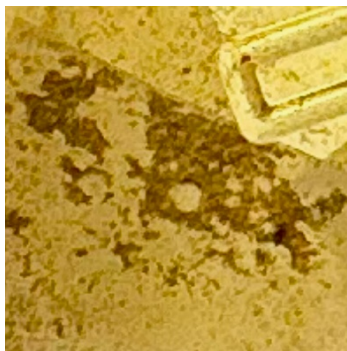
Dag 33. (2023-11-28)



Figur 27. Mesofil behandling. I jämförelse med bilderna från dag 15, 2023-11-10 har det blivit mer ansamling av mörka partier i vätskan. a) PLA. b) Mater-Bi c) PHBV.



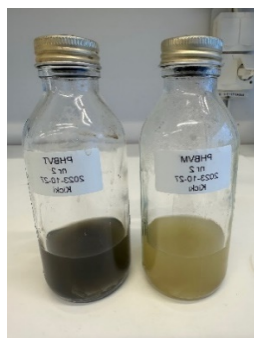
Figur 28. Termofil behandling. a) PLA längst till vänster, b) Mater-Bi i mitten c) PHBV till höger. Figur 29 visar en närbild på en plastbit i en flaska från PHBV i termofil behandling. Här är det möjligt att se en biofilm med mikroorganismer börjar täcka delar av plastbitarna. I alla flaskorna från dag 33 är även vätskan mer grumlig än förut. Den termofila behandlingen har mörkare ansamlingar än den mesofila behandlingen. (jämför figur 27 och 28).



Figur 29. Närbild på PHBV termofil behandling, En biofilm av mikroorganismer börjat täcka plastbiten..

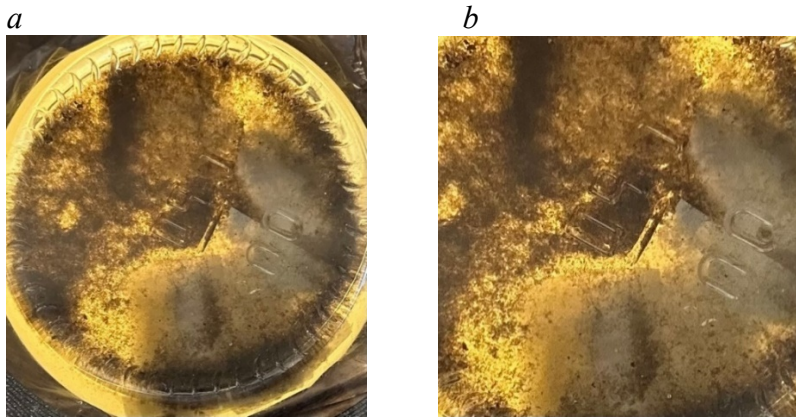
Dag 45.

Mesofil och termofil behandling skiljer sig åt, speciellt i behandlingen med PHBV (figur 30) Den mesofila behandlingens vätska är gul.

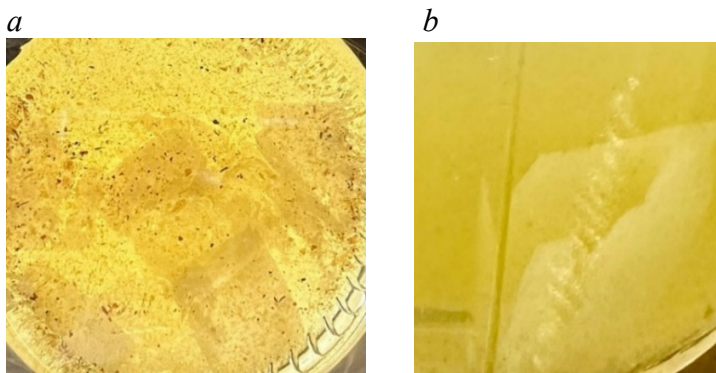


Figur 30. Termofil och mesofil behandling från omgång 2. PHBVT till vänster och PHBVM till höger.

Det syns tydligt i alla behandlingar att plasten är påverkad ju längre inkubationen pågått som beskrivits ovan och PHBV är den plast som brutits ned snabbast. Bilder underifrån från termofil och mesofil behandling (figur 31a, b, 32 a, b).

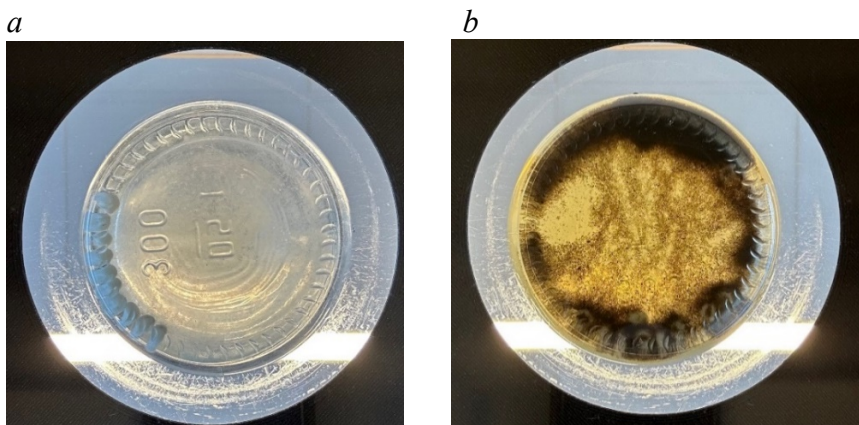


Figur 31. a och b. Termofil behandling med PHBV plasten. Bitarna har naggats i kanten, vätskan blivit mer svart och grumlig.

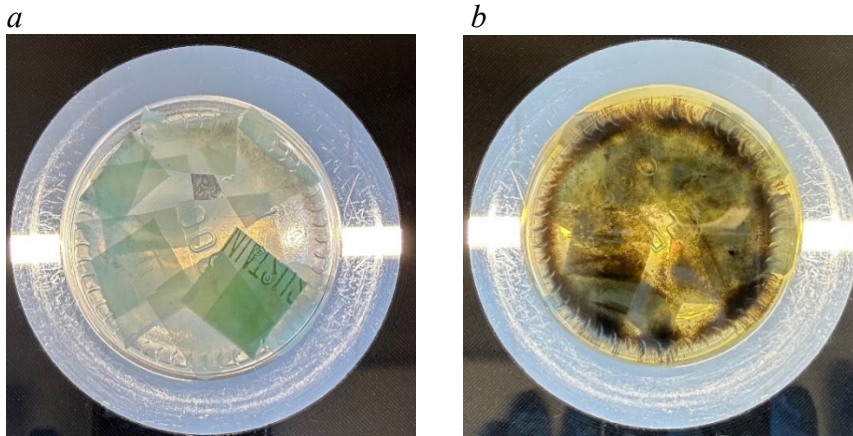


Figur 32. a och b. Mesofil behandling med plasten PHBV. Vätskan blivit grumlig och mer gul, nedbrytning syns tydligt på plastbitarna vilka är naggade i kanterna.

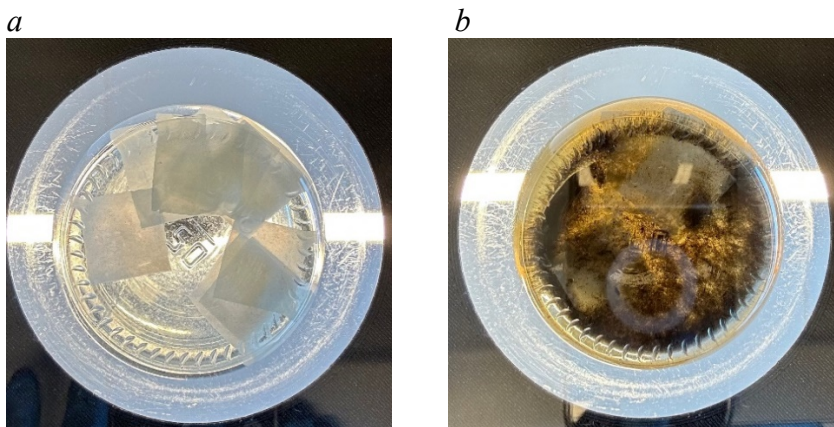
Plastbitarnas fortsatta nedbrytning i varje behandling studeras (figur 33 - 38). Här jämfördes behandlingarna med kontrollerna i vilka det inte fanns mikroorganismer utan enbart kemisk nedbrytning eventuellt sker.



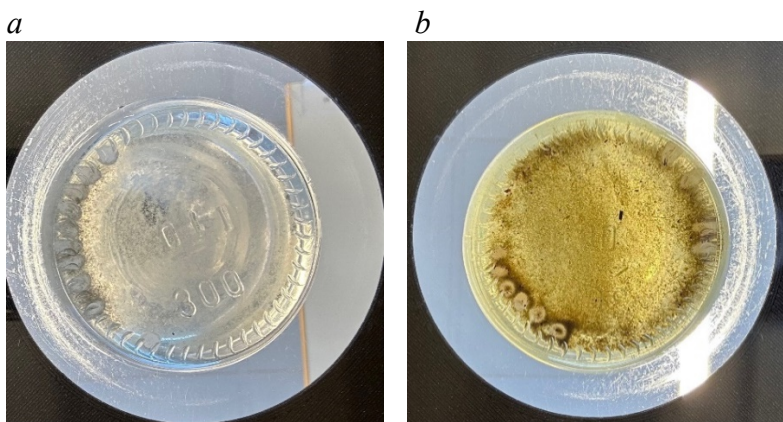
Figur 33. PLA termofil behandling . a) PLA kontroll, b) PLA med ymp



Figur34. MB termofil behandling a) kontroll, b) MB med ymp

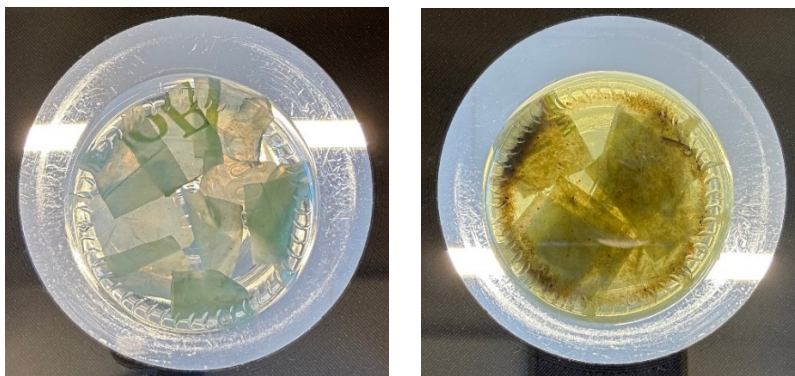


Figur 35. PHBV termofil behandling, a) PHBV kontroll, b) PHBV med ymp

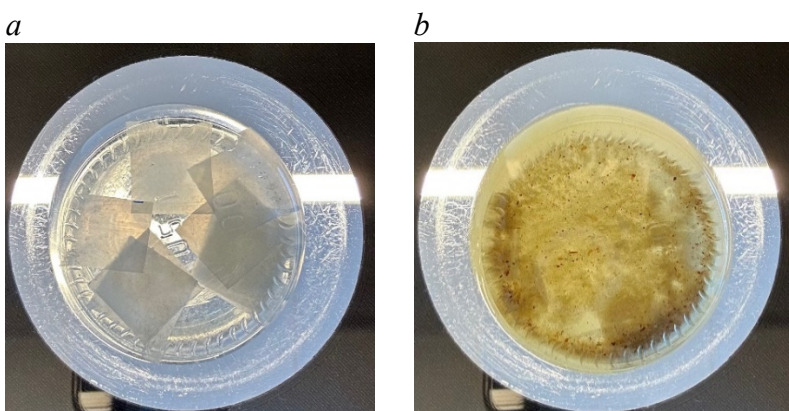


Figur 36. PLA mesofil behandling. a) PLA kontroll, b) PLA med ymp

a b



Figur 37. Mater-Bi mesofil a) Mater-Bi kontroll, där texten på plasten syns tydligt b) Mater-Bi med ymp där text försvunnit..



Figur 38. PHBV mesofil behandling. a) PHBV kontroll. b) PHBVM med ymp.

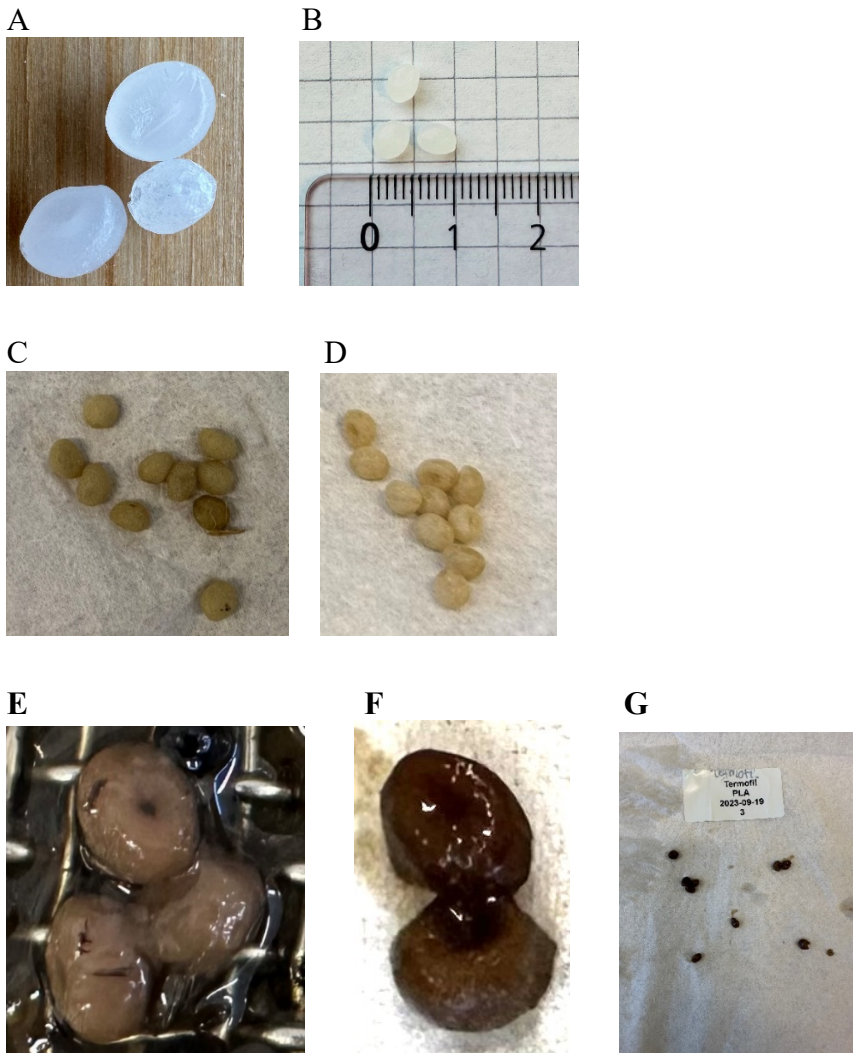
Här syns tydligt att plasten börjar lösas upp och brytas ner i de flaskor som varit inkuberade med ymp där mikroorganismer finns. Vätskan börjar bli alltmer grumlig (Figur 38 b). Den plast som även blivit påverkad kemiskt och börjat brytas ned i kontrollen är PLA. Den kemiska nedbrytningen var långsammare då inte mikroorganismerna funnits närvarande i vätskan.

3.2 Avslut av försöket.

Plastbitarna som varit inkuberade i de olika behandlingarna jämförs fysiskt med hjälp av bilder hur de såg ut före och efter behandling. Figurtext har i detta första avsnitt ersatts med en förklaring av bilderna med bokstäver A – G för att skapa en överblick av plastens fysiska nedbrytning. De tre olika plasterna följer efter varandra och inleds med plasten PLA. I varje avsnitt jämförs plastens två olika behandlingar med varandra. Dels mesofil behandling inkuberad med mikroorganismer och med kontrollen som inte innehöll mikroorganismer och dels med termofil behandling på samma sätt. Efter bilderna i varje avsnitt följer en redovisning av metanproduktionen i mesofil och termofil behandling. För varje

plast har metanproduktion mätts och blå linje representerar de tre replikaten med plast och ymp tillsammans. Orange linje representerar metanproduktionen i själva ympen enbart. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnaden mellan de flaskor som enbart innehöll ymp (metanflaskorna se fig. 15, 16) och de flaskor som var inkuberade med både ymp och plast). De tre linjerna är alla medelvärden från de tre replikaten i behandlingarna (Figur 39 - 44).

3.2.1 PLA (Poly Lactat Acetat)

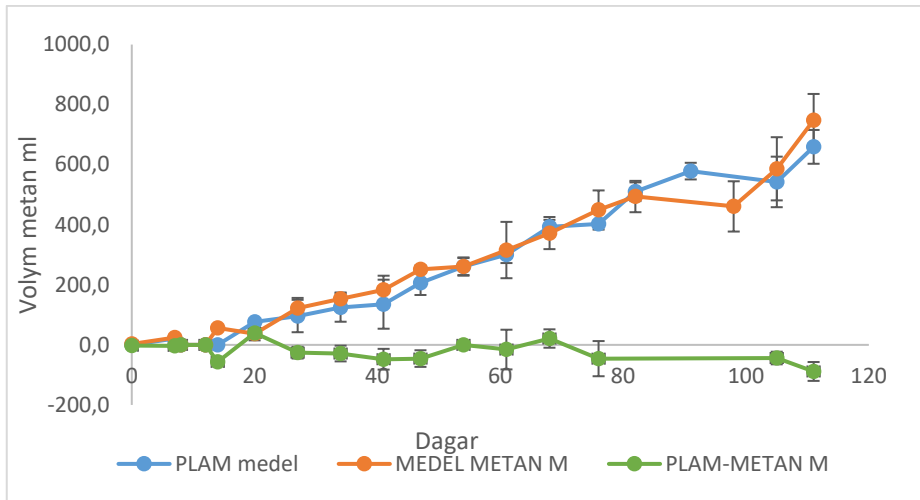


- A. Obehandlad PLA. Förstorad bild.
- B. Verklig storlek på PLA granulerna
- C. PLA från mesofil kontroll
- D. PLA från mesofil flaska nr 3
- E. PLA från termofil kontroll
- F. PLA från termofil flaska nr 3
- G. PLA i torkat tillstånd, spröda skal.

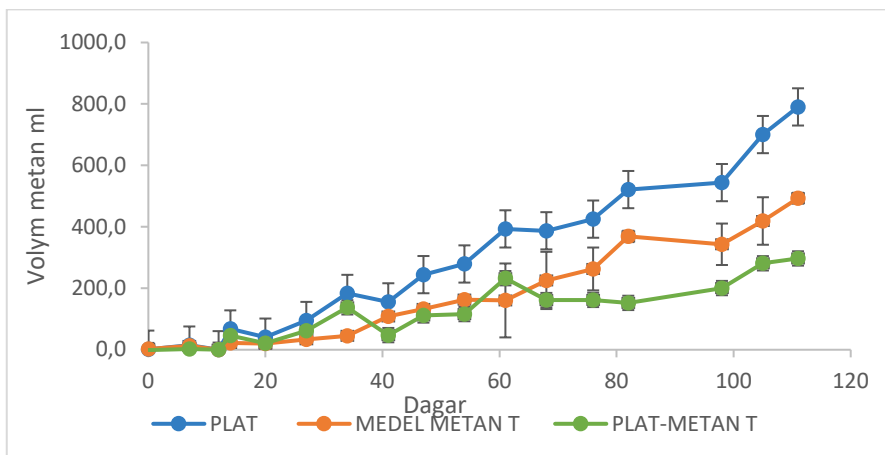
PLA bild C och D (mesofil) visar att granuler som varit i flaska 3 med mikroorganismer syns mer inbuktningar i granulerna. De var mjuka från att från början varit väldigt hårda och kritvita.

PLA bild E och F (termofil) är granulerna betydligt mer påverkade. Viskös konsistens då de kommit ur behandlingen. Gick sönder då de flyttades. I torrt tillstånd var endast spröda skal kvar.

Metanproduktion från mesofil och termofil behandling med PLA



Figur 39. Metanproduktion vid mesofil behandling av PLA. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metan, dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast.



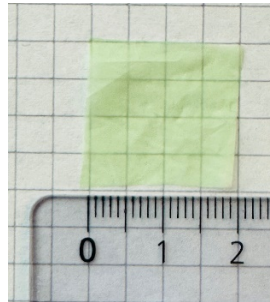
Figur 40. Termofila behandling av PLA. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje som visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metan dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast.

3.2.2 Mater-Bi

A



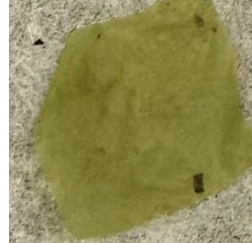
B



C



D



E



F



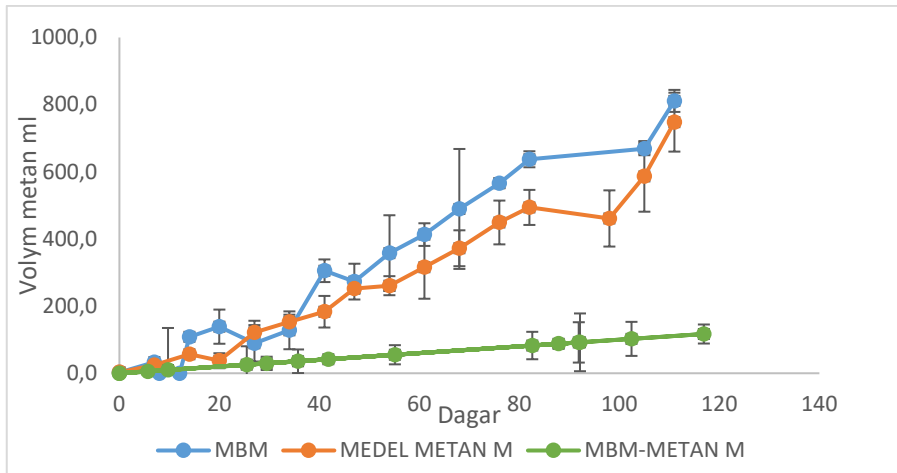
G



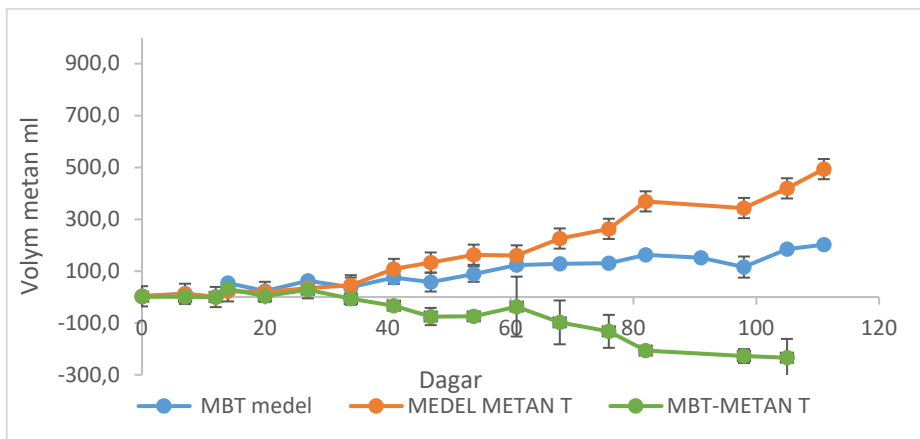
- A. Mater-Bi biobag
- B. Storlek på plastbitarna i behandlingarna.
- C. Mater-Bi Mesofil kontroll
- D. Mater-Bi mesofil flaska nr 3
- E. Mater-Bi Termofil kontroll
- F. Mater-Bi Termofil flaska nr 3
- G. Torkad Mater-bi, mycket små fragment av plasten kvar. En ruta på pappret där plasten ligger är 5 mm.

Bilderna A och B visar obehandlad Mater-Bi. Plastbiten är ca 2 x 2 cm. C och D är från den mesofila behandlingen. I mesofil behandling var plastbitarna inte lika söndertrasade som de var i den termofila behandlingen. Bilderna E och F är från termofil behandling. Många plastbitar hade fastnat i silen med 1mm hål. Plastbitarna i flaskan var vattenmättade och viskösa. Vid beröring gick de enkelt sönder.

Metanproduktion från mesofil och termofil behandling med Mater-Bi

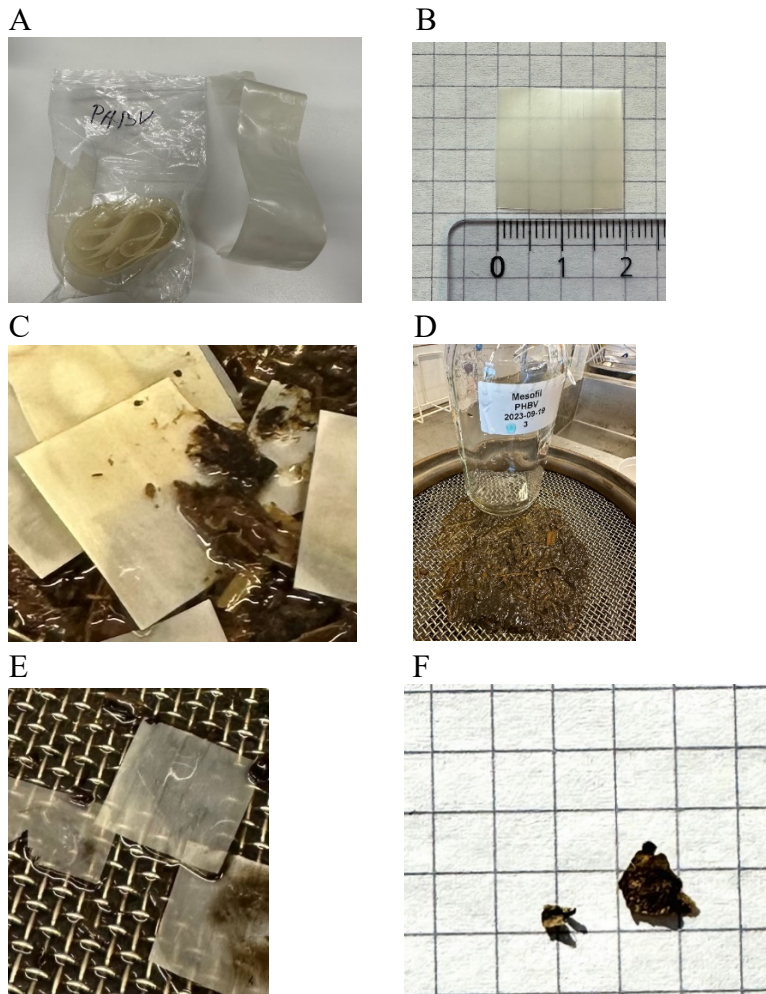


Figur 41. Mesofila behandlingen av Mater-Bi. Blå linje visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast.



Figur 42. Termofila behandlingen av Mater-Bi. Blå linje visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast. Linjen kommer under de värden som kunde visas i figuren. (-250)

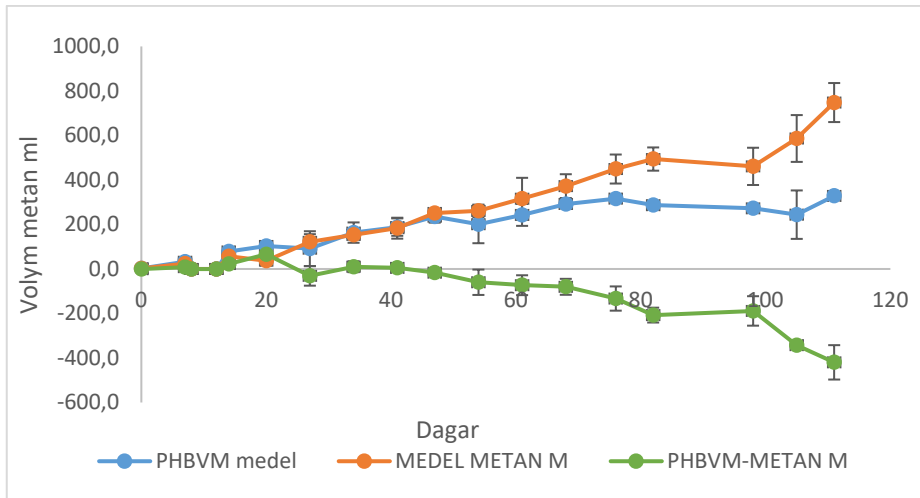
3.2.3 PHBV (Poly-3-hydroxi-3-butytratvalerat)



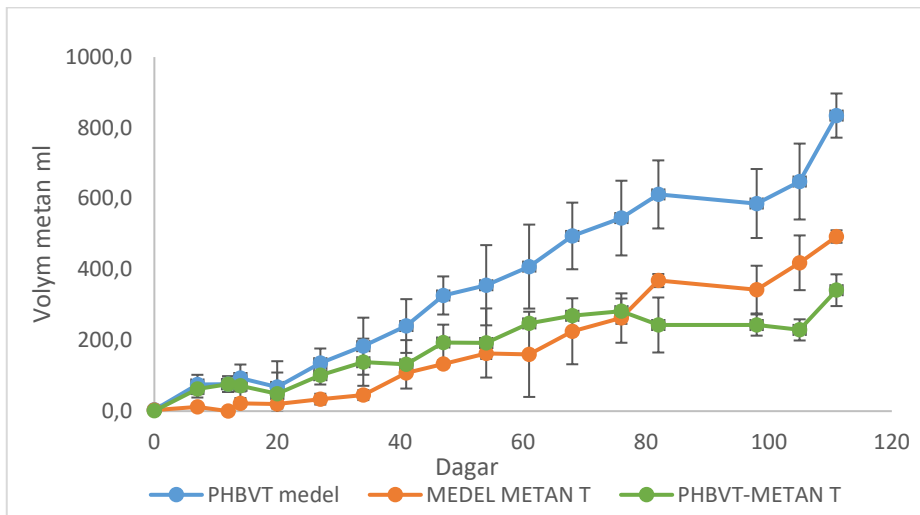
- A. Obehandlad PHBV plast.
- B. Obehandlad PHBV
- C. PHBV Mesofil kontroll
- D. PHBV Mesofil flaska nr 3 har hällts ut i silen. Finns ingen plast kvar i någon av silarna.
- E. PHBV Termofil kontroll,
- F. PHBV flaska nr 3. Endast dessa tre bitar kvar. Största biten är 3mm.

Bild A visar PHBV som plastremsa hur den var från början. Bild B syns plastbitens storlek som inkuberades i flaskorna. I bild C visas PHBV mesofil kontroll. Alla bitarna i kontrollen finns kvar och var inte nämvärt påverkade. Bild D visar samma mesofila behandling men med ymp och mikroorganismer och där finns ingen PHBV kvar. All plast var nedbruten. Bild E, i den termofila kontrollen var bitarna mer trasiga men inte nedbrutna. I bild F visas den termofila behandlingen där nästan all PHBV var nedbruten förutom tre myclet små bitar.

Metanproduktion i mesofil och termofil behandling av PHBV



Figur 43. Mesofil behandlingen av PHBV. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje som visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast.



Figur 44. Termofil behandlingen av PHBV. Blå linjen visar medelvärden av metanproduktionen i de tre replikaten. Orange linje som visar endast metanproduktionens tre replikat. Grön linje representerar plastens bidrag till metanproduktionen dvs skillnad mellan flaskor med och utan plast.











Resultatet från testerna visade tydlig skillnad mellan flaskor med och utan ymp. I kontrollerna med bara medium var plasten efter inkubationen i stort sett intakt i mesofil behandling. PLA var den plast som blev något påverkad i mesofil kontroll,

då den vita granulen blivit mjuk i blött tillstånd, lite inbuktad och mörkare i färgen. I torrt tillstånd efter behandlingen var PLA-granulen återigen hård men något mer spröd.

I de termofila kontrollerna syntes mer påverkan på plasten än i de mesofila kontrollerna. Speciellt för plasten PLA (bild E i stycke 3.2.1). Det betyder att en högre temperatur hade även viss påverkan på PLA-plastens nedbrytning utan mikroorganismer. I flaskorna med ymp dvs med mikroorganismer skedde däremot nedbrytningen snabbt, speciellt i flaskan med plasten PHBV där ingen plast var synlig efter 68 dagars inkubation. Plasterna PLA och Mater-Bi var även mer påverkade, mer nedbrutna i de flaskor som innehöll mikroorganismer.(se bilderna D och F för varje plast i stycke 3.2.1 – 3.2.3).

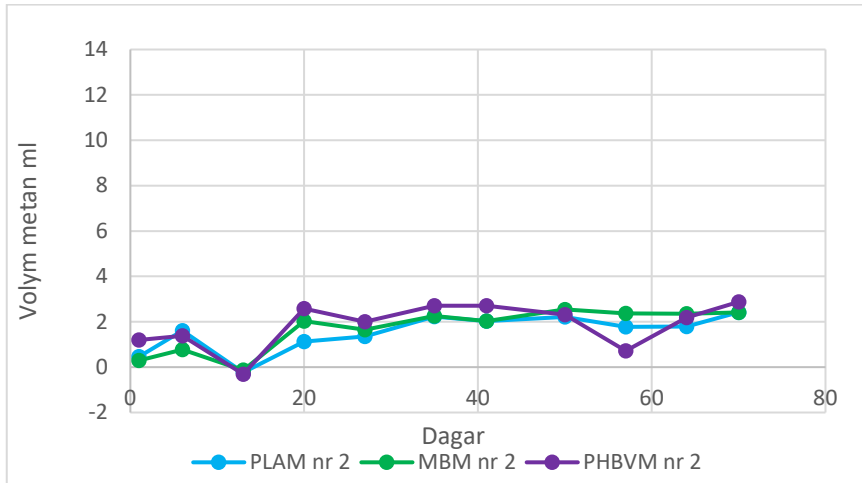
I tabell 3 visas en översikt av plastens nedbrytning i de två behandlingarna mesofil och termofil drifttemperatur. Dels i de flaskor med mikroorganismer men också i de kontroller som även de innehöll medie, plast och ymp men utan mikroorganismer. Tabellen är graderad från 1-3 med gröna och ljuslila figurer.

Tabell 3. Sammanfattande tabell för nedbrytning av de tre undersökta plasterna PLA, Mater-Bi och PHBV. Grön figur symboliserar nedbrytning där 1 är lite och 3 betyder helt nedbruten. Ljuslila figur står för att plasten är påverkad genom att bitar spruckit, gått sönder eller skrynklats ihop men ej nedbruten synligt för ögat.

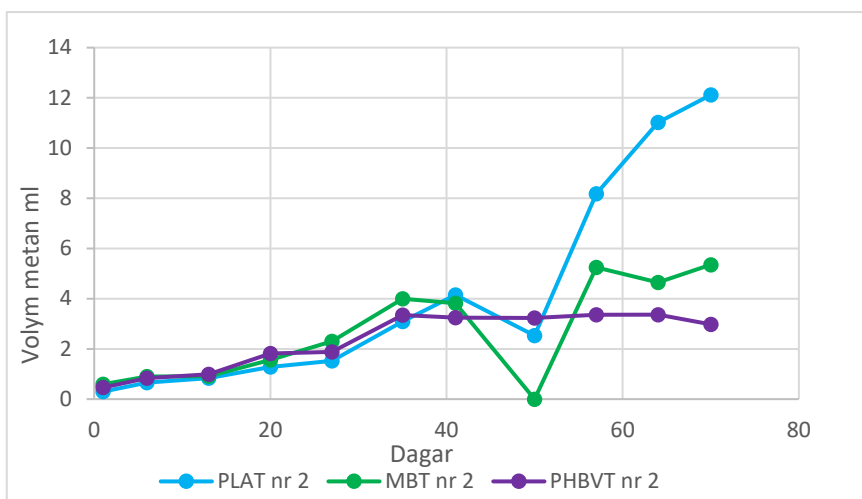
| Mesofil | PLA | Mater-Bi | PHBV |
|--------------------------|---|---|---|
| Flaska (mikroorganismer) |  Ja, börjat brytas ner |  mikroorganismer börjat kolonisera |  Ja, bröts ner helt. Snabbast |
| Kontroll (kemiskt) |  Ja, börjat brytas ner | Nej, kunde inte se <u>förändring</u> | Nej, inte påverkad. |
| Termofil | PLA | Mater-Bi | PHBV |
| Flaska (mikroorganismer) |  Ja, bryts ner fortare än mesofil |  Ja, bryts ner till små bitar |  Ja, nästan helt nedbruten. |
| Kontroll (kemiskt) |  Ja, långsammare än med mikroorganismer |  Ja, inte lika mycket som med mikroorganismer |  Påverkad men inte nedbruten. |

I figur 45 och 46 visas metanproduktion för försök ”nr 2” mesofil och termofil behandling. Försöket är inte avslutat och på grund av mycket mindre mängd ymp i dessa flaskor kunde fysisk nedbrytning följas lättare, och bilder kunde tas. Då det

inte är samma mängd ymp och mikroorganismer i försöket så bildas inte heller lika mycket metan. Försöket är i skrivande stund på sin 120:e dag och diskuteras inte vidare här.



Figur 45. Metanproduktion i Mesofil behandling "nr2".



Figur 46. Metanproduktion för termofil behandling "nr 2"

4. Diskussion

4.1 Nedbrytning av plasten

Alla tre plasterna PLA, Mater-Bi och PHBV räknas som bioplaster och sägs vara biologiskt nedbrytbara. Uppehållstiden för plasten i det anaeroba flaskexperimentet var längre än vanligtvis, dvs 111 dagar mot i mer vanliga fall ca 30 - 40 dagar. (Schnürer & Jarvis 2017 s.38). Om en efterrötning sker blir uppehållstiden längre upp emot 70-80 dagar. I biogaskammaren sker också inmatning regelbundet av nytt organiskt material vilket inte gjorts i flaskförsöket.

Studiens huvudsakliga syfte och frågeställning var att undersöka om bioplasterna kan brytas ner anaerobt? Detta arbete visar att de kan brytas ned men olika mycket beroende på plastens uppbyggnad, struktur, behandling och om mikroorganismer varit närvarande eller ej. Likaså är drifttemperatur en påverkansparameter.

Den kompakta granul-formen av PLA kan ha gjort att nedbrytningen gick långsammare jämfört med Mater-Bi och PHBV, dvs om PLA hade varit plastfilm som Mater-Bi eller en plastbit som PHBV hade eventuellt nedbrytningen kunnat gå fortare.

Kontrollerna var autoklaverade vilket avdödade eventuella mikroorganismer och användes för att se om någon kemisk nedbrytning skedde med plasten. Resultatet visar i detta fall att PLA även bryts ner kemiskt över tid.

Enligt resultatet har temperaturen en klar inverkan på plasterna. Däremot bröts PHBV- plasten ned snabbast av alla plaster i mesofil temperatur, där ingen plast kunde hittas efter avslutat försök. Troligtvis hade full nedbrytning skett redan tidigare än efter drygt 2 månader, eftersom ingen plast var synlig. Men eftersom ympen var mörk och tjockflytande var det svårt att se i flaskorna om plasten var nedbruten eller ej. I en mesofil process är mångfalden, diversiteten av mikroorganismer högre jämfört med vid en högre temperatur. Vid en högre temperatur förskjuts också jämvikten med ammonium mot mer ammoniak, vilket också bidrar till en minskad mångfald av mikroorganismer av både bakterier och arkea (Schnürer & Jarvis 2017). Detta skulle ev. förklara varför PHBV bröts ner först i de mesofila flaskorna.

I en studie där man undersökte nedbrytning av PHBV- plast i mask kompost, i en färskvatten reservoar och i en termofil kompost visade däremot att den termofila behandlingen var den som visade högst nedbrytning av PHBV plast. Observera att termofil kompostering inte är detsamma som termofil biogasprocess. Termofil kompostering är delvis aerob dvs det finns tillgång till syre. PHBV- plasten hade dock tillsatser i form av naturligt baserad acetyl tributyl citrat (ATBC), Calciumkarbonat(CaCO_3) och spray- torkad lignin-täckta nanokristaller (L-CNC). Det visade också att alla PHBV plaster som hade tillsats av ATBC ökade bionedbrytningen. ATBC är en organisk förening som används som mjukgörare. Efter 90 dagar var över 90% av plasten nedbruten. (P. Brdli'k et al. 2022). Denna studie nämns här för att jämföra nedbrytningstiden för plasten med den studie som gjorts i skrivandes rapport. I den nedbrytningsprocess som studerats bröts PHBV-plasten ner på ca 68 dagar. (se s.43 i stycke 3.1) Det kan tyda på att nedbrytningen av PHBV-plasten går snabbare i en anaerob miljö med mikroorganismer. PHBV-plasten som användes här var dessutom i sin rena form utan tillsatser.

4.1.1

En studie om anaerob nedbrytning av bioplaster, bland andra PLA och PHBV är från en in-situ-studie i en sötvattenreservoar. I denna studie maldes bioplasterna ner till mycket små bitar i mikroskala för att sedan läggas i dialyspåsar för vidare analys av mikrobiell nedbrytning i den anaeroba vattenmiljön. Resultatet visade att efter en och två månader fanns rikligt med bakteriell biofilm på mikroplasten. DNA-sekvensering visade riklig förekomst av många olika bakteriefamiljer, bland andra Oxalobacteriaceae och Flavobacteriaceae (Nhung H.A et al. 2023).

Den mikrobiella floran och samarbetet mellan mikroorganismerna är en förutsättning i den anaeroba miljön. Den ena bakterien utsöndrar något som nästa bakterie eller annan mikrob kan använda i sin metabolism i nästa steg. Både PLA och PHBV produceras mikrobiellt genom fermentation. PLA som står för Poly Lactic Acid består av mjölksyra. PHBV står för poly 3-HydroxyButyrate-co-3-hydroxyValerate och har butyrat i sig, vilket är smörsyra. Dessa två organiska syror bildas genom olika fermentations-reaktioner. Detta betyder att de syror fanns i biogasprocessen redan innan plasten tillsattes, vilket gör att det är möjligt att dessa mikroorganismer troligen fanns i den mikrobiella floran i ympen vi använde i försöket.

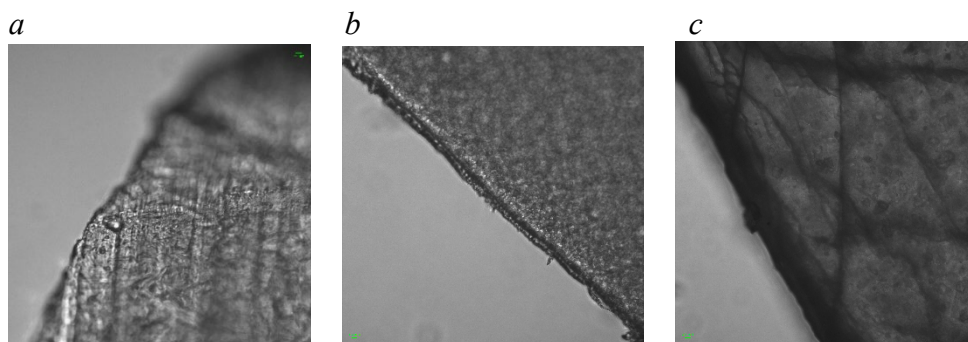
Som nämnts i inledningen är plasten uppbyggd av polymerer som mikroorganismerna bryter ner till mindre delar med hjälp av enzymer för att de sedan ska kunna tillgodogöra sig substratet och få energi. Till exempel figur 24 visar att mikrober koloniserat plasten. Många bakterier i hydrolysen av cellulosa

har cellusomer som innehåller enzymer vilka kan bryta ned materialet i mindre delar men också proteiner som har förmåga att binda till sitt substrat. Nedbrytningen blir mer effektiv då mikroorganismerna kan hitta fäste på materialet och fortsätta bryta ner på plats. (Schnürer & Jarvis 2017).

Plasterna har brutits ner olika fort vilket visar att uppehållstiden i en biogasreaktor är viktig. Om mikroberna trivs och har en gynnsam omgivning av pH, salter, temperatur och får tid för nedbrytningen så klarar de att bryta ner en hel del av plasten. PLA och PHBV var de mest påverkade plasterna. Mater-Bi plastpåsen hade också börjats brytas ner i den termofila behandlingen (4.2.2 bild E, F och G för Mater-Bi). I den mesofila behandlingen var inte Mater-Bi lika påverkad. Enligt en undersökning där man utvärderade nedbrytning av uppsamlingspåsar för matavfall i plast tillverkad av Mater-Bi och papperspåsar nämns att nedbrytbarheten av bioplast påverkas av fysikaliska faktorer som temperatur (G. Dolci et.al.2021). Man testade nedbrytning anaerobt av påsar tillverkade i bioplast som Mater-Bi i termofil temperatur (ca 50°C) vilket visade god nedbrytning. Mer än 71% av påsarna var nedbrutna efter ca 40 dagar. Försöket gjordes i laboratoriemiljö. De testade även papperspåsar vilket också gav hög nedbrytning tillsammans med organiskt material.

De olika benämningarna av plaster och dess innehåll av tillsatser är komplext. Mater-Bi polymer plast innehåller PBAT (nedbrytbar fossil källa) som påverkas starkt av temperatur och fuktighet (F. Ruggero et al. 2020). Detta stämmer med resultat från denna undersökning där Mater-Bi påsen bröts ner avsevärt mer i den termofila behandlingen än i den mesofila.

Ytan på plasten verkar ha betydelse för nedbrytningen. Figur 52 a, b, c visar de obehandlade ytorna av plasten i högupplösta bilder från mikroskop. Tyvärr har inte högupplösta bilder lyckats lika bra på de behandlade plasternas ytor vilket säkert är av intresse och rekommenderas till fortsatt undersökning i ämnet.



Figur 47. Obehandlad yta av de tre plasterna. a)PLA, b)Mater-Bi, c) PHBV

De olika plasternas obehandlade ytor och struktur var olika vilket också kan ha påverkat hur mycket och hur lång tid det tar för mikroorganismerna att kolonisera och bryta ner materialet. PHBV strukturen (figur 52 c) hade en grövre yta än PLA

och Mater-Bi. Det är möjligt att mikroberna lättare får fäste på en grov yta vilket kan vara en av orsakerna att PHBV var den första plasten att bli nedbruten.

Vad gäller nedbrytning av bioplaster till exempel som PLA, har det gjorts många studier i aeroba miljöer, också undersökningar om vilka organismer som kan bryta ner plasten i den miljön (Viljakainen & Hug 2021). Inte lika många studier har gjorts vid anaeroba förhållanden. I en studie där nedbrytning av PLA testades i både aerob och anaerob miljö visade att den biologiska nedbrytningen av PLA bröts ner snabbare under anaeroba förhållanden än under aeroba förhållanden vid samma temperatur, termofil temperatur (52°C), (Itävaara et al. 2002). PLA är känt för att vara autokatalytiskt nedbrytbart från insidan av materialet. Det vill säga att då det börjats brytas ned påskyndas processen genom att brytas ned inifrån. (Itävaara 2002, se Pitt et al., 1981; Fukuzaki et al., 1989; Löfgren och Albertsson, 1994). Det skulle stämma med skrivandes undersökning då tydliga gropar syntes i termofil behandling för PLA både för kontrollen och i flaskan med mikroorganismer (Stycke 4.2.1 PLA, Figur E,F och G). Det som var kvar av PLA granulen då den torkat efter behandling, var det endast små spröda skal kvar.

I en studie som undersökte om PHBV och mikroplast kunde utgöra en risk för växt och markhälsa, skriver Brown et al. om bioplasters påverkan och tillsats i jord och hur dessa kan påverka och förändra jordens mikroklimat då de bryts ned. PHBV är en av de mest använda plasterna inom jordbruket som markduk och plastfilm. I försöket användes samma PHBV plast som i detta försök. Genom att använda plastförorenad jord i olika koncentration och genom växtförsök av majs visade resultaten på att genom ökad PHBV belastning i jorden minskade tillväxten av plantorna och även minskad skottbildning. En ökad förekomst av antocyaniner i bladen påvisades och en lägre C/N kvot. (Brown et al. 2023). Det här påvisar att det är viktigt med fortsatt forskning i ämnet för att förhindra att plastrester sprids på åkermark. (Porta et al. 2020). Det har även visats en annan studie att PBAT, ett fossilt nedbrytbart ämne som finns i Mater-Bi påsar skulle ha liknande effekt, men här testad på grönsaken pakchoi. (Han, Y. et al. 2024).

Enligt figurerna för metanproduktion (figur 47-52) så har alla behandlingar producerat metan, men olika mycket. Förvånande var att den mesofila processen med PHBV där plasten bröts ner först, inte producerade mest metan (figur 47). Plasten har i sig inte alls bidragit till metanproduktionen utan det ser mer ut som att den inhiberat nedbrytningen. Vilka produkter som bildats istället skulle kunna undersökas med kemiska analyser, tex kan bildning av VFA (volatile fatty acids) analyseras med högupplösande vätskekromatografi (High Performance Liquid Chromatography, HPLC).

Vätskan i behandlingarna med PHBV var gulare än de andra (figur 34, mesofil flaska till höger). Då PHBV innehåller smörtsyra, butyrat skulle jag förmoda att det

är vad som bildats. Butyrat är en kortkedjig fettsyra med fyra kolatomer som luktar starkt och vilket stämmer med den starka lukt som avgavs vid tömning av gas från flaskorna. Oftast är det långa fettsyror, som har fler än 12 kolatomer, är de som hämmar metanproduktionen som till exempel stearinsyra eller syror som finns ex. i kokosfett eller kycklingfett. En fråga som kommer upp är om den gula färgen kan ha något att göra med vad som bildas i nedbrytningen av PHBV och dess påverkan på mikroklimatet, vilket nämns i refererad artikel ovan (Brown et al. 2023). För den termofila figuren för PHBV är metanvärdena högre vilket indikerar att nedbrytningen av PHBV plasten bidragit till metanproduktionen.

Likadant som för PHBV i mesofil process så har inte heller tillsats av PLA lett till någon metanbildning i den mesofila behandlingen utan snarare inhiberat metanbildning (figur 43). När PLA bryts ner bildas laktat. Vad som bildats mer i PLA behandlingen hoppas vi få svar på då fler kemiska undersökningar görs i kommande studie. PLA termofil behandling (figur 44) visar högre metanvärde och kan möjligtvis ha bidragit till metanproduktionen.

För Mater-Bi mesofil behandling (figur 45) är metanproduktionen hög, den högsta av de uppmätta metanvärdena men plasten syns inte ha bidragit, inte heller inhiberat metanproduktionen. Plastbitarna var ju inte nämvärt påverkade eller nedbrutna efter inkuberingen. För den termofila Mater-Bi behandlingen (figur 46) ser det annorlunda ut. Metanvärdena är inte lika höga som i mesofil behandling och plastens bidrag är noll eller eventuellt inhiberat metanbildning. Däremot var plasten mer nedbruten och påverkad i denna termofila behandling (som nämnts i stycke 4.1).

4.2 Vidare undersökning

Hade försöket gjorts en gång till hade inkuberingstiden av plasten beaktats. Att avsluta några flaskor vid en ungefärlig uppehållstid som sker i en verklig biogasprocess ca 30 - 40 dagar för att se hur mycket plasten påverkats då. Att ta fler högupplösta bilder på materialen i både vått och torrt tillstånd för de olika behandlingarna, rekommenderas om ett nytt försök sätts upp. Att ta VFA prover för att veta vad som finns i vätskorna och vad som bildats då det organiska materialet och plasten brutits ner vore viktig analys. Provtagning av VFA prover från omgång 1 var väldigt svårt då ympen var trögflytande, därför gjordes inte det.

För framtida forskning skulle det vara intressant att jämföra fler plastsorter, kanske även en plast som inte är nedbrytbar och även en ”nyttillkommen” plast. Det sker i nuläget ständigt nya innovationer inom området för bioplaster och överhuvudtaget produktion av plast. Ett exempel som nordisk plastförening delar på sin hemsida är

en ny sort av PLA som sägs brytas ner snabbare i jord och vatten med hjälp av en nyutvecklade additiv. Nedbrytningen av plasten PHBV gick fort med hjälp av mikroorganismerna. Vad bildas då den när nedbruten? Nya artiklar från 2023 har publicerats angående vad som bildas då den bryts ned. (Brown et al. 2023) Här behövs mer forskning hur det påverkar klimatet för mikroorganismerna i jorden och hur växter påverkas.

I Sverige finns forskning om och på framställning av bioplaster inom företag som Tekniska verken i Linköping, på Umeå universitet, Lunds universitet och inte minst på Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala och Alnarp.

Om vi vet mer vad som händer anaerobt i biogasprocesser så kan vi öka kunskapen om andra anaeroba miljöer som finns naturligt i vår omgivning. Det vore en fördel om plastföretag både de som producerar nedbrytbar bioplast och de som producerar icke nedbrytbar plast och biogasanläggningar kunde ha kontakt med varandra för att kunna öka förståelsen i varandras verksamheter. Självklart skulle i nuläget det bästa vara om 0 % plast kom in till biogasanläggningarna.

Intervju nr 4 nedan, är inte kopplad så mycket till själva uppsatsen, (då intervju gjordes med ett företag som tillverkar plast som inte ska brytas ned), dock väldigt intressant. De använder idag kemikalier framställda på fossil väg. Att kunna framställa fossilfria kemikalier från biogasprocesser är något som borde uppmärksammas mer och forskas på.

4.3 Intervjuer

Intervjuerna som gjorts har nr 1- 3 med biogasprocesser att göra. Intervju nr 4 som gjorts med plastföretaget vilka tillverkar plast *som inte* ska brytas ned utan hålla så länge som möjligt hamnar lite utanför ämnet. Jag tyckte det var spännande att prata med någon som jobbade med det motsatta. Det som kan vara intressant och som har med biogasprocessen att göra vore att forska på fossilfria kemikalier som skulle kunna användas i deras plastindustri. Intressant att läsa för den som vill.

1. I en intervju med ingenjör Olle Levin på Kungsängens biogasanläggning i Uppsala, berättar han att ca 50 % av matavfall från hushåll och verksamheter kommer inplastat ex. i form av plastpåsar/säckar. Fast avfall från handeln är ca 13 % till stor del konsumentförpackningar i plast. Resterande strömmar som kommer till biogasanläggningen ska inte innehålla plast men kan naturligtvis göra det ändå.

Olle säger i intervjun; -”Plastemballage fastnar i förbehandlingsmaskiner och stoppar inmatningen när maskinen måste rensas för hand. Mindre plaststycken som soppsåsar och matkassar sönderdelas dock och följer med rejektet utan problem men plastbitar följer alltid med genom hela processen och måste silas ur rötresten, varvid också andra fasta organiska partiklar som hade gjort nytta i gödseln också silas bort. Det handlar om många ton per år”.

2. I en intervju med Sören som är processingenjör på Tekniska verken i Linköping nämner han att för tillfället tar de emot 125,000 ton organiskt avfall varav 55,000 ton är matavfall. Av matavfallet är ca 20,000 ton plastat avfall. De planerar för att kunna ta emot dubbla mängden organiskt avfall inom snar framtid. Trots förbehandling som tar bort stor del av plasten blir det en hel del plast som kommer med i biogaskammaren och rötningen.

3. Kjell Eriksson är en utav grundarna till Brålanda Biogas AB som består av 4 lantbrukare som samarbetar i produktion av rötrest och biogas. Kjell säger i intervjun:

”den stora drivkraften och orsaken till varför vi har biogas produktion är att vi vill ha näringen tillbaka till åkern”. Vi driver ekologiskt jordbruk och kan med rötrestens hjälp vara med i det vi kallar precisionsodling. I och med att stallgödseln vi har på gårdarna rötas blir gödseln mer förberedd och flytande. Den både luktar mindre och vi får bättre verkan av det då det blir lättare för växterna att ta upp näringen. Den blir mer tillgänglig. Detta gör också att vi inte behöver lägga ut gödseln för tidigt på våren då det är större risk för näringsläckage om det tex skulle regna mycket. Vi kan lägga ut gödseln när växterna behöver det. Biogödseln har lågt TS och ligger på ca 4 % vilket gör att den tränger ner lätt i backen. Annars har vi ju Biofer pellets som är bra men de är mer långtidsverkande och det blir svårare att anpassa givan. Angående metangasen så har vi nu vänt oss till industrin då kommunen sa upp vårt avtal för biogasbussar då de skulle ställa om till el. Så industrin betalar för metangasen som vi inte kan använda själva dvs 2/3 säljer vi och 1/3 använder vi själva till energi och värme i våra lantbruk. Så nu satsar vi på större anläggning ca 60 GWh och i dessa anläggningar kommer förhoppningsvis även matavfall rötas. Vi vill ha tillbaka näringen till åkern från vårt avfall så att vi slipper köpa tex dyr fosfor och kalium som då ska brytas någonstans, vilka är ändliga resurser. Vi vill att politikerna ska förstå hur viktigt detta är och att vi faktiskt gör staden en tjänst att ta hand om ett avfall på ett bra sätt. Det gäller också då att jobba med att plasten inte ska följa med rötresten förstås. Så slutligen är Rötresen en bättre form, tränger lätt ner i backen som växterna lätt tar upp, mindre läckage och luktar mindre.

Kjell nämner också att nu när de ska utöka sin biogasproduktion blir att det även mer matavfall i processen vilket betyder att det blir mer plastavfall vilket blir en utmaning att ta tag i.

Nedan följer en intervju som gjordes med ett plastföretag. Intervjun gjordes enbart av intresse och för att se från ett annat perspektiv, det motsatta som gäller för dem, hur de producerar en typ av plast som inte ska brytas ned. I dagsläget använder företaget många kemikalier som kommer från fossila källor. Intresset för fossilfria kemikalier är något som verkligen intresserar dem och som skulle kunna utvinnas ur en biogasprocess.

4. Intervju med Åsa Burman, HMSK chef på Ineos Inovyn i Stenungssund.

Inovyn är ett plastföretag där man dels tillverkar kaustiksoda som används inom pappersmassa industrin, men framförallt tillverkas plast som måste hålla. Dvs det ska inte brytas ned så lätt. Exempel på produkter av detta slag är blodpåsar, katetrar i ren PVC, ledningar och rör i plast som ska stå emot nedbrytning i jord och andra miljöer både aeroba och anaeroba. Åsa säger i intervjun: *”Jag tror på att återvinna den plast som finns.”*

Åsa berättar om deras produktion och verksamhet och att eten används för att göra andra molekyler till plast. I processen används också klor, som reagerar med eten. – de kallas för cracking vilket betyder att de crackar eller hettar upp blandningen för att dels få en molekyl med dubbelbindning som är en vinylmonomer och sedan en HCl molekyl.

De återvinner sedan vätet och gör ny EDC som är 1,2 dikloretan. De tillverkar också saltsyra som de använder för vattenrening.

På ett annat ställe i fabriken gör man tre olika PVC plaster batchvis. De tre batcherna används till olika saker:

- 1). PVC som används medicinskt där det måste vara helt rent och nytillverkat. Används till blodpåsar och kateter slangar tex. PVC används då det är mycket tätare än Polyeten
- 2). Man återvinner det som blir över och tillverkar PVC som blir avloppsrör. Man vill ju att dessa ska hålla så länge som möjligt. Uppskattningsvis mer än 10 år men självklart beror det på vad som sker med rören. Det finns diskussioner om man ska använda cement versis plast. Cement är mer skrovligt och kräver högre tryck dvs mer energi. Det blir ett större pumpmotstånd i ett cementrör. De ger även ett högre CO2 avtryck.
- 3). Det som Åsa känner mest oro över är den plast som tillverkas och hamnar i tex konstläder i olika kläder och plastmattor. Detta exporteras till Indonesien, Turkiet och Indien. Om rester från detta bränns upp och inte tas om hand blir det mycket

bildande av dioxiner som släpps ut vilket inte alls är bra. Det är tyvärr ofta så att dessa länder inte har den rening som behövs innan det släpps ut i luften.

Biovyn är en ny sorts PVC som kommit ut på marknaden och är den första ”gröna PVC” som innehåller tallolja. Tyskland har som krav att plastmattor som går till tex skolor och sjukhus ska vara fossilfria. På något sätt bränns talloljan och man utvinner Eten. Det finns ett annat företag i Stenungssund som heter Adesso som tillverkar Etanol- biobränsle

Det satsas mycket på Väte inom vissa grenar i företaget då man utvinner vätgas från vatten. Klorgas, vätgas och lut. Det företag Åsa jobbar på har lång erfarenhet av hanteringen med vätgas men det finns problem med vätgasen som kräver extremt noggrann hantering. Den är explosiv i kontakt med syre och det krävs endast så lite energi som när en fluga landar för att en explosion ska ske. Vätgas brinner inte med en synlig låga vilket är ännu mer svårhanterligt.

Det som kan bli problem är också med PFAS. När de tillverkar Cl och Lut använder de membranmetoden. Förr användes kvicksilver katod för att lösa upp natriumf ör att få lut men här blev det mycket problem och läckage, eftersom kvicksilver löser sig i det mesta. Därför används inte kvicksilver längre.

Membranmetoden består av Klor-Fluor- Kol- och även om dessa inte räknas som PFAS skum ämnen och att membranerna är preparerade som gör att klor blir som ett bindnings och stabiliseringsämne för Fluoret och Kolet. Membranerna byts ju ut ibland och ska tas hand om.

Tankar angående intervju

Jag hade tänkt att få tag på ett företag som tillverkar plast som används för förpackning av mat och livsmedel för att se hur de skulle kunna koppla ihop, prata med eller på något sätt få kontakt och samarbeta med stadens biogasanläggningar. Hur de skulle kunna producera en plast som bryts ner utan att lämna dåliga ämnen i rötresten efter sig eller hur plasten lätt skulle kunna tas bort vid inlämning av matavfall till biogasanläggningen. Tyvärr blev tiden för knapp i masterarbetet och det hanns inte med en sådan intervju.

5. Slutsats

En säker livsmedelsproduktion är något som vi alla vill ha och rötresten från biogasproduktionen är en viktig del i ett hållbart kretslopp.

Det bästa i nuläget vore att företag, butiker, privatpersoner inser vikten av att sortera ut plasten från matavfallet innan det transporteras till biogasanläggningen och att ingen plast följer med in i rötchambren.

I försöket har de tre bioplasterna PLA, Mater-Bi och PHBV undersökts och resultatet visar att de påverkas olika beroende på mesofil eller termofil process.

Uppehållstiden för rötning bör beaktas för att mikroorganismerna ska hinna bryta ner plasten tillsammans med det organiska materialet.

I stort sett bidrog inte plasten till någon metanproduktion. Snarare att plasten eventuellt inhiberar metanbildningen förutom i PHBV och PLA-plastens termofila behandling, där den möjligtvis bidragit till metanproduktionen (figur 44 och 48).

Fortfarande är plast ett problem för biogasanläggningar, därför är det viktigt att fortsätta forska inom anaeroba, syrefria miljöer om och hur plasten kan brytas ned och vad som bildas vid nedbrytningen.

En säker cirkulation av organiskt material och god kvalitet på rötresten bidrar till att komma ifrån fossila källor och dessutom ett uppsving av Sveriges självförsörjning vad gäller näringsämnen som kväve, fosfor och kalium. Det i sin tur leder till en god livsmedelsförsörjning.

Referenser

- Angelidaki, I., Karakashev, D., Batstone, D.J., Plugge, C.M., (2011) Chapter 16
Biomethanation and its potential. In: Amy, C.R. (eds) *Methods in Enzymology*
Volume 494. New York: Academic Press. 327-351.
- Avfall Sverige 2022, Därför ger plasten oss huvudvärk
<https://www.avfallsverige.se/aktuellt/nyheter/darfor-ger-plasten-oss-huvudvark/>
[2024-04-17]
- Avfall Sverige 2023, Nya krav på påsar för avfall.
<https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/certifierad-atervinning/certifieringsregler-for-biogodsel/nya-krav-pa-pasar-for-matavfall/>
[2024-03-04]
- Bauer, F., G, Fontenit (2021), *Plastic dinosaurs – Digging deep into the accelerating carbon lock-in of plastics*. *Energy policy*, science direct, volym 156 nr 112418.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112418>
Artikel kan även hittas här:
(<https://www.forskning.se/2021/11/03/plast-och-kemibolag-storsatsar-pa-fossil-plast/>)
- Brdlík, P.; Borůvka, M.; Běhálek, L.; Lenfeld, P. *The Influence of Additives and Environment on Biodegradation of PHBV Biocomposites*. *Polymers* 2022, 14, 838.
<https://doi.org/10.3390/polym14040838>
- Brown, R, W., Chadwick, D, R., Zang H., Graf, M., Liu, X., Wang, K., Greenfield, L, M., Jones, D, L. *Bioplast(PHBV) tillsats i jord förändrar mikrobiell samhällsstruktur och påverkar växt-mikrobiell metabolisk funktion i mats negativt*. Elsevier *Journal of Hazardous Materials*, volym 441, 129959
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129959>
- Connan, M., Perold, V., Dilley, B, J., Barbraud, C., Cherel, Y., Ryan, P, G. (2021) *“Indiska Oceanens skräplapp; Empiriska bevis från flytande makroskräp”*, Volym 169, 112559 Elsevier, Science Direct.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112559>

- Dahre'n, N. Hälsingegymnasiet. (2013) Högupplösande vätskekromatografi (HPLC)
<https://kemilektioner.se/wp-content/uploads/2013/10/H%C3%B6guppl%C3%B6sande-v%C3%A4tskekromatografi-HPLC.pdf>
 [2024-03-09]
- Dolci, G. , Venturelli, V., Catenacci, A., Ciapponi, R., Malpei, F., Turri, S., Grosso, M.
Utvärdering av anaerob nedbrytning av insamlingspåsar för matavfall gjorda av papper eller bioplast. Volym 305.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114331>
- Energimyndigheten 2022. *Produktion av biogas och rötresten och dess användning 2022 Energigas Sverige*
https://www.svensktvatten.se/globalassets/organisation-och-juridik/vass/biogas/biogasstatistikrapport_2022.pdf
- European bioplastics, Nordisk bioplastförening (2016). Broschyr, faktablad
Policys för bioplast, ett ramverk för hållbar industriell tillväxt
https://nordiskbioplastforening.se/wpcontent/uploads/2016/08/EuBP_Policy_brochure_sv_print.pdf
 [2024-03-16]
- European bioplastics (Figur nr 2),
- European Commission. Kommunikation-EU:s policyram för biobaserad, biologiskt nedbrytbar och komposterbar plast. (2022-11-28) Generaldirektoratet för miljö.
https://environment.ec.europa.eu/publications/communication-eu-policy-framework-biobased-biodegradable-and-compostable-plastics_en [2024-04-17]
- Fråne, S.Andersson, C.Andersson, N.Boberg, M.Dahlbom, J.Miliute-Plepiene, H.Unsbo, M.Villner, M.George. (2022)
 ”Kartläggning av plastflöden i Sverige 2020” med avseende på råvara, produkter och avfall. Rapport 7038. Naturvårdsverket 2022. ISBN 978-91-620-7038-0, ISSN 0282-7298 Arkitektkopia AB, Bromma
<https://www.naturvardsverket.se/4ac864/globalassets/media/publikationer-pdf/7000/978-91-620-7038-0.pdf>
- Grujić, R.; Vujadinović, D.; Savanović, D.(2017), Biopolymers as Food Packaging Materials. In *Advances in Applications of Industrial Biomaterials*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany pp. 139–160

- Han, Yujuan., Teng, Ying., Wang, X., Wen, X., Gao, P., Yan, D., Yang, N. (2024) *Biologiskt nedbrytbar PBAT-mikroplast påverkar tillväxten av pakchoi och rhizofärens ekologi negativt: Fokus på rhizofärens mikrobiella gemenskapssammansättning, ämnesomsättningspotential och rotexudat*. Volym 912, 169048. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169048>
- Holmström E. (2022) Synlig plast i rötrest Ab Stormossen
Oy. <https://biofuelregion.se/wp-content/uploads/2020/11/2022-Synlig-plast-i-rotrest.pdf>.
- Ittävaara, M., Karjomaa, S., Selin, J-F. (2002) Biodegradation of polylactide in aerobic and anaerobic thermophilic conditions. Volume 46, Issue 6, Chemosphere, Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00163-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00163-1)
- Ivl. Svenska miljöinstitutet.
<https://www.ivl.se/press/nyheter/2020-02-21-lattlast-rapport-ger-fakta-och-tips-om-plast.html> [2023-03-25]
- Kalpani.Y. Perera, Amit.K. Aiswal, Swarna Jaiswal
“(2023), “*Biopolymer-based sustainable food-packaging materials, Challenges, Solutions and applications*” 12(12), 2422;
<https://doi.org/10.3390/foods12122422>
- Livsmedelsverket (2017), Plast och papper i kontakt med livsmedel, Kunskapsöversikt, Svensson,K. Rapport17, del 2.
<https://www.avfallsverige.se/media/sq2mfc21/2017-nr-17-del-2-plast-och-papper-i-kontakt-med-livsmedel-kunskapsoversikt.pdf> [2024-04-17]
- Livsmedelsverket, (2023-10-16) *Mikroplast*
<https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/mikroplast>
[2024-03-25]
- Ljungkvist Nordin H. et al (2019) *Kartläggning av plastflöden i Sverige Råvara, produkter, avfall och nedskräpning*. SMED Rapport Nr 01 2019.
<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/amnen/plast/dokument/smed-rapport-kartlaggning-plastfloden191122.pdf>.
- McInerney,M.J (1988) Anaerobic hydrolysis and fermentation of fats and proteins. *Biology of Anaerobic Microorganisms* (Zehnder, J.B. ed)John Wiley and Sons, Inc.(USA):373-415

McKeen, L.W. (2013). *Plastic films in foodpackaging*. Tredje upplagan.

ISBN 978-1-4557-31112-1, Elsevier Inc.

<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3112-1.00001-6>

Muller, B., Sun, L., Westerholm, M. & Schnürer, A. (2016) Bacterial community composition and fish profiles of low and high ammonia biogas digesters reveal novel syntrophic acetate-oxidising bacteria. *Biotechnology for Biofuels* 9:48

Muneer, F., Andersson, M., Koch, K., Hedenqvist, M. S., Gällstedt, M., Plivelic, T. S., Menzel, C., Rhazi, L., och Kuktaite, R. "Innovativa gliadin/glutenin och modifierad potatisstärkelse gröna kompositer: kemi, struktur och funktionalitet inducerad av bearbetning" (2016), ACS Publications, 4, 12, 6332- 6343
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00892>

Naturvårdsverket, (2017). Mikroplast. (2023-05-25)

<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/mikroplast/>
[2024-01]

Naturvårdsverket, (2021), *Kemisk återvinning av plast. Teknik, flöden och miljöaspekter Rapport 6990, Juni 2021*. [Kemisk återvinning av plast \(naturvardsverket.se\)](https://www.naturvardsverket.se/kemisk-atervinning-av-plast)

Naturvårdsverket, (2023). *Vanliga begrepp inom plast, Komposterbar plast*,
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/vanliga-begrepp-inom-plast/>

Naturvårdsverket, 2023 . Vanliga begrepp inom plast, *Plast*

<https://www.forskning.se/2021/11/03/plast-och-kemibolag-storsatsar-pa-fossil-plast/>
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/plast-ska-vara-fri-fran-farliga-amnen/>

N.H.A Nguyen, M.Marlita, YS. El-Temsah, P.Hrabak, J. Riha, A. Sevcu (2023) *Early stage biofilm formation on bio-based microplastics in a freshwater reservoir*. 0048-9697/ Elsevier B.V

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159569>

Nordisk bioplastförening, *European bioplastics* (2011) Faktblad, Förnybara energikällor för produktion av plast. Påverkan på jordbruket-status och framtidsutsikter

<https://www.nordiskbioplastforening.se/vad-ar-bioplast/>

Näring i kretslopp, 2022. Rapport: *Synlig plast*, E.Holmström, Ab Stormossen Oy. 2022-04-22

<https://biofuelregion.se/wp-content/uploads/2020/08/2022-Infoblad-5-Synlig-plast-i-rotrest.pdf>

Quecholac-Pina X, Hernandez-Berriel MD, Manon-Salas MD, Espinosa-Valdemar RM & Vazquez-Morillas A (2020) *Degradation of plastics under anaerobic conditions: a short review*. *Polymers* 12.

Raffaele Porta, Mohammed Sabbah, Prospero Di Pierro I. (2020) "Biopolymers as Food Packaging Materials". *International Journal of molecular Sciences* (MDPI, 2020:21, 4942), doi:10.3390/ijms21144942.

[Biopolymers as Food Packaging Materials \(researchgate.net\)](#)

Revell, LE, Kuma, P., Le Ru et al. *Direkta strålnings effekter av luftburen mikroplast*. *Nature* 598, 462-467 (2021-10-21)

<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03864-x>

Ruggero, F., Coretti, E., R, Gori., T, Lotti., C, Lubello. (2020)

Monitoring of degradation of starch-based biopolymer film under different composting conditions, using TGA, FTIR and SEM analysis. *Science Direct Elsevier. stycke 3.1.3*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125770>. [2024-03-08]

Sharma, B & Jain, P. (2020) "Deciphering the advances in bioaugmentation of plastic wastes" Elsevier, *Journal of Cleaner Production*. 275, 123241

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123241>

Schnürer, A. professor, lärare, SLU, föreläsning 2022 introduktion till biogasområdet.

Schnürer, A., Jarvis. Å. (2017) *Biogasprocessens mikrobiologi*, SLU Repro 2017

Svensk Plastindustriförening (SPIF), (februari 2024). *Problematiska ämnen I plast som hindrar återvinning*.

<https://www.svenskplast.org/2023/12/11/kommentarer-till-kemikalieinspektionens-rapport/>

[2024-02-10]

Tibaldi, M.L. et.al. (2019). *Sciencedirect.com. Aktuella framsteg inom syntesmetoder, antitumörtillämpningar och biokompatibilitet*"

<https://doi.org/j.jddst.2019.02.007>. *Poly(-3-hydroxibutyrat-co-3-hydroxivalerat)(PHBV):*

Uppsala vatten 2022, *Miljörapport Uppsala vattens biogasanläggning*

<https://www.uppsalavatten.se/om-oss/vara-anlaggningar/biogasanlaggning/>

Uppsala vatten, Anläggningspresentation biogas 2021

<https://www.uppsalavatten.se/download/18.6001eb69180b1f4d4304f2c/1652254993765/Anl%C3%A4ggningspresentation%20biogas%202021.pdf>

Urbanek, A, K., Rymowicz, W. , Strzelecki M, C., Kociuba, W. , Franczak, L., Mirończuk, A, M. (2017) “*Isolation and characterization of Arctic microorganisms decomposing bioplastics*” 7:148,
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Vanliga plastsorter, Kemikalieinspektionen 2023

<https://www.kemi.se/hallbarhet/amnen-och-material/plast/vanliga-plastsorter>

Vela, I, C., Vilches, T, B., Berndes, G., Johnsson, F., Thunman, H. ”*Samåtervinning av naturliga och syntetiska kolmaterial för en hållbar cirkulär ekonomi*” (2022)
Journal of cleaner production. Science direkt.Volym 365 132674
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132674>

Veluru, S., Seeram, R. “ *Biotekniska tillvägagångssätt: Nedbrytning och valorisering av plastavfall för att främja den cirkulära ekonomin*”. Elsevier Science Direkt,
Volym 3, 100077 <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2024.100077>

Viljakainen, V.R., Hug, L.A. (2021). *New approaches for the characterization of plastic-associated microbial communities and the discovery of plastic-degrading microorganisms and enzymes*. 10.1016y Elsevier B.V. on behalf of Research Network of Computational and Structural Biotechnology.
<https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.11.023>

Westerholm, M., Professor, lärare SLU Föreläsning (2022), Biogasens mikrobiologi.

Westerholm M, Roos S, Schnürer A. 2010. *Syntrophaceticus schinkii* gen. nov., sp. nov., an anaerobic, syntrophic acetate-oxidizing bacterium isolated from a mesophilic anaerobic filter. FEMS Microbiology Letters 309: 100–104.
DOI:10.1111/j.1574-6968.2010.02023.x watermark.silverchair.com

Westerholm, M., Schnurer, A. (2019)

Microbial Responses to Different Operating Practices for Biogas Production Systems

DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.82815>

Wilson, K. Bio Innovation, (2021) RISE, Lunds universitet,

<https://www.bioinnovation.se/nyheter/circlestretch-skapar-hallbart-och-cirkulart-ramaterial-for-textilindustrin/>

[2024-03-10]

You Yang, Jian Min, Ting Xue, Pengcheng Jiang, Xin Liu, Rouming Peng, Jian-Wen Huang, Yingying Qu, Xian Li, Ning Ma, Fang-Chang Tsai, Longhai Dai, Qi Zhang, Yingle Liu, Chun-Chi Chen & Rey-Ting Guo. ” *Fullständig biologisk nedbrytning av polybutylenadipat-co-tereftalat via konstruerade cutinaser*”. Nat sid 1 /1645 (2023). Nature Communications(Nat Commun) ISSN 2041-1723(online)
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-37374-3>

Yoshie,N., Oike,Y., Kasuya, K.,Yoshiharu., Inoue D., Inoue Y. “*Change of Surface Structure of Poly(3-hydroxybutyrate) Film upon Enzymatic Hydrolysis by PHB Depolymerase*” (2002). Biomacromolecules, Vol. 3, No. 6, 1321

Tack

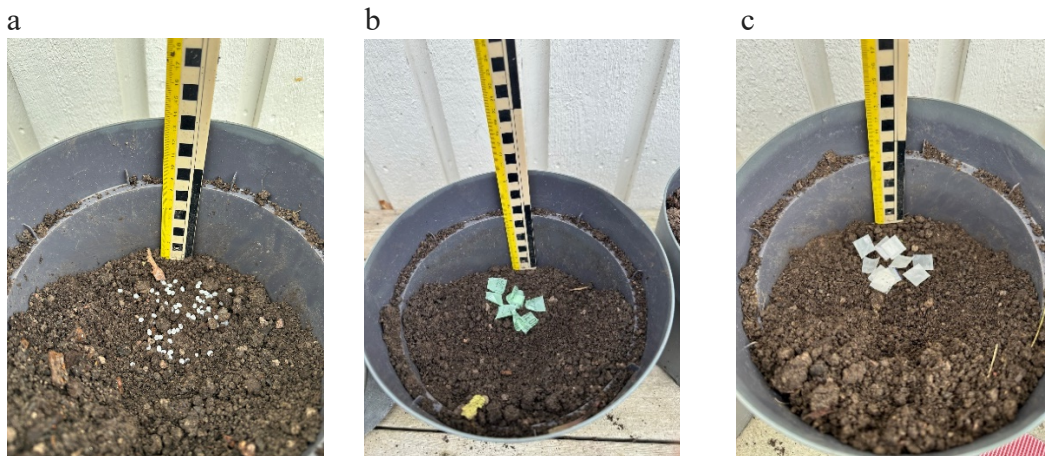
Ett stort tack till biogasteamet på SLU, institutionen för molekylära vetenskaper. Tack att ni är så hjälpsamma och inkluderande av masterstudenter som kommer in en kort period och flyger ut igen. Det betyder väldigt mycket!

Tack min handledare ass. professor Maria Westerholm för allt stöd och tålamod och uppmuntran. Så mycket jag har fått lära av er. Tack professor Anna Schnürer att du skapat en fin anda i teamet.

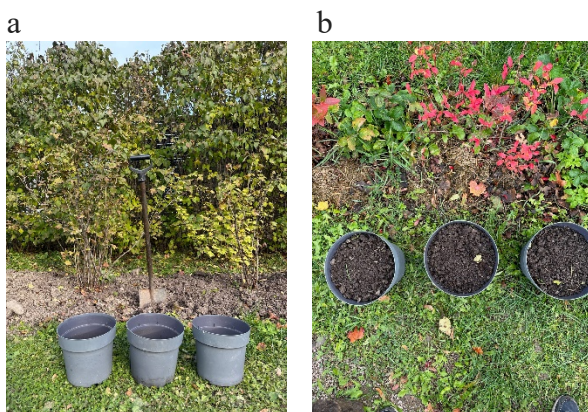
Bilaga 1

Tanken var först att plasterna skulle brytas ner i den anaeroba miljön i laboratoriet med flaskexperimentet, motsvarande den miljö i en biogasanläggning för att sedan avbryta försöket och fortsätta studera nedbrytningen i jord. Det skulle dock ta alldeles för lång tid för en masteruppsats och skulle bli tidsmässigt alldeles för stort. För att det var roligt och intressant lades plastbitar ner i krukor för att se vad som kan ha hänt med plasten i början av mars 2024 då de ska grävas upp. Detta är utanför uppsatsen.

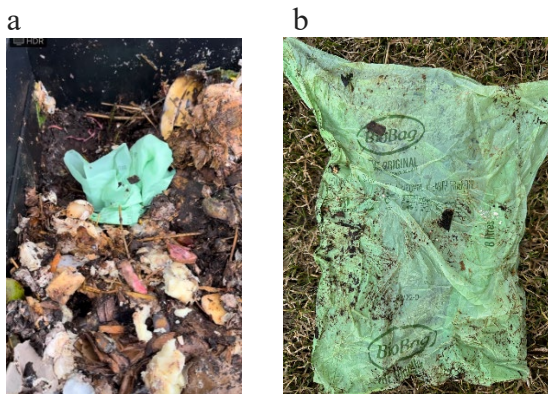
Plasterna lades ner i jorden 2023-10-17



Figur 48. Bitarna grävdes ner på 10 cm djup. Från vänster till höger: a) PLA, b) Mater-Bi, c) PHBV.



Figur 49. Krukorna förbereds med jord från trädgården.



Figur 50. a) Mater-Bi plasten läggs ned i komposten. b) Plastpåsen grävdes upp 2024-04-07

Mater-Bi sägs vara nedbrytbar i hemmakomposten varvid också på kul plastpåsen lades ner i en matkompost samma dag. Påsen grävdes upp 2024-04-07. Den är inte nämnvärt påverkad eller nedbruten.

Så här såg plasten ut då den grävdes upp:



Figur 51. a) tre krukor med jord och plast i. b). PLA c). Mater-Bi d). PHBV.

Bilderna visar att det inte hänt så mycket med plasterna i jorden trots att de befunnit sig på 10 cm djup i ca 6 månader. Detta är de svenska förhållandena med vinter och kyla. Krukorna har varit utomhus hela tiden. Jag låter krukorna stå ett halvår till för att se om det händer något mer under sommarmånaderna.

Bilaga 2

Tabellen visar de olika plastmaterialens vikt i varje flaska, mätt i milligram (mg) från start och efter behandling. På grund av att inte alla flaskor i försöket är avslutade, saknas värden i tabellen för flaskorna ”vikt för avslut” med benämning M1, M2, T1 och T2 då ingen vägning kunnat utföras på plasten i flaskorna. De flaskor med plast som fortfarande är igång, dvs inte avslutade, överlämnas till doktorand för fortsatta studier och undersökning. Flaskorna benämns med M för mesofil process, T för termofil process. Triplikat sattes för varje plastsort och benämns med nr 1,2,3. Flaska nr 3 i triplikaten och kontrollerna är avslutade och har därför värden.

Tabell 4. Tabell för invägd plast för start av försöket jämförelse med vikt för plasten vid avslut av försök. Vikten mäts i mg. Saknade värden för icke avslutade försök.

| Plastsort vikt - start | Flaska M1 | Flaska M2 | Flaska M3 | Flaska MKontroll | Flaska T1 | Flaska T2 | Flaska T3 | Flaska TKontroll |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| PLA | 401,8 | 394,0 | 410,8 | 413,4 | 401,2 | 400,7 | 409,3 | 393,5 |
| PHBV | 275,4 | 286,6 | 287,5 | 271,0 | 650,4 | 645,0 | 632,3 | 557,3 |
| Mater-B | 79,0 | 73,4 | 76,7 | 72,4 | 77,4 | 77,2 | 75,7 | 71,1 |
| Plastsort vikt - avslut | Flaska M1 | Flaska M2 | Flaska M3 | Flaska MKontroll | Flaska T1 | Flaska T2 | Flaska T3 | Flaska TKontroll |
| PLA | | | 405,3 | 379,9 | | | 113,3 | 104,9 |
| PHBV | | | 0 | 515,0 | | | 5,3 | 192,2 |
| Mater-B | | | 42,8 | 70,1 | | | 27,18 | 70,4 |

M = mesofil process, T = termofil process,

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.