

MUDP Fyrtårnsprojekt: Enorm Biofactory – værdiforøgelse af restbiomasser gennem insektproduktion

Arbejdsplan 6, Udvikling af højværdigødning

Forsøg med kompostering af frass i foråret 2021

For at afprøve kompostering af frass fra soldaterfluelarver er der gennemført tre forsøg med kompostering i tønder.

Forsøg 1: Der blev 21/4 2021 startet et forsøg med kompostering med frass, enten som ren frass eller frass iblandet Leca-kugler. Formålet var bl.a. at undersøge, om Leca-kugler kan bruges som inert strukturmateriale ved kompostering af frass, så der opnås tilstrækkeligt porøsitet til gennemblæsning med luft, og uden at kompostens sammensætning ændres væsentligt. Hvis der i stedet anvendes f.eks. træflis eller halm som strukturmateriale, ville det bl.a. ændre C/N-forholdet i komposten og dermed formodentlig gødningseffekten af komposten.

Forsøg 2: Da der ikke skete nogen varmeudvikling overhovedet over de første 5 dage i forsøg 1, blev der startet et nyt forsøg med iblanding af forskellige mængder af snittet halm af vinterhvede. Formodningen var, at C/N-forholdet i ren frass er for lavt (12,6 i et parti fra Enorm i sommeren 2020), og at der mangler let-omsætteligt kulstof i biomassen. Derfor blev der 26/4 2021 startet et forsøg med iblanding af halm til forskellige C/N-forhold på 20, 25 hhv. 40 og opfugtning til ca. 65% vand.

Forsøg 3: Da pileflis i andre sammenhænge vurderes som interessant ingrediens i vækstsubstrater, og da der tidligere er foretaget kompostering af frass sammen med pileflis, blev der startet et nyt forsøg med iblanding af forskellige mængder af pileflis. Baseret på tidligere analyser blev der antaget et C/N-forhold i ren frass på 12,6 og et C/N-forhold for pileflis på ca. 80. Der blev 28/5 2021 startet et forsøg med iblanding af pileflis til C/N-forhold på hhv. 20, 25 og 30 samt opfugtning til ca. 65% vand.

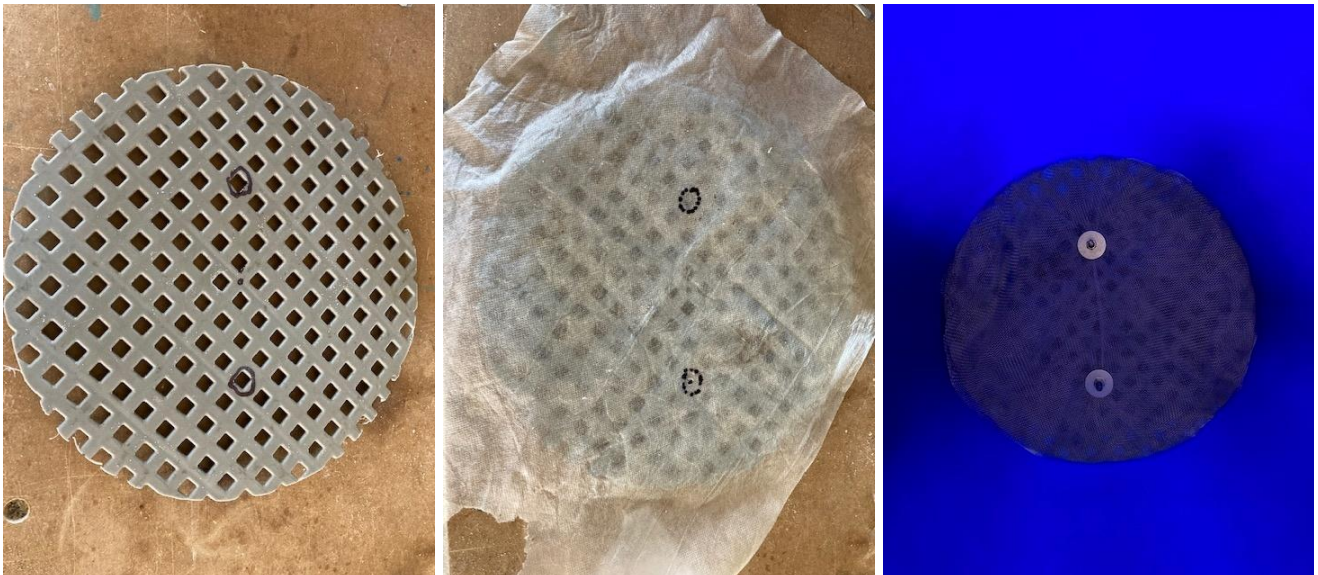
Generel forsøgsopstilling

Komposteringen er gennemført i tønder à 60 L (blå [plastlågssfad](#) i HDPE, m. sort låg, Ø400 mm, højde 624 mm, fra Dansk Transport Emballage A/S). Ca. 50 mm over tøndens bund er der monteret en rist i hård plast med 10*10 mm huller svarende til 25% perforering, Risten er omvundet med et lag fiberduk og et lag fluenet i metal, så frass-partikler ikke løber ned under risten, men så der kan blæses luft op igennem risten. Luften fra en pumpe blæses ind under risten via en bøsning nederst i siden af tøndens, eller luften kan alternativt suges ud fra bunden af tøndens, hvilket måske kan reducere forhindring af biomassen nederst i tøndens. 'Udstødningsluften' lukkes ud via et hul i tøndens låg, hvor der kan måles luft-flow. Temperaturen i biomassen måles hvert minut i hver tønde via en Inkbird temperatur-logger ([Inkbird IBS-TH2 PLUS Bluetooth Thermometer Hygrometer](#) fra www.amazon.de) med en ekstern probe, der er monteret på en jernstang og placeret ca. 350 mm nede i tøndens, dvs. ca. midt i biomassen. CO₂-koncentrationen kan måles hvert andet minut i head-space over biomassen vha. Neulog NUL-220 CO₂-sensorer, der ligeledes er monteret i tøndens låg og går ca. 10 cm ned i tøndens. CO₂-sensorerne kan kun måle op til 50.000 ppm (dvs. 5%) og burde ideelt set kunne måle højere koncentrationer.

Tønderne blev placeret på træunderlag og blev isoleret på sider og top med et 70 mm lag isoleringsmateriale i mineraluld (Knauf Insulation Ecoblanket) for at minimere varmetab under komposteringen.



Bøsning til indblæsning af luft i bunden af tønden samt bolte til at fastholde rist i bunden af tønden.



Bundrist i bunden af komposteringstønderne. Risten blev omvundet med fiberdug og derefter fluenet, før den blev monteret via to bolte gennem tøndens bund.



Temperatursensor monteret på jernstang, der via hul i låget kan stikkes ned i tønden.



CO₂-sensor monteret i låget i tønden. T.h. ses både CO₂-sensor og temperatursensor.



Forsøgsopstilling med to tønder med mulighed for indblæsning af luft i bunden, isolering for at begrænse varmetab, og løbende måling af temperaturen midt i tønden.

Forsøg 1

Ved start af komposteringsforsøget blev ren frass opfugtet ved overbrusning med vand og grundig opblanding med rive og skovl. Der blev tilstræbt et vandindhold på ca. 50% med forventning om en aktiv komposteringsproces ved dette vandindhold. Den tilsatte vandmængde blev beregnet ud fra en indledende analyse af vandindhold i frassen samt afvejning af mængderne af frass og vand. Da frassen stadig virkede relativt tør, blev der dog tilsat lidt mere end beregnet. Efter opfugtning blev vandindholdet målt til 52,9%.

For blandingen med frass + Leca-kugler blev frassen ligeledes opvandet til ca. 50% vandindhold før iblanding med Leca-kugler. Leca-kuglerne blev mættet med vand ved nedsenkning i vand i ca. 10 minutter, hvorefter de blev drænet af i ca. 30 minutter. Det antages, at Leca-kuglerne derfor ikke vil absorbere nævneværdigt af fugten i frassen. Hulrummet mellem Leca-kugler udgør iflg. Leca 40 % af Leca-kuglernes samlede volumen. Ud fra dette og indledende forsøg blev det besluttet at blande frass og Leca i volumenforholdet 2:5, dvs. så frassen i princippet udfylder hulrummet mellem Leca-kuglerne, men så der formodentlig stadig er en vis porøsitet.

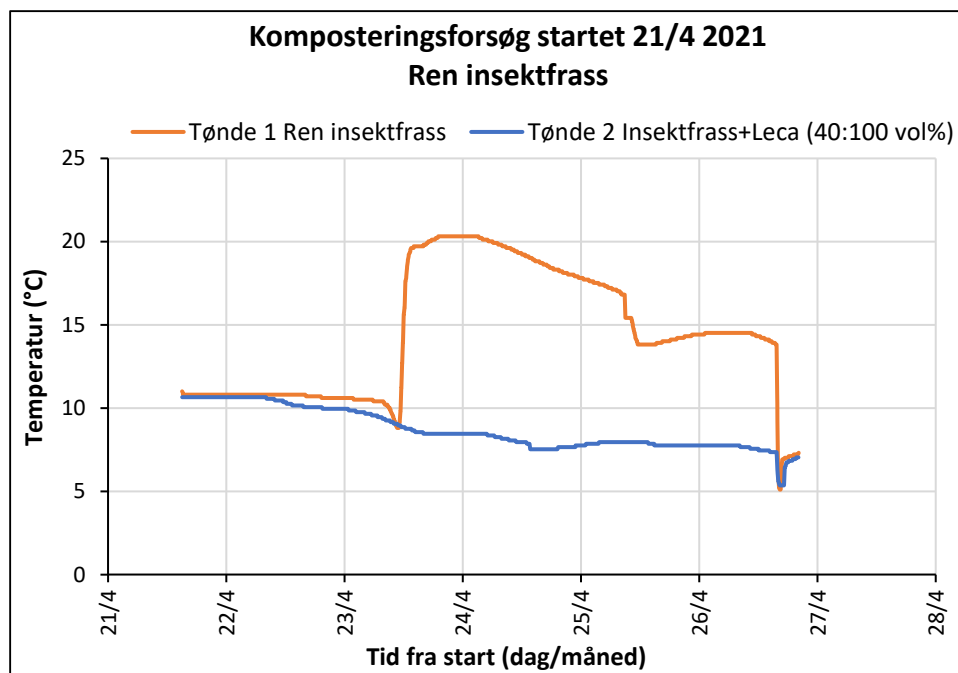
Tønden med ren frass blev fyldt med et volumen på ca. 50 L, mens tønden med frass + Leca-kugler blev fyldt med ca. 55 L volumen. Efter opfyldning blev tøndernes startvægt bestemt ved vejning (vægt af tønde+rist 2,38 kg, vægt af låg 0,58 kg, i alt 2,95 kg).

Der blev i løbet af de første 5 døgn periodevis blæst luft ind i de to tønder (+30L/min. i tønde med ren frass, 3-5 L/min i tønde med frass+Leca). Der kom luft op gennem åbning i tøndens låg, så der formodes ikke at være manglende porøsitet. Der var dog ingen varmedannelse, og temperaturen nåede

ikke over 20°C. Ved tømning af tønden med ren frass var der et tørt lag nederst i tønden lige over risten, hvilket tyder på rigelig beluftning, som har tørret det nederste lag ud. Det formodes, at C/N-forholdet i frassen har været for lavt (12,6 i parti fra Enorm i sommeren 2020), og at der har manglet kulstof til mikrobiel omsætning.

Tabel 1. Sammensætning af blandinger i de to tønder i forsøg 1 startet 21/4 2021.

Beh. nr.	Tønde nr.	Biomassesammensætning	Startdato	Råvaremængder ved forsøgsstart (kg)				Samlet volumen (L)	Tørstofindhold i frass v. forsøgsstart (%)			Tørstofmængde der ved forsøgsstart	Temperaturloggere nr.
				Frass (ca.)	Leca (ca., opfugtet vægt)	Vand tilført (ca.)	I alt (vejet)		Før vandtilsætning	Efter vandtilsætning	Frass		
								Målt	Beregnet	Målt			
1.	1	Ren insektfrass	21/4 2021	20.5	0	7.0	27.4	Ca. 50 L	65.0	48.5	47.1	13.3	Logger1
2.	2	Insektfrass + Leca (ca. 40:100 vol.%)	21/4 2021	7.6	14	3.0	24.1	Ca. 55 L	65.0	46.6	-	4.9	Logger 2
<i>Beregnet tørstofmængde i ren insektfrass passer relativt godt med 13.3 kg ud fra indledende analyse og 12.9 kg ud fra endelig analyse!</i>													



Figur 1. Udvikling i temperatur i komposteringsforsøg i tønder med insektfrass. Frass blev enten komposteret alene eller i blanding med Leca som inert strukturmateriale. Vandindholdet i frassen var ca. 53% ved forsøgsstart. Temperaturskiftene skyldes primært indpumpning af store mængder luft af varierende temperatur. Der var ingen tegn på varmedannelse i forbindelse med komposteringen, formodentlig pga. mangel på let omsætteligt kulstof.



Opfugtning af frass til ca. 50% før påfyldning i komposteringskølle.



Mætning af Lecakugler med vand i 10 minutter og afdræning i 30 minutter før opblanding med insektfrass.



Tønder ved start af komposteringsforsøget. T.v. ren frass. T.h. Frass iblandet Leca-kugler som strukturgivende materiale. For begge tønder blev frassen tilstræbt opfugtet til ca. 50% vand. Lecakugler var mættet med vand ved forsøgsstart.



Squeeze-ball-test af opfugtet frass. Der kunne ikke decideret klemmes vanddråber ud af frassen, men handskerne blev våde, og 'bolden' var sammenhængende.

Forsøg 2

Ved start af 2. komposteringsforsøg blev den opfugtede frass fra forsøg 1 brugt i de tre nye blandinger med snittet hvedehalm med tilstræbt C/N-forhold på hhv. 20, 25 og 40. Vinterhvedehalm (fra Thy fra høsten 2020) blev snittet i en lgrinder. Der blev antaget et tørstofindhold på 85% i halmen og 45% i frassen, og der blev antaget et C/N-forhold på ca. 85 for vinterhvedehalm (0,53% N i tørstof, 45% C i tørstof) og ca. 12,6 for frass (3,41% N i tørstof og 43% C i tørstof jf. analyse af frass fra Enorm i 2020).

De beregnede mængder af frass og halm blev afvejet og blandet med skovl, hvorefter blandingen blev opfugtet med afvejede mængder af vand. I første omgang var målet 55% vand, men da blandingen virkede relativt tør, blev der tilsat yderligere vand, og det endelige vandindhold endte med at være ca. 63-68% (bestemt ved ovntørring af duplikater ved 105°C i 22½ time). Fugtigheden blev bl.a. vurderet ud fra en 'squeeze-ball-test', hvor en håndfuld biomasse forbliver en samlet kugle efter sammenklemning – hvor der kun lige kan presses få dråber vand ud (se fotos). Det faktiske vandindhold i blandingerne stemte relativt godt overens med det beregnede vandindhold ud fra de tilførte mængder vand. De to tønder blev fyldt med ca. 55 L biomasse, mens den tredje tønde med blanding 3 med C/N på 20 blev kun fyldt med ca. 30 L.

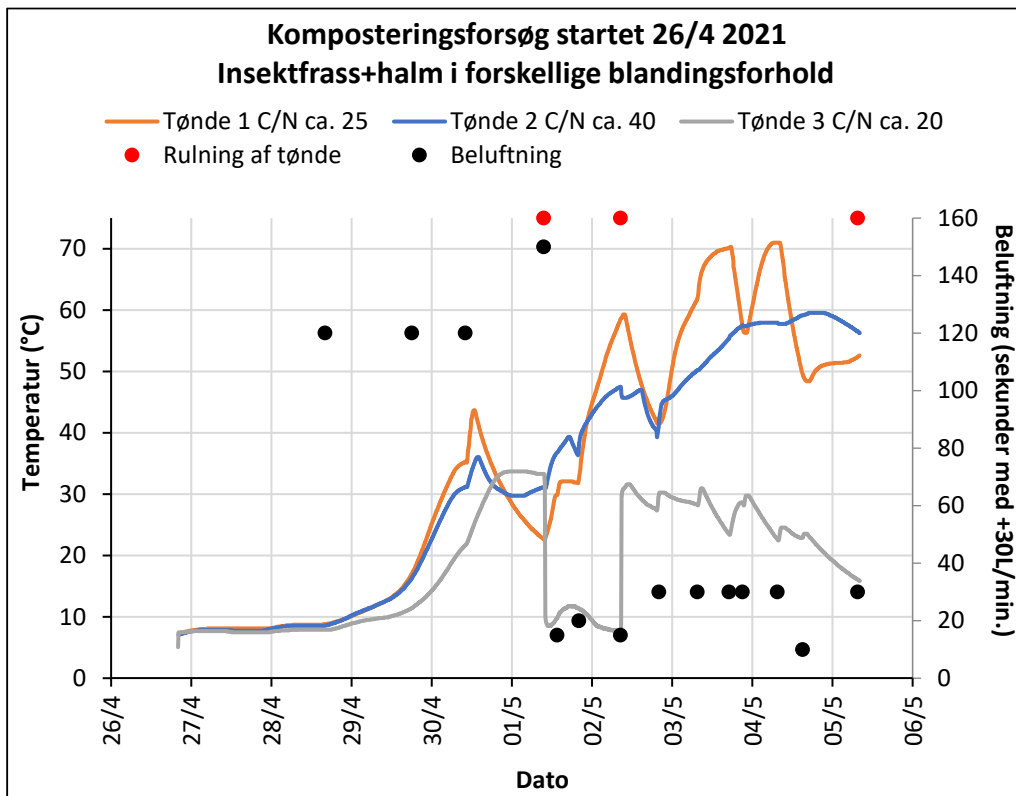
Tabel 2. Sammensætning af blandinger i de tre tønder i forsøg 2 startet 26/4 2021.

Nyt forforsøg med kompostering i 60L tønder, start 26/4-21																	
Beh. nr.	Tønde nr.	Biomassesammensætning	Startdato	Råvaremængder ved forsøgsstart (kg)					Samlet volumen (L)	Tørstofindhold i frass v. forsøgsstart (%)				Tørstofmængder ved forsøgsstart (kg)			Temperaturloggere nr.
				Frass	Halm	Vand tilført	I alt (blandet)	I alt (vejet)		Frass før vandtils.	Halm før vandtils.	Efter vandtilsætning		Frass	Halm	I alt	
									Målt	Anslået	Beregnet	Målt					
1.	1	Insektfrass + halm, C/N ~ 25	26/4 2021	5.5	3.8	6.0	15.3	12.1	55	45.0	85.0	37.4	37.2	2.0	2.6	4.5	Logger1
2.	2	Insektfrass + halm, C/N ~ 40	26/4 2021	1.7	3.5	5.5	10.7	9.5	55	45.0	85.0	31.0	33.5	0.7	2.7	3.3	Logger 2
3.	2	Insektfrass + halm, C/N ~ 20	26/4 2021	3.8	1.5	3.5	8.8	8.65	30	45.0	85.0	33.3	32.3	1.7	1.2	2.9	Logger 3

Tønderne blev beluftet med forskellige intervaller og med varierende luftmængder pr. beluftning (varierende antal sekunder med en pumpe med fast ydelse på minimum 30 L/sek.), dog kun med ca. halv luftmængde til tønde 3. Endvidere blev tønderne med mellemrum rullet rundt og rystet let for at give en vis opblanding og sikre fortsat porøsitet.

Der skete en betydelig varmeudvikling i alle tre tønder, dog mindre i tønde 3, som kun var halvt fuld (se figur nedenfor). Målingen af temperatur i tønde 3 kan være påvirket af, at proben ikke nåede så langt ned i biomassen og i perioder formodentlig kun målte i overkanten af biomassen (f.eks. fra 1/5 til 2/5). Temperaturen varierede betydeligt over tid, især i tønde 1, og temperaturen nåede to gange op på over 70°C. Der har ofte været en ændring i temperaturen efter beluftning eller rulning, men der ses ikke noget helt klart mønster i temperaturudviklingen som funktion af beluftning og rulning. Efter 8-10 dage faldt temperaturen markant især i tønde 1 og 2 med C/N på hhv. 25 og 40, selv trods regelmæssig beluftning.

Tønderne fik lov at stå i 32 dage i alt, men de seneste ca. 20 dage var temperaturen generelt lav, og der har formodentlig været meget lille aktivitet. Ved åbning var der fugt på indersiden af låget og på overfladen, og der var hvidlig svampevækst på overfladen af tønde 1 og 2. I disse to tønder var der zoner nede i dybden, hvor biomassen var tørret meget ud, og hvor biomassen var hvid af svampevækst (se fotos længere nede). Udtørringen har formodentlig bremset komposteringsprocessen betydeligt og kan være forklaringen på, hvorfor temperaturen faldt markant efter 8-10 dage.



Figur 2. Udvikling i temperatur i komposteringsforsøg i tønder med insektfrass. Frass blev kompostet i forskellige blandingsforhold med snittet vinterhvedehalm. Biomasserne blev blandet med henblik på at opnå et C/N-forhold ved start på enten 25, 40 eller 20 (ikke målt). Vandindholdet var ved forsøgsstart mellem 63 og 68%. Tønderne blev beluftet med forskellige intervaller og med varierende luftmængder pr. beluftning (varierende antal sekunder med en pumpe med fast ydelse på minimum 30 L/sek.), dog kun med ca. halv luftmængde til tønde 3. Resultaterne for Tønde 3 med C/N på ca. 20 skal tages med forbehold; tønden indeholdt kun ca. halvt så stor en mængde biomasse, hvilket kan have påvirket varmeudviklingen negativt og/eller probens kontakt med biomassen. Den lavere temperatur fra 1/5 til 2/5 skyldes formodentlig, at proben ikke var så langt nede i biomassen i denne periode.



Blanding 1 med frass og halm med tilstræbt C/N-forhold på 25.





Blanding 2 med frass og halm med tilstræbt C/N-forhold på 40. Nederst squeeze-ball-test.



Blanding 3 med frass og halm med tilstræbt C/N-forhold på 30. Tønden var kun ca. halvt fyldt.



Forsøgsopstilling med de tre tønder, før montering af isoleringsmateriale.



Tønde 2 med frass+halm og C/N på ca. 40. T.v. Overflade ved åbning efter en måneds kompostering. T.h. Biomasse længere nede i tønden; biomassen er tørret betydeligt ud i zoner af tønde, hvilket formentlig har bremset komposteringsprocessen.

Forsøg 3

Det 3. komposteringsforsøg blev opstartet 28/5 2021, og der blev brugt frass fra samme parti som ved de øvrige forsøg, og der blev brugt pileflis fra Ny Vraa Bioenergy (leveret maj 2021). Pileflisen var lavet af to-års pileskud, der var lagret/tørret indendørs som alm. træflis i et års tid, hvorefter det blev neddelte med en Haybuster og lagret i yderligere 6 måneder. Der blev lavet tre blandinger af frass og pileflis med tilstræbt C/N-forhold på hhv. 20, 25 og 30 (til tønde 1, 2 og 3) og et tilstræbt vandindhold på ca. 65%. Der blev antaget et C/N-forhold på ca. 80 for pileflis (0,76% N i tørstof, 55,9% C i tørstof jf. tidligere analyse af tilsvarende pileflis) og ca. 12,6 for frass (3,41% N i tørstof og 43% C i tørstof jf. analyse af frass fra Enorm i 2020).

De beregnede mængder af frass og pileflis blev afvejet og blandet i tør tilstand med skovl, hvorefter blandingen blev opfugtet med afvejede mængder af vand og derefter blandet yderligere. Der blev tilsat yderligere vand efter vurdering med squeeze-ball test, dvs. hvor en håndfuld biomasse forbliver en samlet kugle efter sammenklemning – hvor der kun lige kan presses få dråber vand ud. Det endelige vandindhold ved forsøgsstart blev bestemt ved ovntørring af duplikater ved 105°C i 8 timer, hvor vandindholdet var 29,3%, 30,0% og 28,7% i blandingerne med C/N-forhold på hhv. 20, 25 og 30.

Biomassen blev dog nok opfugtet rigeligt, da der forekom lidt væskeafløb i løbet af den første times tid for tønde 3 med C/N på 30, og en del væskeafløb fra tønde 1 og 2 i løbet af det første døgn. Væskemængden blev ikke kvantificeret men formodes at være i størrelsesordenen ½ L pr. tønde (ud af en samlet biomasse mængde på mellem 21 og 27 kg pr. tønde). Det er også muligt, at træflisen optager vand lidt langsommere end snittet halm, og at biomassen kunne have opsuget lidt mere væske over længere tid.

Tønde 1 og 2 blev fyldt med ca. 50 L biomasse og tønde 3 blev fyldt med ca. 45 L biomasse.

Tabel 3. Sammensætning af blandinger i de tre tønder i forsøg 3 startet 28/5 2021.

Forforsøg 3 - Frass + pileflis, start 28/5-21 17.00 (CO ₂ -loggerne startet 28/5-21 17.00)																			
Beh. nr.	Tøn de nr.	Biomassesammensætning	Startdato	Råvaremængder ved forsøgsstart (kg)					Samlet volumen (L)	Tørstofindhold i frass v. forsøgsstart (%)				Tørstofmængder ved forsøgsstart (kg)			Temperaturlogger-nr. og CO ₂ -logger-nr.		
				Frass	Pileflis	Vand tilført	I alt (blandet)	I alt (vejjet)		Frass før vandtils.	Pileflis før vandtils.	Efter vandtilsætning		Frass	Pileflis	I alt			
													Målt	Målt	Beregnet	Målt			
1.	1	Insektfrass + pileflis, C/N - 20	28/5 2021	8.5	5.4	16.0	29.9	27.49	50	70.0	68.6	32.3	29.3	5.5	3.4	8.9	Logger 1		
2.	2	Insektfrass + pileflis, C/N - 25	28/5 2021	6.0	7.1	16.0	29.1	22.96	45	70.0	68.6	24.6	30.0	3.3	3.8	7.2	Logger 2		
3.	3	Insektfrass + pileflis, C/N - 30	28/5 2021	3.8	6.8	12.7	23.3	21.27	45	70.0	68.6	28.7	28.7	2.4	4.3	6.7	Logger 3		

Tønderne blev beluftet med forskellige intervaller og med varierende luftmængder pr. beluftning (varierende antal sekunder med en pumpe med fast ydelse på minimum 30 L/sek.), Der blev typisk beluftet 2 eller 3 gange pr. døgn, og der blev kun beluftet, når CO₂-koncentrationen var over 50.000 ppm (øvre grænse for CO₂-sensorerne) i headspace øverst i hver tønde. For hver tønde blev der beluftet i et antal sekunder, indtil CO₂-indholdet nåede ned under 50.000 ppm. Beluftningen skete primært ved at suge luft ud i bunden af hver tønde fremfor at blæse luft ind i bunden, hvilket muligvis reducere udtørringen af biomassen i den nederste del af tønden.

Der forekom dog ingen varmedannelse i nogen af tønderne (over en måneds tid). Dette kan muligvis skyldes for højt vandindhold eller alternativt, at pileflisen allerede var delvis komposteret forud for forsøget. Der blev ad flere omgange forsøgt med udtørring af biomassen ved at sprede indholdet fra hver tønde i et tyndt lag i nogle timer, men udtørringen skete generelt langsomt, og der var kun en kortvarig varmedannelse (op til godt 30°C) indenfor det første døgn efter luftning/tørring.



Opblanding af frass og pileflis med C/N-forhold på 30. 1) De afvejede mængder af frass og pileflis. 2) Frass og pileflis udlagt i lag. 3) Frass og pileflis opblandet i tør tilstand. 4) Opvanding med afvejet vandmængde. 5) Den færdigblandede og opfugtede blanding af frass og pileflis.



Færdige blandinger af frass og pileflis i forskellige blandingsforhold med tilstræbt C/N-forhold på hhv. 20 (1), 25 (2) og 30 (3), dvs. hvor pileflis udgør hhv. 38, 54 eller 64 % af tørstofmængden.



Tønder med færdige blandinger af frass og pileflis i forskellige blandingsforhold med tilstræbt C/N-forhold på hhv. 20 (1), 25 (2) og 30 (3). Der var hhv. ca. 50, 50 og 45 L biomasse i de tre tønder.



Forsøgsopstilling med komposteringsforsøg med frass og pileflis, startet 28/5 2021. Slangere til beluftning er monteret, men isoleringsmateriale er endnu ikke monteret på tønderne.



Forsøgsopstilling med komposteringsforsøg med frass og pileflis, startet 28/5 2021. Efter montering af isoleringsmateriale og med aflæsning af CO₂-koncentration.

Konklusion

Der blev ikke opnået nogen varmedannelse ved kompostering af ren frass (forsøg 1). Dette tyder på, at der mangler let-omsætteligt kulstof (for lavt C/N-forhold) i frass til at sikre en kompostering. Ved sam-kompostering af frass og vinterhvedehalm skete der en betydelig varmeudvikling til op over 70°C i over en time (forsøg 2). Dette viser, at frass i princippet vil kunne hygiejniseres vha. sam-kompostering med halm. Ved sam-kompostering af frass og pileflis skete der kun begrænset varmeudvikling, formodentlig pga. for højt vandindhold i blandingen, eller at den anvendte pileflis allerede var delvis komposteret forud for komposteringsforsøget (forsøg 3).

Forsøgene tyder på, at der er behov for tilsætning af anden biomasse med let omsætteligt kulstof for, at frass kan komposteres effektivt og fungere som hygiejnisering via opvarmning til minimum 70°C i minimum en time. Endvidere understreger forsøgene, at der er brug for at optimere beluftning og styring af vandindhold under komposteringsprocessen for at opnå den ønskede proces med tilstrækkelig varmeudvikling. Dette vil bl.a. kunne understøttes af løbende målinger af vandindholdet i biomassen og indholdet af ilt eller CO₂ i luften i komposten og derudfra løbende regulering af vandtilførsel og beluftning.