

Kontrollerad trumkompostering med liten klimatpåverkan

– emissioner och värmeåtervinning

Lena Rodhe, Fredrik Niklasson, Huibert Oostra,
Pernilla Gervind, Johnny Ascue, Marianne Tersmeden
och Anders Ringmar



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden



ingår i
SP-koncernen

Kontrollerad trumkompostering med liten klimatpåverkan

– emissioner och värmeåtervinning

Controlled drum composting with limited climate impact

– emissions and heat recovery

Lena Rodhe, Fredrik Niklasson, Huibert Oostra, Pernilla Gervind, Johnny Ascue, Marianne Tersmeden och Anders Ringmar

En referens till denna rapport kan skrivas på följande sätt:

Rodhe L., Niklasson F., Oostra H., Gervind P., Ascue J., Tersmeden M. och Ringmar A., 2015. Kontrollerad trumkompostering med liten klimatpåverkan – emissioner och värmeåtervinning. Rapport 427, Lantbruk & Industri. JTI – Institutet för jordbruks- och miljö teknik, Uppsala.

A reference to this report can be written in the following manner:

Rodhe L., Niklasson F., Oostra H., Gervind P., Ascue J., Tersmeden M. och Ringmar A., 2015. Controlled drumcomposting with limited climate impact – emissions and heat recovery. Report 427, Agriculture & Industry. JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Uppsala, Sweden.

Innehåll

| | |
|--|----|
| Förord..... | 5 |
| Sammanfattning | 7 |
| Introduktion | 9 |
| Problembeskrivning | 9 |
| Mål | 10 |
| Beskrivning gårdsanläggning Wiggeby gård | 10 |
| Kompostmaterial | 11 |
| Förkompost..... | 12 |
| Trumkompost..... | 13 |
| Efterkompost | 14 |
| Beskrivning gårdsanläggning Mellby gård | 15 |
| Material och metod | 17 |
| Wiggeby gård | 17 |
| Mätning gödselmängder och näringsinnehåll i gödsel | 17 |
| Luftflödesmätningar från förkompost och trumkompost Wiggeby..... | 17 |
| Mätning av gaskoncentrationer från förkompost och trumkompost | 18 |
| Energiåtervinningspotential..... | 20 |
| Mätning av emissioner från efterkompost, Wiggeby | 23 |
| Beräknade utsläpp för olika mätkombinationer på Wiggeby gård | 26 |
| Demonstrationsdag | 26 |
| Mellby gård | 27 |
| Mätningar..... | 27 |
| Olika mätkombinationer på Mellby gård..... | 29 |
| Demonstrationsdag | 29 |
| Resultat och diskussion..... | 29 |
| Gödsleegenskaper i olika komposteringssteg, Wiggeby | 29 |
| Förkompost, Wiggeby | 30 |
| Gödselmängder och näringsinnehåll i gödsel | 30 |
| Luftflöden från förkompost | 31 |
| Gaskoncentrationer och - emissioner från förkompost..... | 31 |
| Energiåtervinning från förkompost | 33 |
| Trumkompost, Wiggeby..... | 34 |
| Driftsförhållanden och gödselöden genom trumkomposten | 34 |
| Luftflöden | 36 |
| Gaskoncentrationer och -emissioner från trumkompost..... | 36 |
| Jämförelse av uppmätta emissioner från förkompost och trumkompost, Wiggeby..... | 39 |
| Kväve i lakvatten från trumkompost | 40 |

| | |
|--|----|
| Energiåtervinning från trumkompost, Wiggeby | 40 |
| Efterkompost, Wiggeby | 42 |
| Gödselmängder och näringsinnehåll i gödsel | 42 |
| Temperatur i komposthögarna | 44 |
| Ammoniakemissioner | 44 |
| Växthusgaser | 45 |
| Summering av emissioner från samtliga komposteringssteg, Wiggeby | 46 |
| Gödslegenskaper i olika komposteringssteg, Mellby | 49 |
| För- och efterkompost, Mellby | 50 |
| Gödselmängder och totalt näringsinnehåll i komposter vid start och slut, Mellby | 50 |
| Temperaturer i komposthögar | 50 |
| Ammoniakemissioner | 51 |
| Växthusgaser | 52 |
| Trumkompost Mellby | 52 |
| Gödselmängder och näringsinnehåll i gödsel | 52 |
| Gaskoncentrationer och -emissioner från trumkompost | 53 |
| Luftflöden | 56 |
| Energiåtervinning trumkompost, Mellby | 57 |
| Summering av emissioner från samtliga komposteringsled, Mellby | 58 |
| Ekonomi, investeringar och lönsamhet | 61 |
| Värmeåtervinning | 61 |
| Slutsatser | 62 |
| Referenser | 63 |
| Bilaga 1a. Emissioner från trumkompost på Wiggeby gård. Data för frånluft till värmeväxlaren | 65 |
| Bilaga 1b. Emissioner från trumkompost Wiggeby. Data för avluften från värmeväxlaren | 67 |
| Bilaga 2. Gödselanalyser Wiggeby | 69 |
| Bilaga 3. Gödselanalyser Mellby | 71 |
| Bilaga 4. Efterkompost, Mellby. Massa, volymvikt och näringsinnehåll i cylindrar med och utan täckning vid start och slut samt förändring under kompostering. | 73 |

Förord

Projektet har genomförts i huvudsak under 2014 som ett samarbete mellan JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) och företaget European Composting System AB (ECSAB). JTI har haft huvudansvaret för projektet med forskare Lena Rodhe som projektledare med stöd av forskare Huibert Oostra, laboratorieingenjör Johnny Ascue och forskningsteknikerna Marianne Tersmeden och Anders Ringmar. Från SP har forskare Fredrik Niklasson vid Förbrännings- och aerosolteknik (SP Fa) och civilingenjör Pernilla Gervind vid System- och installationsteknik (SP Si) medverkat där Fredrik ansvarat för gasmätningar på trumkomposter på två gårdsanläggningar samt en förkompost på en av gårdarna och Pernilla ansvarat för mätningar och beräkningar av energipotentialen hos luft från trumkomposten samt lönsamhet för energiåtervinning. Från ECSAB har VD Mats Tuveesson ansvarat för att tillsammans med försöksvärdarna hjälpa till med att anpassa anläggningarna för att underlätta mätgenomförandet och medverka vid demonstrationsdagar.

En förutsättning för genomförandet av projektet har varit försöksvärdarnas medverkan vid Wiggeby gård respektive Mellby gård. Stort tack till Håkan Eriksson med medarbetare på Wiggeby gård för all hjälp. En bättre försöksgård går inte att hitta! Stort tack också till Petter Beckman och Göran Gräns på Mellby gård.

Till projektet knöts också en referensgrupp som bidragit med sin erfarenhet och sitt värdefulla kunnande under projektets genomförande: Johan Malgeryd, Jordbruksverket, rådgivningsenheten Linköping; forskare Sven Smårs, Institutionen för energi och teknik vid SLU; Per-Erik Persson och Torbjörn Ånger, VAFAB miljö AB, samt handläggare Stig Karlsson, Länsstyrelsen Västra Götaland.

Projektet har finansierats av Jordbruksverket med medel från ”Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden”.

Uppsala i januari 2015

Anders Hartman

VD för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Enligt Europaparlamentets och rådets förordning för animaliska biprodukter ställs krav på en hygienisering av stallgödsel för att den ska kunna släppas ut på marknaden. Idag finns gårdsanläggningar med teknik för trumkompostering av stallgödsel som uppfyller hygieniseringskraven genom att allt material i trumman uppnår en temperatur av minst 52°C i minst 13 timmar utan avbrott. Projektets mål var att kartlägga utsläpp av ammoniak (NH₃), lustgas (N₂O) och metan (CH₄) från trumkomposteringen inklusive förkompostering och eftermognad från befintliga anläggningar utan förbättringsåtgärder. Utöver detta gällde det att identifiera kostnadseffektiva åtgärder för att minimera gasutsläpp, och att identifiera metoder och lönsamhet för energiåtervinning.

Mätningar utfördes på två gårdsanläggningar, båda anläggningarna med kompost baserad på hästgödsel kompletterad antingen med grönsaksavfall eller med annan djurgödsel. Gaserna NH₃, N₂O och CH₄ mättes från förkompost (kompostering under 0,5 till 1 vecka), trumkompost (uppehållstid ca 1 dygn) och efterkompost (2 – 3 månader). I utloppsröret från trumkomposten respektive en hall med förkompost togs kontinuerligt prover för bestämning av gaskoncentrationer med analysinstrument samtidigt med mätning av gasflödet för beräkning av emissioner. Vid mätning från komposthögar mättes NH₃ med en mikrometeorologisk massbalansmetod som bygger på exponering av s.k. fluxprovtagare som placerats på fyra master runt komposthögen. Växthusgaserna N₂O och CH₄ mättes med s.k. slutna kamrar under flera tillfällen under komposteringstiden. Några åtgärder för att minska utsläppen studerades också.

Sammanfattningsvis så var totala utsläppen av klimatgaser och ammoniak från de tre komposteringsstegen måttliga och för flera gaser lägre än vad som uppmätts i andra försök eller enligt schablonvärden. Störst klimatpåverkan hade utsläpp av metan, från förkomposten (Wiggeby gård) eller från efterkomposten (Mellby gård). Vidare var det direkta utsläpp av lustgas från efterkomposten, som hade största påverkan på den globala uppvärmningen. Växthusgasutsläppen från trumkomposten utgjorde en mycket liten del, endast 1-4 %, av utsläppen omräknat till kg CO₂e/ton kompost. Totalt var klimatpåverkan 31 kg CO₂e/ton under mätomgång 1-2 och 60 kg CO₂e/ton för mätomgång 3-4 på Wiggeby gård och ca 17-24 kg CO₂e/ton kompost på Mellby gård. Ammoniakavgången uppgick till ca 3 % av total-N i ursprunglig kompost på Wiggeby gård med störst NH₃-avgång under efterkomposten (1,4 - 2,1 %) och näst störst från trumkomposten (0,5-0,6 %), motsvarande ca 290 kg N per år. På Mellby gård var NH₃-avgången ca 5 % av total-N, där störst mängd kom från förkomposten. Upp till ca 35 % av NH₃ från trumkomposten kunde avskiljas med en prototyp av en kombinerad ammoniakfälla och värmeväxlare.

Åtgärden att täcka efterkomposten med plastduk tog bort större delen av lustgasemissionerna och minskade metangasutsläppen med ca en tredjedel. Potentialen för minskad klimatpåverkan med trumkompostering ligger främst i att kunna ta tillvara värmen i utluften från trumkomposten. Låg temperatur i utluften betyder att bästa användningen är uppvärmning av närliggande byggnader, vilket dock kan vara begränsat nära en stor gödselanläggning. Återbetalningstider för en investering i utrustning för värmeåtervinning ur luft från trumkomposten var endast tre år vid ersättning av olja (utan skattesubvention) som bränsle för uppvärmning och 19 år vid ersättning av befintlig fungerande fliseldning.

Summary

Manure must be hygienised before it is put on the market according to the EU Directive 1069/2009 on animal by-products, and for example horse manure is often exported from estates without agricultural land. Today there are plants approved to fulfill the hygienisation by using a drum composter to reach compost temperature of 52°C during at least 13 hours. The aims of the project were to determine the release of ammonia (NH₃), and the greenhouse gases (GHG) nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄) from drum composter including pre-compost and post-compost. Also, the aim was to identify and evaluate measures to reduce the gas emissions as well to identify cost efficient methods for energy recover.

Measurements were made on two different composting plants, both using horse manure as the main substrate, complemented either with vegetable residues or other animal manure. The gases NH₃, N₂O and CH₄ were measured from pre-compost (duration 0.5 to 1 week), drum compost (retention time about 24 hours) and post-compost (duration 2.5 to 3 months). When the exhaust air were lead in pipes from the drum composter and from one farm's pre-composting hall, the air flow and gas concentrations were measured on-line by a pressure based flow meter and by two gas analyzers; FTIR and FID. For batch composts (post-composts and pre-compost on farm 2) a micro metrological mass balance method, based on exposure of passive flux samplers placed on masts surrounding the heaps, was used for NH₃ measurements and for CH₄ and N₂O closed chamber techniques were applied repeatedly during the composting.

In total, the emissions NH₃, N₂O and CH₄ were limited and rather low compared to literature as well as the default values. The largest impact on global warming was from CH₄ emitted from batch composts, highest from the pre-compost (Wiggeby gård) or from the post-compost (Mellby gård) and secondly, direct N₂O-emissions from post-composts. The release of GHGs from the drum compost amounted only to 1 to 4% of the total release calculated in kg CO₂e per tonne compost. The total global warming potential (GWP) from the three-step compostings were 31 kg CO₂e per tonne during sequences 1 to 2, and 60 kg CO₂e per tonne compost for sequences 3 to 4 on Wiggeby gård and about 17-24 kg CO₂e per tonne at Mellby gård. The total NH₃ emissions from the three steps of composting were about 3% of total N in substrate at Wiggeby gård, where the main source was the post-compost (1,4 - 2,1%), and secondly in amount the drum compost (0,5-0,6%) corresponding to about 290 kg N per year. At Mellby gård, the NH₃ emissions were about 5% of total N in substrate, where the main source was the pre-compost. The NH₃ trapped from the outlet air from drum composter was 17 and 35% of total NH₃ discharged for the plants, respectively. The measure to cover the post-compost with plastic reduced most of the N₂O emissions, and also reduced CH₄ by a third. In total, the release of GHGs and NH₃ were moderate from the three steps of composting, and the potential for reduced climate impact are mainly in substituting heat from fossil fuel with heat exchanged from exhaust air from drum composter.

Introduktion

Problembeskrivning

I närheten av tätorter finns hästar och därmed hästgödsel, men inte så mycket jordbruksmark (Jordbruksverket, 2011). Det finns ett behov av mottagare av hästgödseln, som kan vidareförädla den till attraktiva jordförbättringsmedel. Idag händer det att hästgödsel dumpas i naturen, vilket kan leda till föroreningar (utlakning av växtnäring till vatten). I andra fall ligger hästgödseln okomposterad (för lite kväve eller för torr), och lakas ut på näring. Intresset för hästgödsel hos lantbrukare är ofta litet, pga. att den inte är nedbruten och kan innehålla ogräsfrön. Det finns också behov av att kompostera mer svårhanterliga fasta gödseltyper som djupströbäddar, där det krävs en nedbrytning innan gödseln kan spridas och växtnäringen blir mer lättillgänglig för växterna.

För att göra hästgödsel och djupströgödsel attraktiv som jordprodukt eller gödselmedel krävs behandling, t.ex. kompostering. När förhållandena är gynnsamma, som när näringsinnehållet av kväve och kol i gödseln har kvoten 25-30 och mängden syre och fukt är tillräcklig, sker en spontan kompostering. En aktiv omblandning innebär att syre tillsätts och därmed stimuleras komposteringen. Vid kompostering finns dock risk för höga förluster av kväve i form av ammoniak (NH_3 ; indirekt växthusgas) och avgång av växthusgasen lustgas (N_2O ; global warming potential GWP_{100} 298 CO_2e).

Enligt Europaparlamentets och rådets förordning för animaliska biprodukter ställs krav på en hygienisering för att biprodukter som stallgödsel ska kunna släppas ut på marknaden. Idag finns teknik för trumkompostering av stallgödsel som uppfyller hygieniseringskraven genom att allt material i trumman uppnår en temperatur av minst 52°C i minst 13 timmar utan avbrott. Anläggningar med trumkompostering är godkända av Jordbruksverket. Komposteringsanläggningarna är ofta i en mindre skala jämfört med biogasanläggningar och har betydligt större kapacitet än vid strängkompostering. Med tekniken kan man styra material- och luftflöde för att uppnå ställda hygieniseringskrav, men också för att hålla en så hög kapacitet som möjligt. Frånluften från komposttrumman samlas upp och sugas med fläkt genom ett rör ut från kompostreaktorn. Tekniken gör det därmed möjligt att kontrollera (mäta) luftutsläppen av NH_3 och växthusgaserna N_2O och metan (CH_4) och att styra processen utifrån detta eller att använda teknik för att reducera dem. Det ger också möjlighet att ta tillvara värmen i frånluften. Det finns därför en stor potential att vidareutveckla den kontrollerade komposteringen i syfte att minimera utsläppen av växthusgaser inklusive ammoniak (NH_3) från fastgödsel från lantbruk och hästanläggningar.

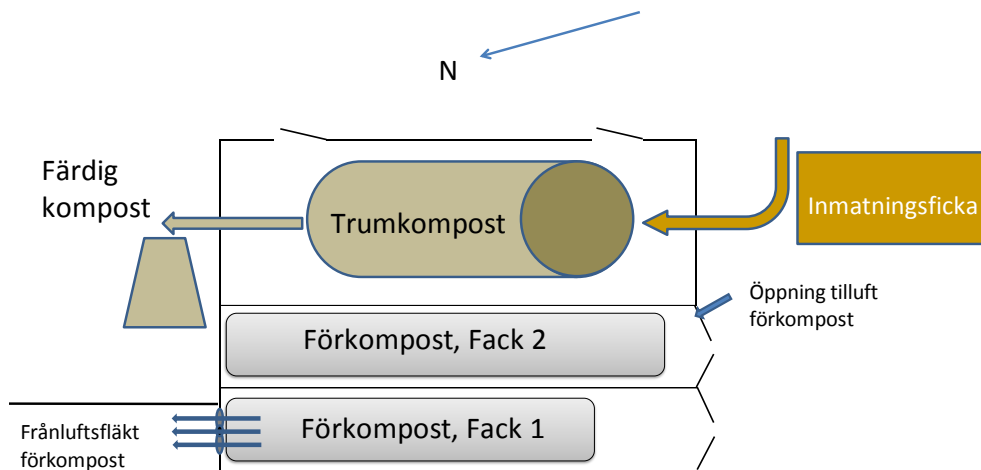
Mål

Projektet hade olika delmål:

- Kartlägga utsläpp av ammoniak, lustgas och metan från trumkomposteringen inklusive förkompostering och eftermognad från befintliga anläggningar utan förbättringsåtgärder.
- Identifiera kostnadseffektiva åtgärder för att minimera ovan nämnda utsläpp t.ex. genom att:
 - kontrollera lufttillförseln till kompostreaktorn
 - undersöka om kvävefällor kan minimera ammoniak- och lustgasutsläpp.
- Identifiera möjliga metoder för energiåtervinning.
- Beräkna lönsamheten för de föreslagna förbättringarna.
- Sprida kunskap om klimatvänlig och energieffektiv kompostering av hästgödsel och andra fasta organiska restprodukter.

Beskrivning gårdsanläggning Wiggeby gård

Anläggningen startades i januari 2013, men trumkomposteringen fungerade först i oktober 2013. Anläggningen består av platta med damm för lakvatten, hall med två fack för förkomposter och trumkompost samt en inlastningsficka (utanför hall, ska få tak), Figur 1. Förkomposten är placerad i en hall för att bl.a. slippa snöslask, men det är också bra under sommaren för att undvika uttorkning i ytan, dvs. det ger en mer homogen produkt. Målet är att trumkomposten ska gå 350 dagar om året. Det tar ungefär 3 timmar per dag att sköta anläggningen. Målet är att hygienisera 10 000 ton gödsel per år.



Platta, okomposterat material

Figur 1. Skiss av hall med förkomposter sedd uppifrån, Fack 1 och 2 samt hall med trumkompost.

Komposten ut från komposteringsstrumman efterkomposteras 4-6 veckor på gården innan leverans till jordtillverkare, förutom en mindre del kompost som förädlas till jordprodukt på gården.

Det finns önskemål om att ta tillvara värmen i frånluften från trumkomposten för att värma upp luften i hallen, som i sin tur ska gå ut i nya överbyggnaden för inmatningskruvarna.

Kompostmaterial

På gården komposteras en blandning av hästgödsel (90 %), och grönsaksavfall (10 %). Strömaterialet som finns i hästgödsel är till ca 35 % halm, 10 % torv, 5 % halmpellets och resten spån. Dessa komponenter blandas först med skopa på platta (Figur 2) och läggs sedan in i strängar, ca 4 m höga, i hallen för förkomposter. Vid inläggningen används en speciell skopa (fabrikat Allu), som finfördelar materialet vid inläggningen i strängar (Figur 3 och 4). Sönderdelaren släpper igenom partiklar mindre än 6 cm.



Figur 2. Blandning hästgödsel och grönsaksavfall.



Figur 3. Inlastning av hästgödsel med grönsaksavfall till förkomposten.



Figur 4. Skopa med sönderdelning.

Förkompost

Förkomposteringen sker i en hall med två separata fack, Figur 5 och 6. Facken fylls och töms genom varsin stor port. Portarna öppnas normalt bara när material körs in eller ut. Varje fack är 6 meter brett och 18 meter långt. Kompost kan staplas till 3,5 - 4 meters höjd i mitten av facken. Den genomsnittliga höjden på komposthögen uppskattades vara 3,5 meter. Facken fylls en gång i veckan, vilket ger en medellagringstid på 3,5 dagar för kompostmaterialet. Hallen rymmer två förkomposter, totalt ca 325 m³. Längst in i ena hörnet i förkomposten finns en frånluftsfläkt som är inställd på ett konstant varvtal. Frånluftens utlopp skyddas av en huv i 90° vinkel monterad på utsidan, Figur 6. Det finns också möjlighet att lufta kompoststrängarna underifrån (strängarna ligger på luftkanaler i golvet), men det utnyttjas oftast inte. Kanalerna fungerar istället främst som dränering. Övrig golvyta är av betong. Förutom friskluftsintag vid portarna, leds också den varma frånluften från trumman in i förkomposthallen, dock inte under våra mätningar.



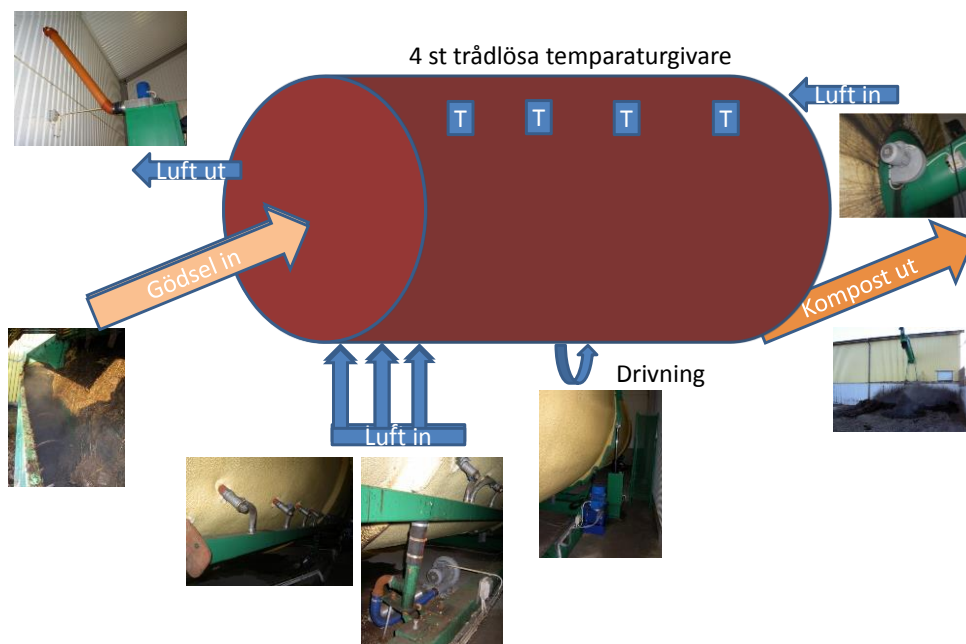
Figur 5. Frånluftsfläkt i förkomposten.



Figur 6. Utlopp för frånluftsfläkten. Utloppet skyddas av en huv monterad i 90° vinkel.

Trumkompost

Komposteringstrumman QuantorXL® på Wiggeby gård består av en liggande isolerad trumma (14 m lång, invändig diameter 3,4 m) som under rotering och luftning transporterar gödseln i axiell riktning (Figur 7). Trumman opererar i tvåtimmarscykler, så att den roterar fyra varv under 50 minuter och sedan står stilla ca 1 timme och 10 minuter. Samtidigt med roteringen sker in- och utmatning av gödsel. Uppehållstiden för gödseln är ca 26 timmar och genomströmsmängden är ca 30-40 ton per dygn. Inmatningsfickan fylls morgon och kväll. Luft trycks in med en radialfläkt i änden där gödseln transporteras ut och sugas ut av en annan fläkt i änden där gödseln matas in. När trumman står still är dessutom extra luftinsläpp längs hela trumman tillkopplade (Figur 8). Frånluftsfläkten är under roterande fasen inställd på 30 % av maximalt flöde och under stillastående fasen på 50 % av maximal volym. I trumman råder ett litet övertryck. Enligt erfarenhet bör frånluften från komposttrumman ha en syrehalt mellan 17 och 18 % medan en syrehalt på 14 % är för lågt, då processen kan störas. I normalläget blåses frånluften från trumman in i förkomposteringshallen. Detta gör man för att förhindra uttorkning av förkomposten eller t.o.m. för att fukta upp den lite.



Figur 7. Schematisk bild över luft- och gödselflöden genom trumkomposten, Wiggeby gård.



Figur 8. Extra luftinsläpp kopplas till trumman inför den stillastående fasen.

Efterkompost

På gården efterkomposteras materialet från trumkomposten under ca 4-6 veckor (Figur 9).



Figur 9. Efterkompost på Wiggeby gård.

Beskrivning gårdsanläggning Mellby gård

Mellby Gård bedriver ett jordbruk med gris- och nötdjursproduktion, skogsverksamhet och hästuppfödning. Grisproduktionen dominerar och gården tillhör de största grisproducenterna i Skåne och föder upp närmare 16 000 slaktsvin per år. Flytgödseln separeras i en fast och en flytande fas, där den fasta fasen komposteras (Figur 10).

I stort sker komposteringen på samma sätt som på Wiggeby med följande skillnader:

- Annan typ av gödsel. Förutom hästgödsel (ca 60 %) ingår fasta fasen från fassetparerad svinflytgödsel (egen gård, ca 20 %) samt förkomposterad djupströgödsel från kött djur (egen gård) och halmrik djupströgödsel från byggnad med sinsuggor.
- De olika gödselslagen blandas i en stallgödselspridare istället för på platta med sönderdelningsskopa innan förkompostering (Figur 10c och 10d).
- Förkomposteringen sker utomhus i sträng, under ca 1 vecka (Figur 10 d).
- Endast halva komposteringstrummans längd är försedd med luftventiler.
- Inmatningshastigheten är lägre genom att trumkomposten matas endast 28 minuter per två-timmarscykel från inmatningsfickan, som fylls en gång per dygn. Utmatning sker samtidigt med inmatning och dessutom ytterligare 14 minuter per tvåtimmars cykel enligt Tabell 1. Dessutom är det ett uppehåll i inmatning och utmatning på natten mellan kl. 21.48 och kl. 2.20.

Tabell 1. Tidsschema för inmatningsskruv, rotation av trumkompost och utmatningsskruv under en arbetscykel (två timmar lång) fram till kl. 21.48, Mellby gård. Totalt 10 cykler per dygn.

| | Cykel 1, start kl. | | | | Cykel 2, start kl. | Cykel 10, slut kl. |
|-----------|--------------------|------|---------|------|--------------------|--------------------|
| | 2.20 | 2.34 | 3.20 | 3.48 | 4.20 | 21.48 |
| Inmatning | Av | Av | på | Av | | |
| Trumma | Roterar | Av | Roterar | Av | | |
| Utmatning | På | Av | På | Av | | |

På Mellby efterkomposteras gödseln under 2-4 veckor. I Figur 10 och 11 visas foton från anläggningen.



a) Olika gödselslag innan blandning.



b) Separering av svinflytgödsel.



c) Sönderdelning och blandning av olika gödselslag med fastgödselspridare.

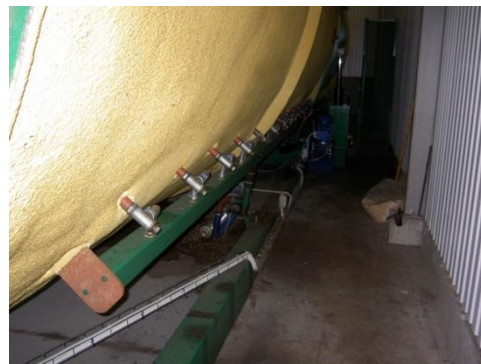


d) Förkomposteringsplatta.

Figur 10. Gödsel, förbehandling och förkompostering på Mellby gård.



a) Lastning av inmatningsficka.



b) Trumkompost med luftintag över halva trummans längd.



c) Frånluftsfläkt monterad på inmatningsskruven.



d) Utmatningsskriv från trumkomposten. I bakgrunden ses en del av efterkomposten.

Figur 11. Trumkompostanläggning på Mellby gård.

Material och metod

Wiggeby gård

Mätning gödselmängder och näringsinnehåll i gödsel

Gödseln vägdes vid fyllning och tömning av förkompost respektive trumkompost samt vid start och slut av efterkompostering med hjälp av våg (fabrikat Tamtron; www.tamtron.fi) monterad på maskinens lastare. Gödselprov togs ut för hand ur lastarskopen, delproven placerades i hink, blandades och sedan togs tre samlingsprov ut (två prover i reserv) för senare analys. Gödseln analyserades med avseende på torrsubstans (ts), totalkväve (Tot-N), ammoniumkväve (NH₄-N), nitratkväve (NO₃-N), pH, glödförlust (volatile solids; VS) och total-kol (Tot-C). Från laboratoriet erhöles också analysdata för fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), natrium (Na), svavel (S) och magnesium (Mg). Analysdata användes bl.a. för att beräkna gasemissioner per enhet t.ex. N₂O-N per ton respektive per kg N.

Luftflödesmätningar från förkompost och trumkompost Wiggeby

Mätningarna av frånluftsflöden från förkompost och trumkompost ligger till grund för beräkningar av mängden emissioner samt för beräkningar av värmeåtervinningspotentialen. Vid mätningen visade sig även luftflödet ge en bra indikation på hur styrningen av trumkomposten fungerade. Vid normal drift varierar frånluftsfläkten mellan 30 % och 50 % av dess maximala flöde i olika delar av styrcykeln, med högst flöde när trumman står stilla.

Förkompost

Luftens utlopp från förkomposten sitter några meter över marken, så för att underlätta kontinuerliga mätningar monterades tillfälligt en rörledning (innerdiametern ca 630 mm) ner till markplanet, Figur 12. För att få tillräcklig raksträcka för noggrann flödesmätning drogs rörledningen ca 10 m ut från byggnaden. För mätningarna av luftflödet användes en flödesmätsond av märket Micatrone.



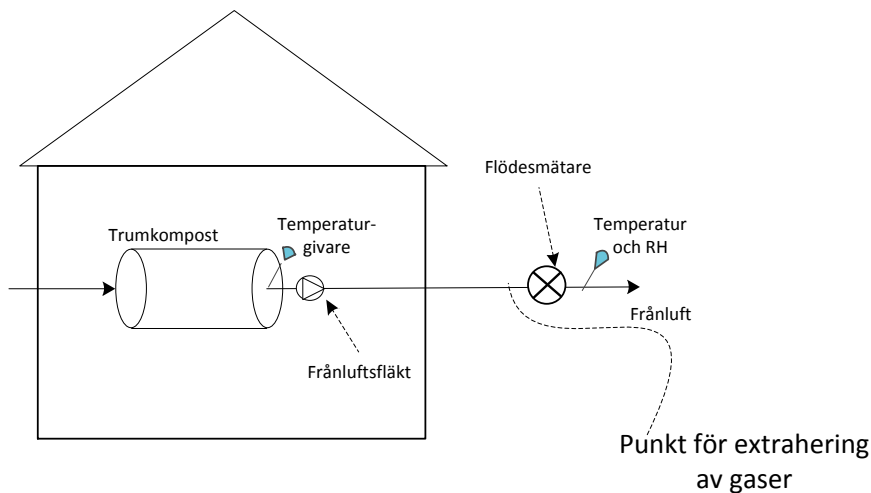
Figur 12. Rördragning från frånluftsfläkt. Mätpunkten i röret är precis bakom skåpbilen. Skåpbilen användes som mätlaboratorium och innehöll logger och analysutrustning för gasemissioner.

Röret ger en extra påverkan på luftflödet gentemot normalt utförande. För mätning av gasemissioner antogs dock att ett ändrat luftflöde inte gav någon skillnad på mängden emissioner av respektive gas, eftersom det även innebar en ändring i gaskoncentrationen (minskat flöde gav högre gaskoncentration, dvs. konstant massflöde av respektive gas).

Trumkompost

Under försöksveckan leddes frånluften från trumkomposten direkt ut ur byggnaden (ej via förkomposthallen) genom en 3,2 m lång rörledning (110 mm ytterdiameter, 103 mm innerdiameter).

Även för mätningarna i trumkomposten var det nödvändigt att förlänga frånluftsroret för att kunna genomföra kontinuerliga mätningar av luftflöden och emissioner. Bild på hur mätuppställning utan den kombinerade ammoniakfällan och värmeväxlaren (härefter kallad värmeväxlare eller förkortat vvx) visas i Figur 13.



Figur 13. Mätuppställning för mätningar i trumkomposten, utan värmeväxlare inkopplad. Komposteringstrumman ryms i byggnaden. Frånluftsroret har dragits ut från huset för att komma åt att göra mätningar.

Temperaturen mättes i två punkter dels vid trumkompostens frånluftsfläkt, dels vid platsen för flödesmätningen (pt-100-givare av märket Pentronic). Luftfuktigheten mättes med en givare av fabrikat Rotronic. Flödet i trumkomposten mättes på samma sätt som i förkomposten med en flödesmätsond av märket Micatrone. Eventuellt kondensvatten ut ur frånluftsroret kvantifierades under mätningar, och analyserades med avseende på $\text{NH}_4\text{-N}$.

Mätning av gaskoncentrationer från förkompost och trumkompost

De flesta gasanalysmätningarna utfördes med ett FTIR-instrument (Bomem MB100 9100), utrustad med mjukvara från Protea Ltd. Programvaran är utvecklad för förbränningsanläggningar, vilket medför att de algoritmerna är optimerade för en gassammansättning som avsevärt skiljer sig från vad som erhålls från en kompostanläggning. De certifierade mätområden som anges för mjukvaran är angivna i Tabell 2. Dock nämns det i en fotnot att de angivna mätspannen för NH_3 , CH_4 och CO_2 inte är absoluta utan kan ökas med manuell ”kalibrering”.

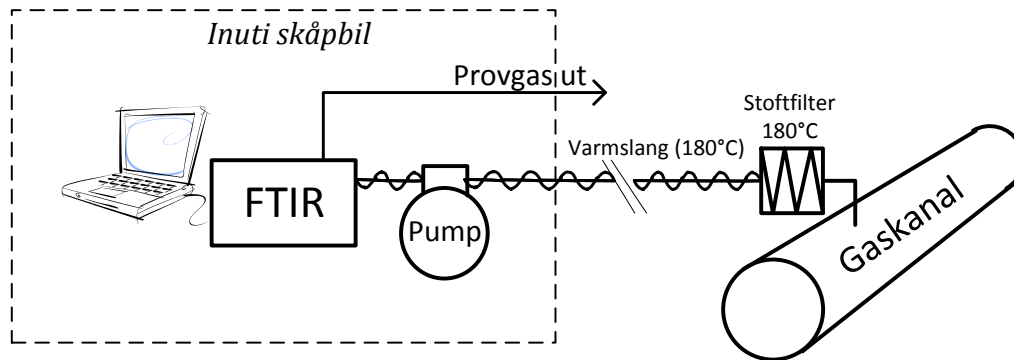
Tabell 2. Angivna certifierade mätområden för använd FTIR-mjukvara.

| Gas | Min | Max | Enhet |
|------------------|-----|--------|-------|
| NH ₃ | 0 | - 100 | ppm |
| CH ₄ | 0 | - 1000 | ppm |
| N ₂ O | 0 | - 500 | ppm |
| CO ₂ | 0 | - 20 | % |

Det kan även nämnas att det finns möjlighet för användare att utveckla algoritmer för koncentrationsbestämningar från uppmätta FTIR-spektra. Sådana algoritmer skulle kunna utformas för att vara bättre tillämpade för gas från kompostanläggningar. Men, framtagandet av en sådan ”skräddarsydd” algoritm är ett omfattande arbete som inte ryms inom föreliggande projektbudget. Istället utfördes kalibreringsmätningar med befintlig mjukvara och gaser från gasflaskor med kända koncentrationer av gaserna i Tabell 2 (i en bärgas av kväve). Spannen som testades var 0-2000 ppm för CH₄, 0-200 ppm för NH₃, 0-100 ppm N₂O och 0-2 % CO₂. Inom dessa intervall var lineariteten god för alla gaskomponenter utom för CH₄, som uppvisade god linearitet upp till ca 1000 ppm. Metankoncentrationer över 1000 ppm gav relativt stor mätosäkerhet (stora fluktuationer). Eftersom metankoncentrationer över 1000 ppm befarades, så medtogs ytterligare ett mätinstrument, en ”J.U.M. THC/CH₄ analyzer HFID 3-900” till Wiggeby. Som namnet antyder är instrumentet utrustat med en FID (Flame Ionization Detector) för att bestämma närvaron av kolväten i provgasen. Själva detektorn kan inte skilja på olika kolväten, så för att kunna mäta metan har instrumentet en inbyggd ”Non-Methane Hydro carbon cutter” som avskiljer alla kolväten utom metan ur provgasen innan den går in till detektorn. Denna ”cutter” kan kopplas in eller ur med en enkel brytare på instrumentet. Mätområdet är ställbart till ett av fem områden: från 0-10 ppm upp till 0-100000 ppm. Vanligtvis användes vid dessa mätningar område tre: 0-1000 ppm. Till skillnad mot FTIR instrumentet kräver FID-instrumentet kalibrering både före och efter varje mätning (eller mätdag). De kalibreringsgaser som användes var ren kvävgas (för nolljustering) och 900 ppm CH₄ i luft.

Vid mätplatserna var instrument, loggerutrustning och pumpar placerade inuti en skåpbil med värmeblåst för att upprätthålla en omgivningstemperatur på minst 15°C, Figur 14 och 15. Provgaserna extraherades i frånluftsroret med hjälp av en specialanpassad rostfri gasutsugssond, med vilken gas sögs från fyra punkter i rörets tvärsnitt för att minska risken för mätfel orsakat av icke representativa prover. Tätt utanför frånluftsroret leddes provgasen igenom ett uppvärmt keramiskt filter för att undvika partiklar i mätinstrumenten. Efter filtret följde en tio meter lång uppvärmd teflonslang (180°C). Vid mätningar med FTIR följdes slangen av en likaledes uppvärmd pump och en kortare uppvärmd teflonslang innan gasen nådde FTIR-instrumentet. Efter FTIR-instrumentets mätcell passerade gasen en rotameter, som användes för att kontrollera provgasflödet, innan gasen leddes ut från skåpbilen. Möjlighet att justera provgasflödet fanns genom att strypa en nålventil vid den uppvärmda pumpen. Vid mätningar med FID anslöts den tio meter långa varmslangen direkt på instrumentet, då detta instrument har en inbyggd uppvärmd pump som ser till att instrumentet får tillräckligt med provgas. Gasen hålls varm från utsugspunkt till instrument för att undvika kondensation i ledningar och utrustning. I denna tillämpning skulle det räckt med en måttligare temperatur än de 180°C som använts, men utrustningen är anpassad till förbränningsanlägg-

ningar där kondensation av exempelvis svavelsyra, saltsyra och tyngre kolväten kan ge bekymmer eller måtfel vid lägre temperaturer.



Figur 14. Skiss på system för gaskoncentrationsmätningar.



Figur 15. Emissionsmätutrustning inuti skåpbilen.

Energiåtervinningspotential

Luften som går ut ur trumkompost och förkompost är varmare och fuktigare än uteluften. Energin som går att utvinna ur fuktig luft kan delas upp i två delar. Den sensibla energin är den energin som finns i den torra luften och som kan utvinnas genom att kyla luften. Den latent energi är den energi som finns i det förångade vattnet i luften. Genom att kondensera ut fukten kan ångbildningsvärmets tas tillvara.

Vattenångans energiinnehåll har beräknats enligt följande

$$Q_{latent}(kJ) = \dot{m}(kg) \cdot \Delta H_{vap} \left(\frac{kJ}{kg} \right) \text{(eq.1)}$$

Den torra luftens sensibla energi har beräknats enligt eq.2

$$Q_{sensibelt}(kJ) = \dot{m}(kg) \cdot C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right) \cdot \Delta T(K) \text{(eq.2)}$$

Ju lägre temperatur det går att kyla frånluften till desto mer energi går att utvinna. I projektet är det i främsta hand möjligheten att använda det återvunna värmets för att förvärma inkommande uteluft till byggnaderna kring trumkomposten som undersökts.

För att kunna beräkna energiåtervinningspotentialen mättes luftflöde, temperatur och relativ luftfuktighet i frånluftsflödet från trumkompost respektive förkompost.

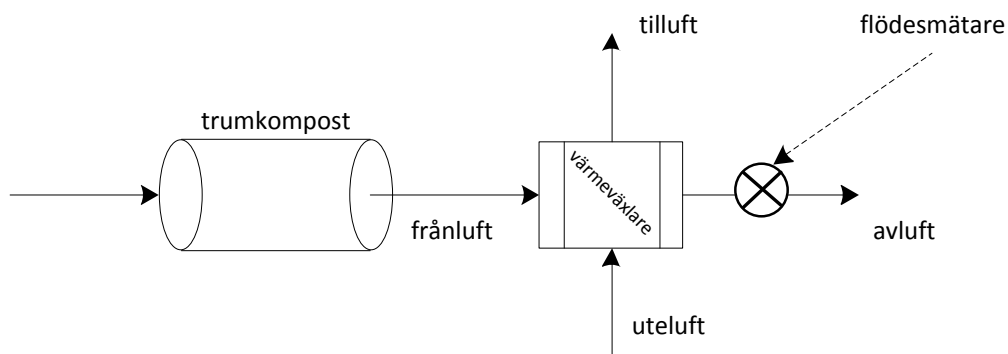
Vid både trumkomposten och förkomposten har frånlufts-röret byggts på med ansevliga raksträckor för att kunna göra kontinuerliga flödesmätningar. Temperaturen i förkompostens frånluftsflöde mättes med tre pt-100 givare (fabrikat Pentronic) i ett tvärsnitt av röret. I trumkompostens frånluftsflöde, med betydligt mindre diameter användes två pt-100 givare (fabrikat Pentronic) vilket bedömdes vara tillräckligt för att täcka in eventuella skiktningar i flödets temperaturprofil.

Den extra rördragningen antogs påverka temperaturen i frånluften negativt och som underlag för beräkning av värmeåtervinningspotentialen mättes frånluftstemperaturen i ytterligare en punkt så nära frånluftsfläktarna som möjligt.

I förkomposthallen användes temperaturloggers (fabrikat TinyTag) på två platser. Den ena placerades precis framför frånluftsfläkten och den andra placerades centralt i hallen. För trumkomposten placerades en temperaturgivare (pt-100 från Pentronic) direkt efter trumkompostens frånluftsfläkt.

De första mätningarna i trumkomposten användes för att göra en teoretisk uppskattning på hur stor värmeåtervinningspotentialen kan vara. För att bestämma hur mycket energi det finns potential att återvinna är det nödvändigt att ha i åtanke vad värmen ska användas till och vilken typ av värmeväxlare som ska användas. För att kunna göra tappvarmvatten enbart via en värmeväxlare (utan hjälp av värmepump) behövs t.ex. temperaturer i frånluften på över 60 °C. För att värma inkommande uteluft behövs ett tillräckligt stort ΔT över värmeväxlaren. Eftersom det finns en färdig prototyp för en luftrenare med inbyggd värmeväxlare som testats i detta projekt så har de beräkningar som gjorts baserats på antagande för denna typ av installation. Tanken är att värmeväxlaren ska utvinna energi ur trumkompostens frånluft som kan användas för uppvärmning av omkringliggande byggnader. I praktiken värmeväxlas trumkompostens frånluft med frisk luft (uteluft) och den uppvärmda uteluften kan sedan tillföras byggnaderna.

Efter det att mätningar gjorts på den befintliga installationen så kopplades denna prototyp av ammoniakfälla och värmeväxlare in i kompostens frånluftsflöde, schematisk skiss syns i Figur 16. Fläktinställningarna på frånluftsfläkten ändrades så att samma luftflöde erhöles även då värmeväxlaren hade kopplats på.



Figur 16. Schematisk skiss på hur värmeväxlaren kopplats in på trumkompostens frånluftsflöde. I figuren finns även nomenklatur på hur de olika luftflödena benämns.

Eftersom frånluften från komposten innehåller så mycket korrosiva ämnen måste materialet i en värmeväxlare väljas med omsorg. Tillverkaren av trumkomposten har använt värmeväxlare som både ska fungera som renare av frånluften samtidigt som den utvinnet värme som kan användas för att värma tilluften i ett intelligande hus. Reningen bygger på att vatten sprids i en dimma över den smutsiga luften från trumkomposten, och att ammoniakgasen ska lösa sig i vattnet, vilket samlas upp i botten av boxen i en öppen behållare (300 liter). På grund av den slutna konstruktionen hos värmeväxlaren var det tyvärr inte möjligt att mäta mängden kondensvatten (Figur 17).



Figur 17. Till vänster värmeväxlaren med dimensionerna $1,2 \times 1,6 \text{ m}^2$ i bas och $2,5 \text{ m}$ i höjd placerad på Mellby gård. På Wiggeby fanns det också en enkel ammoniakfälla monterad i inloppet till värmeväxlaren, där ingående luft sprayades med vatten (6 liter/h).

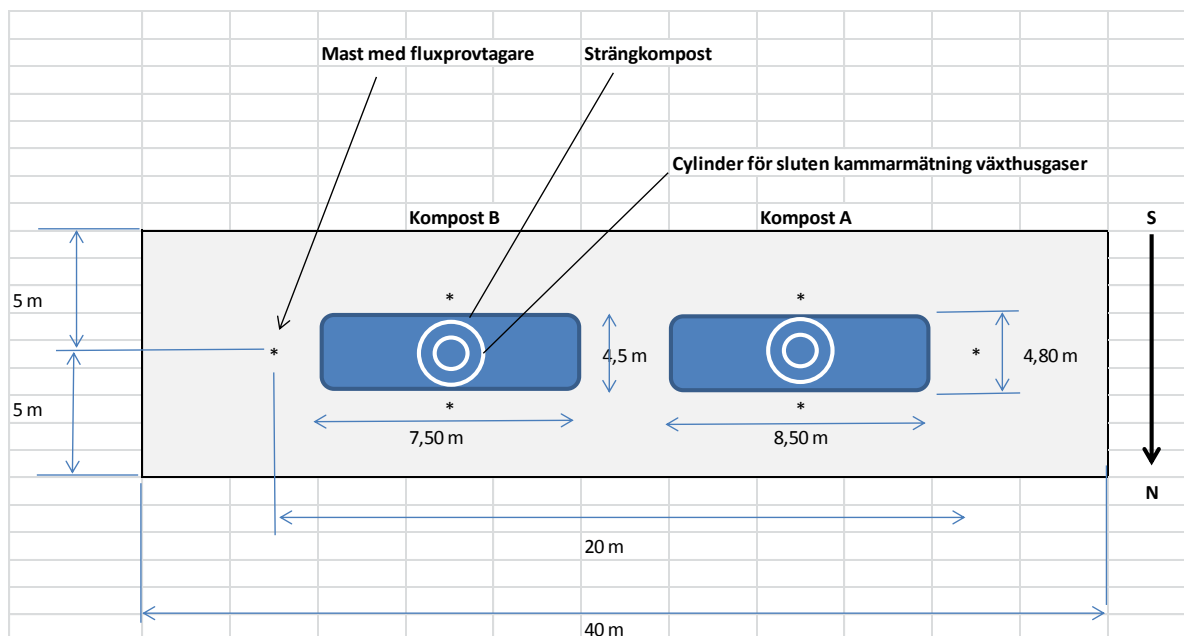
Mätning av emissioner från efterkompost, Wiggeby

Gasmätningar utfördes under tre månaders tid enligt Tabell 3.

Tabell 3. Utförda gasmätningar, exponeringar av fluxprovtagare för NH_3 -mätning respektive uttag av gasprover för bestämning av flux växthusgaserna CH_4 och N_2O .

| Mätning nr | NH_3 - flux | | Växthusgaser N_2O och CH_4 | |
|------------|----------------------|-----------------|---|-----------|
| | Kompost A | Kompost B | Kompost A | Kompost B |
| 1. | 25-28 mars | 28-31 mars | 25 mars | 28 mars |
| 2. | 28-31 mars | 31 mars–3 april | 28 mars | 31 mars |
| 3. | 11-17 april | 11-17 april | 31 mars | 3 april |
| 4. | 26 maj–18 juni | 26 maj–18 juni | 11 april | 11 april |
| 5. | | | 26 maj | 26 maj |
| 6. | | | 1 juli | 1 juli |

Gödseln som studerats i trumkomposten efterkomposterades under ca 3 månader på närbeläget fält. Dimensioner och placering av de två efterkomposterna (en från vardera mätvecka) visas i Figur 18 och 19. I mitten av vardera hög placerades en cylinder (2 m hög, 1,63 m i diameter, $2,09 \text{ m}^2$ bottenyta) för att kunna ta gasprover med sluten kammarteknik (Rodhe m.fl., 2008). Gödseln i cylindrarna vägdes dessutom separat. Gödselprov togs ur varje lastskopa vid in- och utvägning av högen och lades ihop till samlingsprov.



Figur 18. Planskiss och mått över efterkomposter benämnda Kompost A och B.

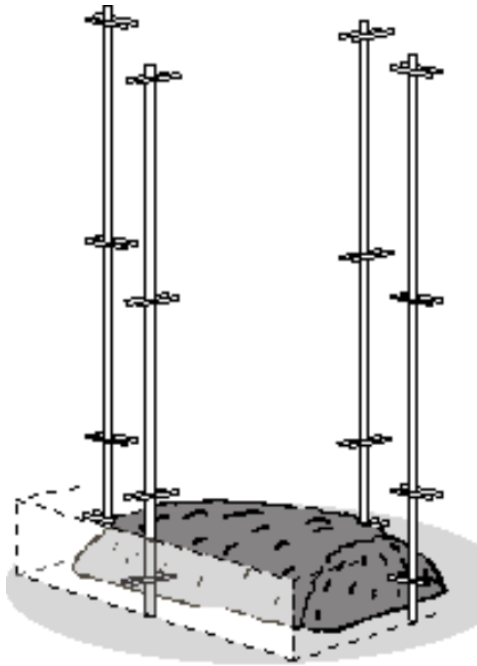


Figur 19. Efterkompost A (bortre hög) upplagd och omgiven av master för mätning av NH_3 -emissioner. I förgrunden syns cylinder, som är till för att mäta växthusgaser. Cylindern fylldes och omslöts av kompost vid uppläggning av kompost B.

Ammoniämätning

Avgången av ammoniak uppmättes under lagringen med hjälp av en mikrometeorologisk massbalansmetod, som bygger på att så kallade fluxprovtagare placeras på fyra master runt den ammoniakkälla som ska studeras, Figur 20. Metoden är tidigare beskriven av Schjørring m.fl. (1992) och av Karlsson (1996). I denna studie utgjordes ammoniakkällorna av respektive komposthög i sin helhet. Principen är att provtagarna placeras på masterna vid mätningens början och får under en given exponeringsperiod samla upp den del av det totala ammoniakfluxet som omfattas av provtagarnas öppningsarea. Med fyra master runt varje ammoniakkälla kan mätning ske oavsett vindriktning. Vid avslutad mätning togs provtagarna ned, märktes upp och skickades till JTI:s eget laboratorium för analys av ammoniakkväveinnehåll. Fluxprovtagarna placerades på höjderna 0,50, 1,50, 2,75 och 4,60 m.

Totalt genomfördes fyra mätningar under perioden mars till juni, Tabell 3. De två första mätningarna utfördes i följd eftersom de högsta emissionerna förväntades i början av komposteringen. I början exponerades provtagarna bara under tre dygn, medan de vid sista mätningen, då emissionerna var låga, utsattes för kontinuerlig exponering under 22 dygn.



Passiva fluxprovtagare, exponeras under viss tid för att fånga in NH_3 .

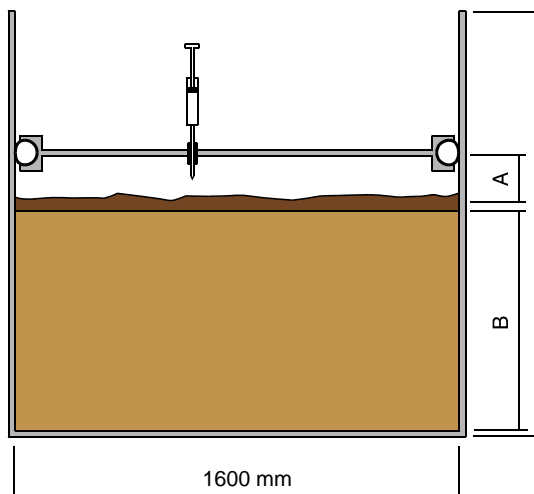


Efterkompost med master och mätcylinder för växthusgaser.

Figur 20. Metodik för mätning av ammoniakavgången från efterkomposterna.

Växthusgaserna metan och lustgas

Lustgasmätningar utförs på efterkompost med hjälp av slutna kammarmetod, där en cylinder bäddas in i respektive kompost. Bestämning av växthusgaserna lustgas och metan görs med en utrustning utvecklad av JTI (Rodhe m.fl., 2008), Figur 21. På varje sida om cylindern, tvärs komposten byggs två landgångar med gångtytor av streckmetall.



Förlutning av gasvolymen ovan gödselytan, och uttagning av gasprov.



Enskild cylinder som bäddas in i högen, från vilken växthusgaser bestäms.

Figur 21. Användning av tekniken slutna kamrar vid mätning av växthusgaser från efterkompost.

Locket tätas genom att slangen i lockets mantelyta sätts under tryck genom att den ansluts till kompressor under förslutningen. Under gasprovtagning placeras temperaturlogger under locket för registrering av temperatur.

Beräknade utsläpp för olika mätkombinationer på Wiggeby gård

I stort summerades fyra kombinationer av mätningar som täcker in förkompost, trumkompost och efterkompost, Tabell 4. Mätkombination 1 och 2 inkluderar samma mätningar på förkompost och efterkompost, men med resultat från trumkomposten vid drift utan åtgärd erhållen från två olika mätdagar (mätkombination 1 respektive 2). Mätkombination 3 och 4 inkluderar samma mätningar på förkompost och efterkompost, men för nr 3 var mätpunkten i trumkompostens uteluft placerad före den kombinerade värmeväxlaren och NH₃-fällan, och nr 4 efter värmeväxlaren och NH₃-fällan för att se dess effekt på reducering av NH₃-avgången från trumkomposten och potentialen för värmeåtervinning med hjälp av en värmeväxlare. Mätningarna på trumkomposten i mätkombination 3 och 4 utfördes på förmiddag respektive eftermiddag samma dag för att få så lika driftförhållanden hos trumkomposten som möjligt.

Tabell 4. Mätkombinationer utförda på Wiggeby gård.

| Mät-kombination | Förkompost | Trumkompost | Efterkompost |
|-----------------|--|---------------------|--------------|
| 1. | "Ung", 1 dag gammal (19/3) | Vanlig drift trumma | A |
| 2. | "Ung", 1 dag gammal (19/3) | Vanlig drift trumma | A |
| 3. | "Gammal", 7 dagar gammal, liten (25/3) | Utan VVx (före VVx) | B |
| 4. | "Gammal", 7 dagar gammal, liten (25/3) | Med VVx (efter VVx) | B |

Demonstrationsdag

Den 28 oktober 2014 hölls en demonstrationsdag på Wiggeby gård enligt nedanstående program:

| | | |
|-------------|--|--|
| 10:15-10:45 | Gård och anläggning som helhet. | Håkan Eriksson, Wiggeby jordbruk |
| 10:45-11:30 | Visning av de tre komposteringsstegen: förkompost, trumkompost och efterkompost. | Håkan Eriksson, Wiggeby jordbruk, Mats Tuesson, ESCAB, och Lena Rodhe, JTI |
| 11:30-12:00 | Resultat från mätningar, diskussion och frågor. | Lena Rodhe, JTI + alla |

Mellby gård

Mätningar

I stort användes samma metoder för mätningar på Mellby gård som på Wiggeby gård för trum- och efterkompost.

Vid Mellby förlängdes utgående gasrör från trumkomposten för att kunna placera flödesmätaren nära lastbil med mätutrustning, på samma sätt som vid Wiggeby. Figur 17 visar mätpositionen i Mellby där gasutloppet från trumkomposten kommer ut från byggnaden uppe till höger i bilden och gasmätningen skedde där det blå varmfiltret är upphängt över kanalen.

Eftersom förkomposten på Mellby utfördes utomhus och inte i byggnad mättes ammoniakavgången på samma sätt som på efterkomposten. Växthusgaserna mättes också med slutna kamrar som på efterkomposten, men i detta fall med fem små kamrar med ramar (0,525 m x 0,33 m innermått) enligt Rodhe & Pell (2005), vilka placerades på platån av högen, Figur 22. I Tabell 5 visas tider för de gasmätningar som utfördes.



Figur 22. Förkompost med ramar för slutna kamrar (gasmätning växthusgaser) samt master med fluxprovtagare för mätning av ammoniakavgång, Mellby gård.

När det gäller växthusgaser från efterkomposten installerades två cylindrar för att se effekten med och utan täckning av gödselytan med plast, se Figur 23 och 24. Eftersom efterkomposten skulle lagras på fält under en längre tid än vad Mellby gård har tillstånd för sökte JTI dispens från detta krav. Dispens erhöles med villkoret att komposten skulle lagras på en vattentät plastduk. Denna blåa plastduk kan ses i Figur 23.



Figur 23. Efterkompost med cylindrar utan och med plastduktäckning för slutna kamrar (gasmätning växthusgaser) samt master med fluxprovtagare för mätning av ammoniakavgång, Mellby gård.



Figur 24. Yta utan och med täckning med plastduk.

Gasmätningar utfördes under ca 2 månaders tid enligt Tabell 5.

Tabell 5. Utförda gasmätningar, exponeringar av fluxprovtagare för NH_3 -mätning respektive uttag av gasprover för bestämning av flux växthusgaserna CH_4 och N_2O .

| Mätning nr | NH_3 -FLUX | | VÄXTHUSGASER | |
|------------|---------------------|--|--------------|--------------|
| | Förkompost | Efterkompost | Förkompost | Efterkompost |
| 1. | 10-12 sept | 18 - 22 sept | 10 sept | 19 sept |
| 2. | 12-15 sept | 22 - 29 sept | 11 sept | 22 sept |
| 3. | | 2/10 – 21 okt (data ej tillförlitliga p.g.a. regn) | | 2 okt |
| 4. | | 21-31 okt | | 21 okt |
| 5. | | - | | 18 nov |

Olika mätkombinationer på Mellby gård

I Tabell 6 visas planerade mätkombinationer för Mellby.

I stort var planen att mäta från en förkompost med för anläggningen representativt kompostsubstrat. För trumkomposten eftersträvade vi en till två dagars mätningar vid vanlig drift. Som åtgärd för trumkomposten i syfte att minska utsläpp av ammoniak och för värmeåtervinning utfördes sedan mätning med värmeväxlare. Denna var en förbättrad version (version 2) jämfört med den som användes på Wiggeby. Förbättringen bestod av att sträckan i värmeväxlaren fördubblades för luften från trumkomposten, för att öka överföringen av värmen från den smutsiga frånluften från trumkomposten till den rena luften. Nedkylningen av den fuktiga luften innebar kondensutfällning, i vilken ammoniak kan bindas. Ingen separat sprayning med vatten utfördes av den smutsiga luften från trumkomposten. Slutligen utvärderades åtgärden täckning av efterkomposten i syfte att minska emissionerna av lustgas från efterkomposten eftersom resultaten från Wiggeby visade att direkta utsläpp av lustgas från efterkomposten hade den tredje största påverkan på klimatet. Eftersom trumkomposten stod stilla under natten, mättes med separat instrument CH_4 -emissionerna under ett helt dygn och dessa resultat användes också vid beräkningarna. På grund av driftsproblem i trumkomposten är resultaten från detta kompoststeg något osäkra.

Tabell 6. Mätkombinationer planerade på Mellby gård för beräkning av klimatpåverkan och ammoniakutsläpp. Mätningarna på trumkomposten bedöms som mindre tillförlitliga pga. driftsproblem på anläggningen. Totala emissioner redovisas för mätkombinationerna 1 – 4 i resultaten.

| Mät-kombination | Förkompost (11 – 17 september) | Trumkompost | Efterkompost (18 september – 18 november) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------|--|
| 1. | Mätning under en vecka | Vanlig drift trumma* | Med täckning |
| 2. | Mätning under en vecka | Vanlig drift trumma* | Utan täckning |
| 3. | Mätning under en vecka | Vanlig drift trumma** | Med täckning |
| 4. | Mätning under en vecka | Vanlig drift trumma** | Utan täckning |
| 5. | Mätning under en vecka | Med vvx (efter vvx) | Med täckning |
| 6. | Mätning under en vecka | Med vvx (efter vvx) | Utan täckning |

*Medelvärden för 2 mätperioder för alla gaser, utan värmeväxlare.

** Medelvärden för 2 mätningar för N_2O och NH_3 . Dygnsvärde för CH_4 .

Demonstrationsdag

Den 5 november 2014 hölls en demonstrationsdag på Mellby gård enligt liknande program som för Wiggeby gård.

Resultat och diskussion

Gödselegenskaper i olika komposteringssteg, Wiggeby

I Tabell 7 visas för egenskaperna hos komposten i mätkombination 1. Kompostens egenskaper förändrades under de olika komposteringsleden, främst under efterkomposteringen, som var det komposteringsled som dominerade i tid (mer än tre månader). Samtidigt så minskade massan med ca 30 procent (Tabell 18).

I detta fall var ts-halten och innehållet av Tot-N per ton räknat högre i slutet av efterkomposteringen jämfört med vid start av förkomposteringen. Samtidigt sjönk innehållet av NH₄-N och Tot-C per ton och även kvoten C/N sjönk från 35 till 20. Mikroorganismerna kräver kol för sin tillväxt respektive kväve för sin proteinsyntes. Generellt anses en C/N-kvot på 30:1 (viktsförhållande) vara optimalt i en kompost vid start (Poincelot, 1975). I slutet av komposteringen bestod kvävet i den färdiga komposten i stort av organiskt bundet kväve, vilket är karaktäristiskt efter en viss tids kompostering.

Tabell 7. Exempel på gödselegenskaper (kg/ton våtvikt) i olika komposteringsled för mätkombination 1 och 2, Wiggeby.

| | Ts-halt, % | Tot-N, kg/ton | NH ₄ -N, kg/ton | Tot-C, kg/ton | C/N-kvot |
|---|---------------|------------------|-------------------------------|------------------|----------|
| IN förkompost (17/18 mars) | 31,1 | 4,1 | 0,8 | 142 | 35 |
| IN trumkompost* (19-21 mars) | 32,3 | 4,3 | 0,9 | 141 | 33 |
| UT trumkompost = IN efterkompost (24 mars) | 33,1 | 3,7 | 0,9 | 135 | 37 |
| UT efterkompost A (4 juli) | 38,8 | 5,8 | 0,3 | 119 | 21 |

*Medelvärde för fyra fyllningar.

Förkompost, Wiggeby

Gödsemängder och näringsinnehåll i gödsel

Gödsemängder och totala innehållet av N och C i gödseln i förkomposthallen vid mätningarna visas i Tabell 8. Näringsinnehållen är beräknade på prov uttaget vid inläggning för mätning 1, medan vid mätning 2 är de beräknade på analysvärden från prover uttagna vid utlastning av gödseln. I medeltal lagrades komposten under 3,5 dagar i komposthallen innan den lastades i inmatningsfickan till trumkomposten. Data användes för att beräkna gasemissioner per enhet t.ex. N₂O-N per ton respektive per kg N. I Bilaga 2 visas kompletta analysresultat för samtliga gödselprover uttagna på Wiggeby. Volymvikten hos komposten i fack 2 den 19 mars uppskattades till 0,47 ton/m³.

Tabell 8. Gödsemängder och näringsinnehåll i gödsel i förkomposthall vid mätning av gasemissioner. Gasmätning 1 redovisas i mätkombinationen 1 och 2, medan gasmätning 2 ingår i mätkombination 3 och 4, Tabell 4.

| Gas-mätning | Datum | Klockslag | Fack | Ålder, dagar | Temp*., °C | Totala mängder | | |
|-------------|------------|------------|------|--------------|------------|----------------|-------------|--------------|
| | | | | | | Massa, ton | Total-N, kg | Total-C, ton |
| 1 | 2014-03-19 | 11-16 | 1 | 1 | 37,8 | 58,5 | 242 | 8,30 |
| 1 | 2014-03-19 | 11-16 | 2 | 1 | 36,7 | 152,8 | 616 | 21,98 |
| 1 | 2014-03-19 | 11-16 | 1+2 | 1 | | 211,3 | 858 | 30,28 |
| 2 | 2014-03-25 | 9.30-14.00 | 1 | 7 | 43,5 | 115,1 | 484 | 15,80 |
| 2 | | | 2 | TOMT | | 0 | | |

*Start

Luftflöden från förkompost

Till varje fack i förkomposten finns en stor port för att kunna lasta in kompost. När portarna är stängda blir det ett undertryck i förkomposten, vilket märktes på ett markant minskat frånluftsflöde och att portarna nästan sugas in när de stängs. Det antogs att dörrarna under största delen av tiden var stängda och medelvärdet för luftflöden har därför beräknats utifrån de tillfällen då dörrarna var stängda, Tabell 9.

Tabell 9. Medelvärden för lufthastighet och luftflöde uppmätt i ventilationsrör från förkomposthallen, se Figur 12.

| | Medeltal |
|--------------------|----------|
| Lufthastighet, m/s | 3,9 |
| Luftflöde, kg/s | 1,5 |

Gaskoncentrationer och - emissioner från förkompost

Kontinuerliga gaskoncentrationsmätningar genomfördes under tre dagar, både med FTIR och FID, men inte samtidigt. Medelvärden från de intervall när mätningar skedde redovisas i Tabell 10. Notera att angivna värden för lustgas är mycket osäkra då de ligger ytterst nära detektionsgränsen, men det går att konstatera att lustgaskoncentrationerna var väl under 1 ppm.

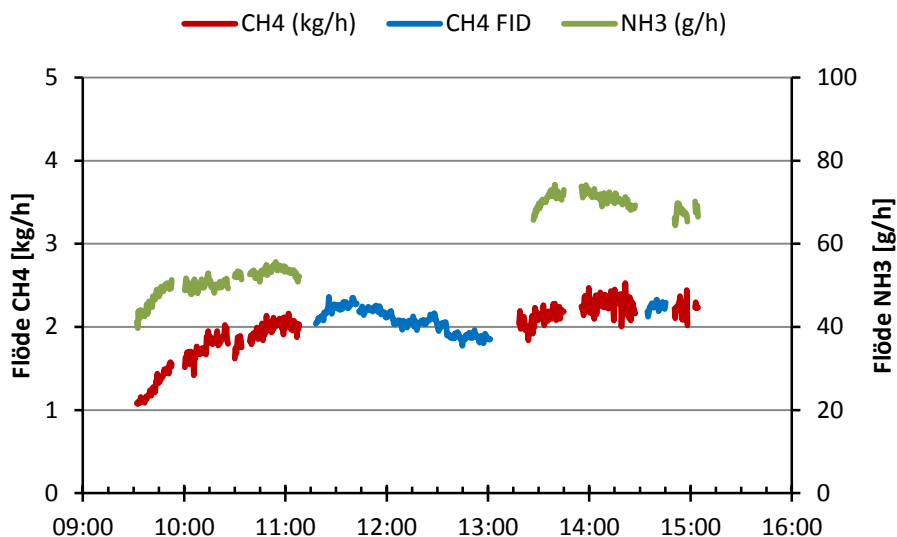
Tabell 10. Uppmätta medelvärden från olika mätintervall i luft ut från förkomposten. Mätningen den 19 mars ingår i mätkombinationerna 1 och 2 (Tabell 4) och mätningen 25 mars i mätkombinationerna 3 och 4.

| Datum | Tidfrån | Tid till | FTIR | | | | FID | Gas | Flöden | | | |
|-------|---------|----------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | NH ₃ | CH ₄ | N ₂ O | CO ₂ | CH ₄ | Temp | Tot. | CH ₄ | NH ₃ | CO ₂ |
| | | | ppm | ppm | ppm | % | ppm | °C | m ³ /s | kg/h | g/h | kg/h |
| 19/3 | 09:40 | 11:03 | 17 | 621 | | 0,41 | | 11,4 | 1,2 | 1,8 | 53 | 33 |
| | 11:17 | 13:00 | | | 0 | | 733 | 12,4 | 1,2 | 2,1 | | |
| | 13:30 | 14:28 | 24 | 789 | 0 | 0,46 | | 13,3 | 1,2 | 2,3 | 73 | 36 |
| | 14:34 | 14:45 | | | | | 798 | 13,3 | 1,2 | 2,2 | | |
| | 14:51 | 15:02 | 23 | 809 | 0 | 0,48 | | 13,2 | 1,2 | 2,3 | 68 | 37 |
| 24/3 | 14:36 | 15:03 | 11 | 1153 | 0,06 | 0,23 | | 18,0 | 1,2 | 3,4 | 34 | 18 |
| | 15:09 | 15:18 | | | | | 1071 | 17,6 | 1,2 | 3,1 | | |
| | 15:24 | 16:08 | | | | | 1141 | 17,5 | 1,3 | 3,4 | | |
| | 16:14 | 16:35 | 9 | 1173 | 0,07 | 0,21 | | 18,0 | 1,2 | 3,5 | 28 | 17 |
| 25/3 | 09:25 | 10:20 | 9 | 893 | 0,10 | 0,16 | | 14,0 | 1,3 | 2,7 | 29 | 13 |
| | 10:30 | 11:01 | | | | | 887 | 15,2 | 1,2 | 2,6 | | |
| | 11:06 | 11:45 | 10 | 940 | 0,15 | 0,19 | | 15,8 | 1,3 | 2,8 | 32 | 16 |
| | 11:52 | 13:25 | | | | | 899 | 16,0 | 1,3 | 2,7 | | |
| | 13:40 | 14:00 | 10 | 992 | 0,18 | 0,22 | | 15,6 | 1,2 | 2,9 | 31 | 18 |

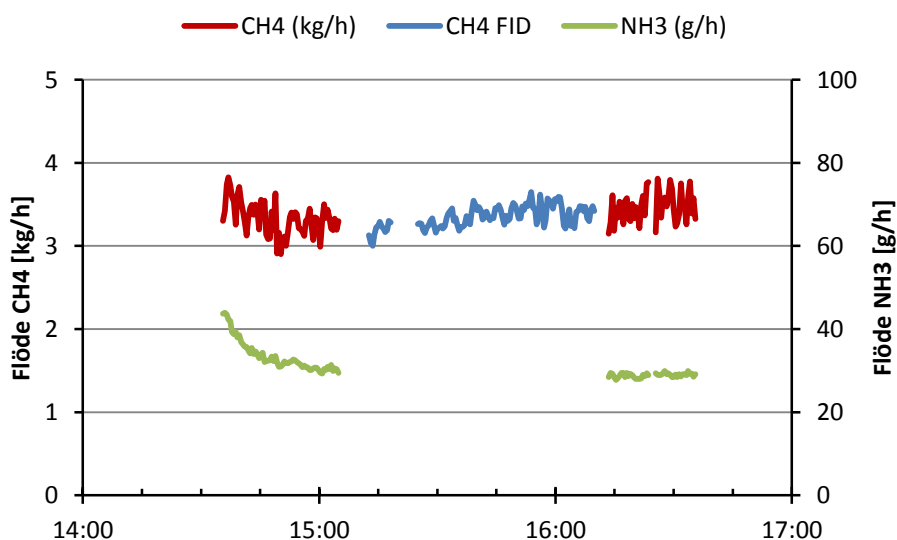
Ett diagram för gasemissioner av CH₄ och NH₃ visas i Figur 25, beräknat från uppmätta koncentrationer och luftflöden, från den 19/3. Diagrammet ger även en visuell jämförelse mellan de två metanmätmetoderna (röd: FTIR, blå: FID). Observera att NH₃ (grön linje) ska läsas av på den högra vertikala axeln. Emissionsökningen under

förmiddagen beror antagligen på att portarna till förkomposten varit öppnade på morgonen. Motsvarande diagram från den 24/3 och 25/3 visas i Figur 26 och 27, med något varierande flöden av både metan och ammoniak.

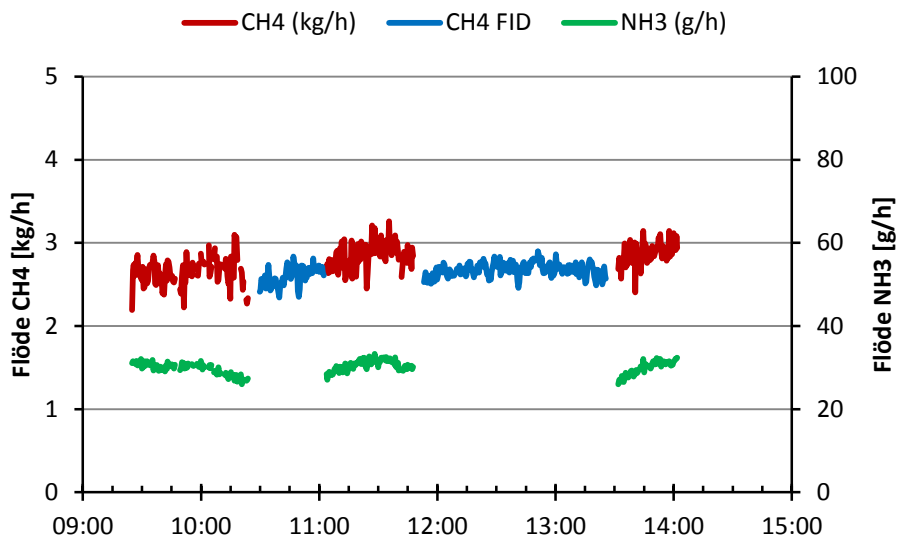
I kapitel ”Summering av emissioner från samtliga komposteringssteg, Wiggeby” redovisas emissionerna per ingående mängd kompost tillsammans med emissionerna från efterföljande led.



Figur 25. Gasflöden av CH_4 och NH_3 från förkomposten den 19/3. Metan uppmättes dels med FTIR (röd linje), dels med FID (blå linje). Ammoniak uppmättes med FTIR (grön linje) och avläses på den högra vertikala axeln.



Figur 26. Gasflöden av CH_4 och NH_3 från förkomposten den 24/3. Metan uppmättes dels med FTIR (röd linje), dels med FID (blå linje). Ammoniak uppmättes med FTIR (grön linje) och avläses på den högra vertikala axeln.



Figur 27. Gasflöden av CH_4 och NH_3 från förkomposten den 25/3. Metan uppmättes dels med FTIR (röd linje), dels med FID (blå linje). Ammoniak uppmättes med FTIR (grön linje) och avläses på den högra vertikala axeln.

Energiåtervinning från förkompost

I Tabell 11 visas resultaten från mätningarna i frånluftsflödet, temperaturen mättes i en punkt strax efter flödesmätare som var placerad mer än 10 meter från frånluftsfläkten.

Tabell 11. Resultat från luftmätningar i frånluftsriöret från förkomposthall, medelvärden för tre mättillfällen.

| | 2014-03-19 | 2014-03-24 | 2014-03-25 |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| Lufttemperatur vid flödesmätare, °C | 12 | 15 | 13 |
| Luftflöde, kg/s | 1,4 | 1,5 | 1,6 |
| Relativ luftfuktighet, % | 86 | 74 | 93 |
| Lufttemperatur frånluftsfläkt, °C | 15 | - | - |

Temperaturen mättes därför vid ytterligare två punkter den 19 mars för att få en uppskattning på hur mycket temperaturen sjunker från utloppet vid frånluftsfläkten fram till den mätpunkt där flöde och temperatur mättes.

Utifrån mätningarna av temperaturerna i förkomposten kan det antas att de varierar mycket över året beroende på utomhustemperatur samt hur mycket värme komposten utvecklar vid den aktuella utomhustemperaturen. Under mätveckorna var utomhustemperaturen ca 0 °C. Då det är svårt att förutsäga hur temperaturen i förkomposten varierar under året är det svårt att extrapolera resultatet för att gälla för ett helt år.

För att förvärma nollgradig uteluft är det rimligt att anta att en eventuell värmeväxlare kan kyla frånluften ner till 5 °C. Skulle utomhustemperaturen vara 5 °C och temperaturerna i förkomposthallen samma som vid mätningen skulle det vara rimligt att kyla ner till 10 °C, Tabell 12.

Tabell 12. Resultat för effektberäkning för förkomposten på Wiggeby gård.

| | Kyler frånluft från 15 °C till 5 °C | Kyler frånluft från 15 °C till 10 °C |
|--------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Effekt | 28 kW | 13 kW |
| Energi | 20 MWh/mån | 9 MWh/mån |

Resultaten visar att det går att utvinna en hel del energi ur flödet. Svårigheten är att energin beror på det stora luftflödet och inte på att det finns värme vid höga temperaturer. Ett stort luftflöde kräver en stor värmeväxlare vilket gör att det sannolikt är mer lönsamt att investera i en värmeväxlare till trumkompostens frånluftsflöde där flödet är mindre och temperaturen högre.

Som diskuterats tidigare innehåller frånluften en hel del korrosiva ämnen och det är därför nödvändigt att bygga värmeväxlaren i specialmaterial. Kraven på värmeväxlarens design avseende motståndskraft mot korrosion kan göra att det inte går att få så låga temperaturdifferenser som 5 °C mellan den varma och kalla sidan, och en större differens minskar då möjligheten att utvinna större mängd energi.

Trumkompost, Wiggeby

Driftsförhållanden och gödselöden genom trumkomposten

I Tabell 13 och Figur 28 och 29 visas tidpunkterna och förhållandena vid de utvalda gasmätningarna, som kombinerades med data från mätningar på förkompost och efterkompost (Tabell 4).

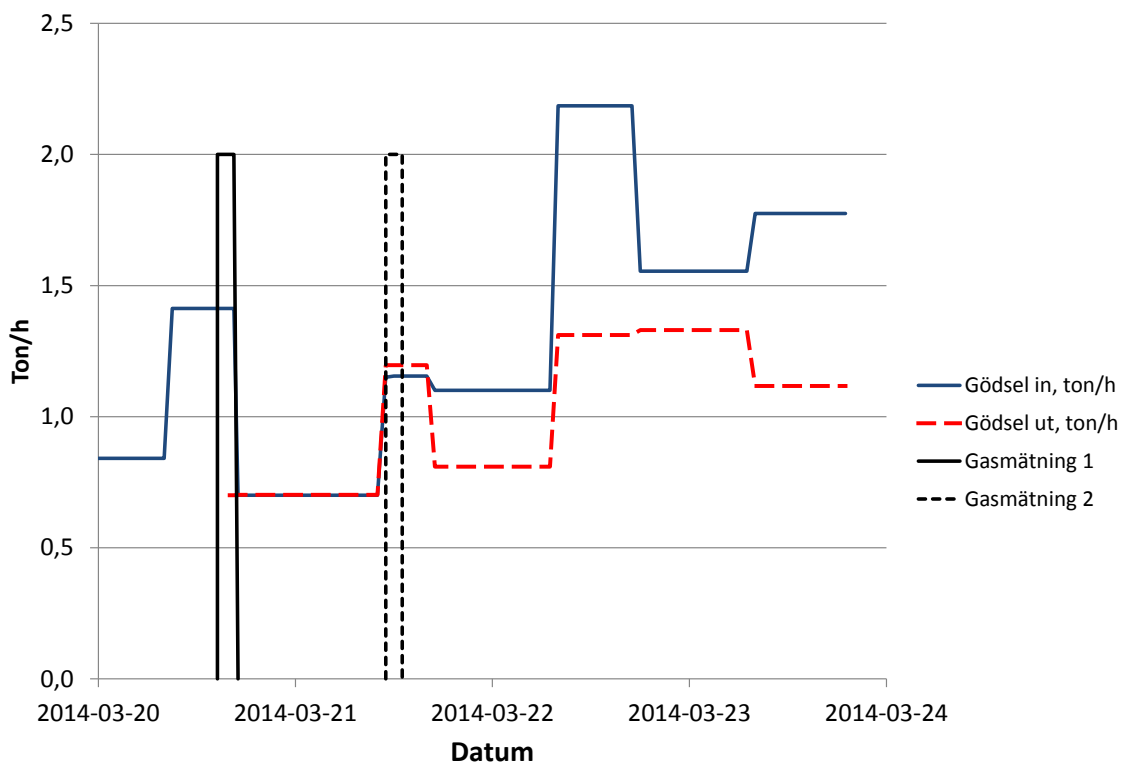
Tabell 13. Trumkompostmätningar. Tidpunkter för mätningar av gasflöden ut ur trumkomposten vid vanlig drift (gasmätning 1 och 2) respektive trumkompost med värmeväxlare monterad på utluften (gasmätning 3 och 4). Temperatur i och flöden genom trumkomposten vid tidsperioder med stabila förhållanden. Medelvärden samt standardavvikelse inom parantes.

| Gas- mätning | Datum | Klockslag | Mät- förhållanden | Temperatur, °C | Totala mängder inmatade per timme | | |
|-----------------|------------|-------------|---------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | | Massa, ton/h | Total- N, kg/h | Total- C, kg/h |
| 1 | 2014-03-20 | 14.30-16.30 | Vanlig drift | 58,4 (4,5) | 1,41 | 6,4 | 200 |
| 2 | 2014-03-21 | 11.00-13.00 | Vanlig drift | 58,3 (4,2) | 1,15* | 4,5 | 160 |
| 3 | 2014-03-26 | 09.00-13.00 | Värmeväxlare, frånluft | 60,8 (6,3) | 1,61 | 6,7 | 217 |
| 4 | 2014-03-26 | 13.30-17.30 | Värmeväxlare, avluft | 59,1 (6,0) | 1,61 | 6,7 | 217 |

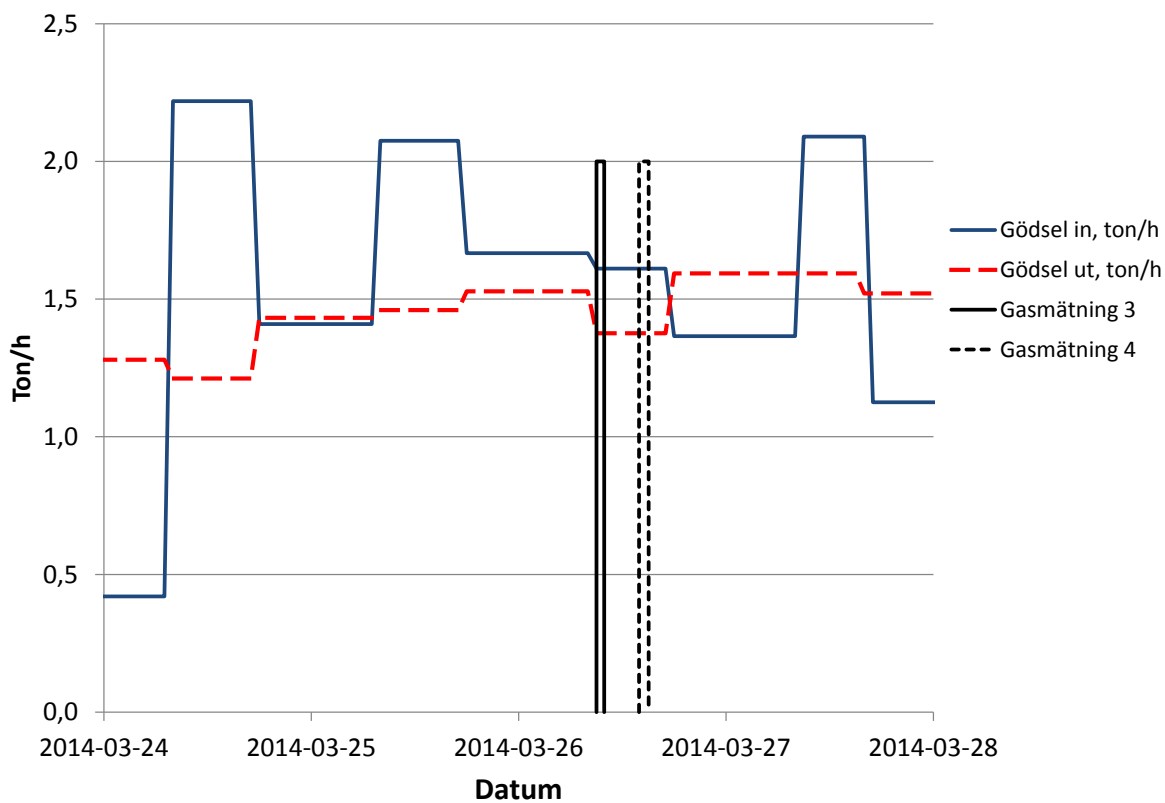
*Inmatningen in i trumkomposten hade något nedsatt kapacitet p.g.a. trasigt fäste i drivkolv

Massflöden in och ut ur trumkomposten visas i Figur 28 och 29 för de två mätveckorna. Fyllning av inmatningsfickan utfördes två gånger per dygn, närmare bestämt på morgonen (oftast kl. 7-8) och kväll (kl. 16-17). Under mätvecka 2, då det inte var några driftsstörningar var kapaciteten in i trumman ca 40 ton per dygn.

I Bilaga 2 visas kompletta analysresultat för samtliga gödselprover uttagna på Wiggeby.



Figur 28. Mätvecka 1. Gödselströmmen in respektive ut ur trumkompost (ton/h). Tidsperioderna för gasmätningar i mätkombinationerna 1 och 2 är markerade.



Figur 29. Mätvecka 2. Gödselströmmen in respektive ut ur trumkompost (ton/h). Tidsperioderna för gasmätningar i mätkombinationerna 3 och 4 är markerade.

Luftflöden

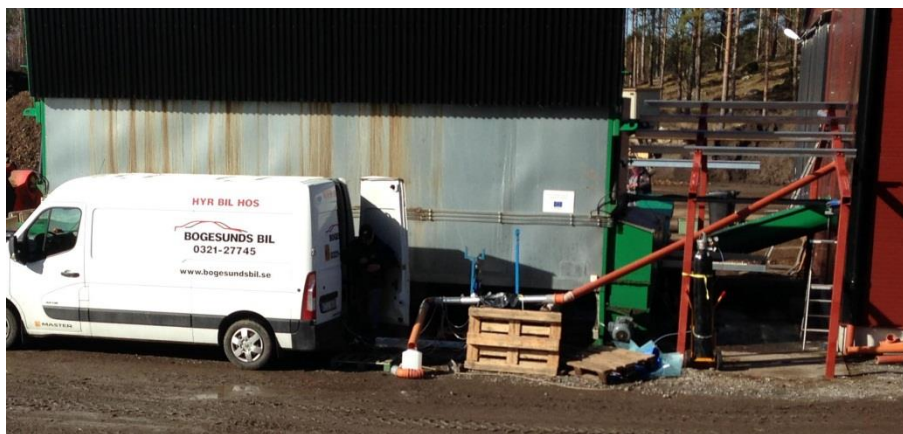
Luftflödesmätningarna har använts som beräkningsunderlag för att bestämma gasflöden ut ur komposten samt energiåtervinningspotentialen. I Tabell 14 presenteras medelvärden för mätningar då frånluftsfläkten är inställd på 30 respektive 50 % av maximalt flöde.

Tabell 14. Frånluftsflöden ut ur trumkomposten vid fläkten inställd på 30 respektive 50 % av maximalt flöde. Flöden är omräknade för att gälla vid normaltryck.

| Fläktinställning, % | m/s | kg/s |
|---------------------|-----|-------|
| 30 | 3,1 | 0,027 |
| 50 | 6,8 | 0,059 |

Gaskoncentrationer och -emissioner från trumkompost

Inför mätningarna vid trumkomposten förlängdes trummans utgående gasrör väsentligt för att leda gasen till en position där det gick att mäta från skåpbilen med mätutrustning. Hur denna extra rörlängd påverkat gasemissionerna är osäkert. Gasröret har en innerdiameter av ca 100 mm och gasutsuget skedde i en punkt nära rörets centrumlinje. Gasen från trumkomposten var i det närmaste mättad med vattenånga vilket ledde till att det rann en hel del kondensvatten i botten av röret. Detta vatten samlades upp för kemisk analys. Ett foto från mätpositionen den 20/3 och 21/3 visas i Figur 30, där gasutsuget skedde från metallröret precis bakom skåpbilen. Vid mätningarna den 26/3 hade gasröret dragits om för att passera en värmexlaren som var placerad inuti byggnaden. Under förmiddagen gjordes gasmätningar i frånluften till värmexlaren och under eftermiddagen mättes avluften från värmexlaren (Figur 30).



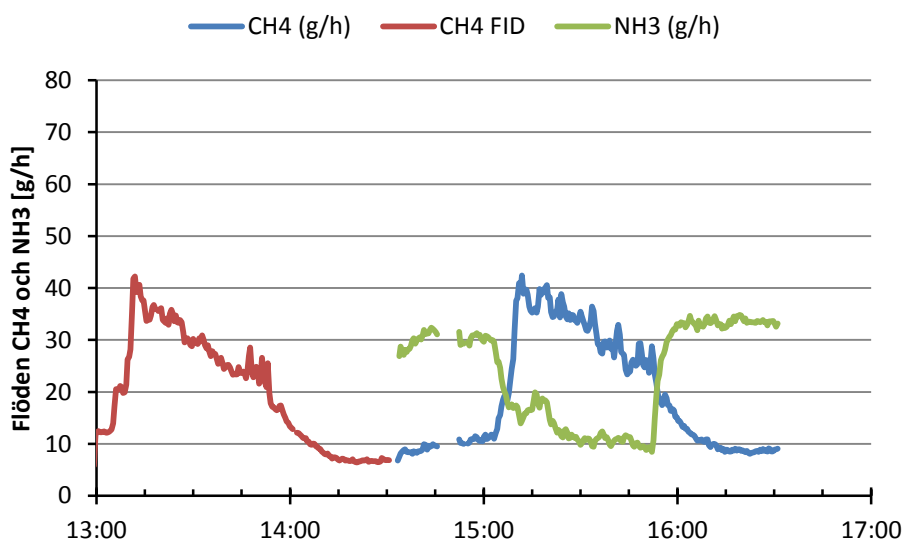
Figur 30. Mätposition vid trumkompost den 20 – 21 mars, Wiggeby.

Resultaten från gasemissionsmätningarna den 20 mars sammanfattas av Figur 31. Som nämnts under gårdsbeskrivningen för Wiggeby, så går trumman i cykler om två timmar. Under stilleståndsperioden ökar vanligtvis luftflödet genom att fläkten ökas från 30 % till 50 % av maximalt flöde. Denna styrning fungerade dock inte den 20 mars, utan luftflödet var konstant under hela denna eftermiddag, kanske som en följd av ett problem med inmatningsutrustningen under förmiddagen.

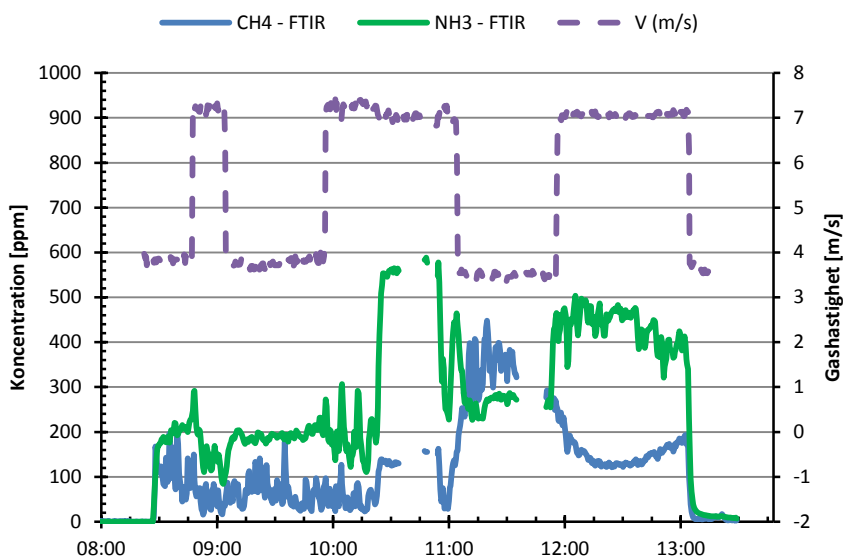
Mätresultaten i Figur 31 visar att emissionerna skiljer sig kraftigt mellan perioderna. Avgången av CH_4 skedde mest under trummans rotationsperiod, medan avgången av NH_3 var högst under stilleståndsperioden.

Mätningar i samma position genomfördes även under förmiddagen den 21 mars, och denna dag fungerade luftflödesvariationen, vilket illustreras av den lila streckade linjen i Figur 32, som visar uppmätt gashastighet i utgående gasrör. Den röda linjen visar uppmätta koncentrationer av CH_4 och den gröna linjen visar koncentrationer av NH_3 . Denna dag användes enbart FTIR för gasanalys. Några observationer från emissionsmätningarna den 21 mars:

- Luftflödet ökar betydligt då trumman står stilla.
- Relativt låga koncentrationer av CH_4 och NH_3 fram till kl. 10:20, då kompostutmatningen från trumman tejpades igen. Detta ledde snabbt till kraftigt ökad gaskoncentration av NH_3 och måttligt ökad CH_4 , medan gasflödet i utgående gasrör sjönk marginellt.
- Kl. 10:55 togs plasten bort, varefter gaskoncentrationerna av CH_4 och NH_3 sjönk men förblev högre än innan plasten sattes för.
- Överlag var det lägre gaskoncentrationer (CH_4 och NH_3) än övriga mät dagar, kanske beroende på mindre mängd kompost i trumman.
- Uppmätta koncentrationer av N_2O var låga, Tabell 10.



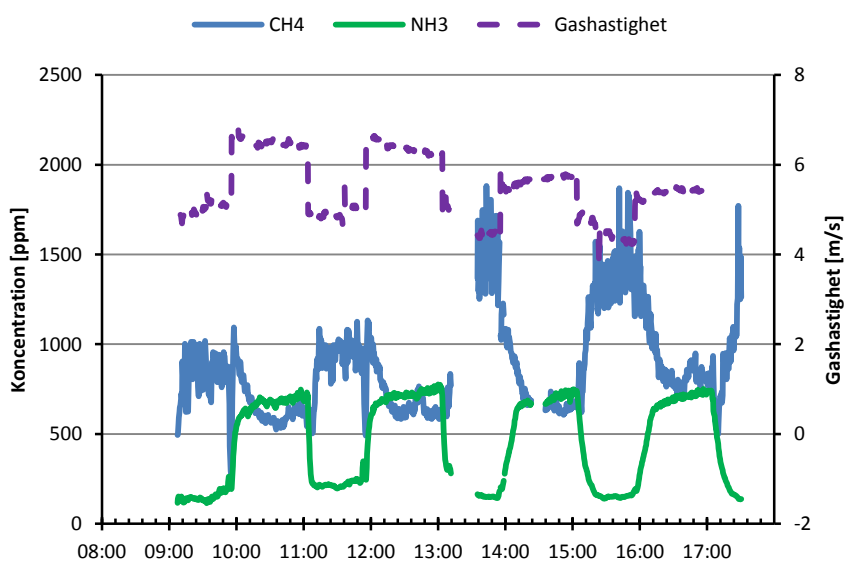
Figur 31. Flöden av CH_4 och NH_3 i luften ut från trumkomposten den 20 mars.



Figur 32. Uppmätta gaskoncentrationer av CH_4 och NH_3 samt gashastighet i röret vid mätpositionen den 21 mars.

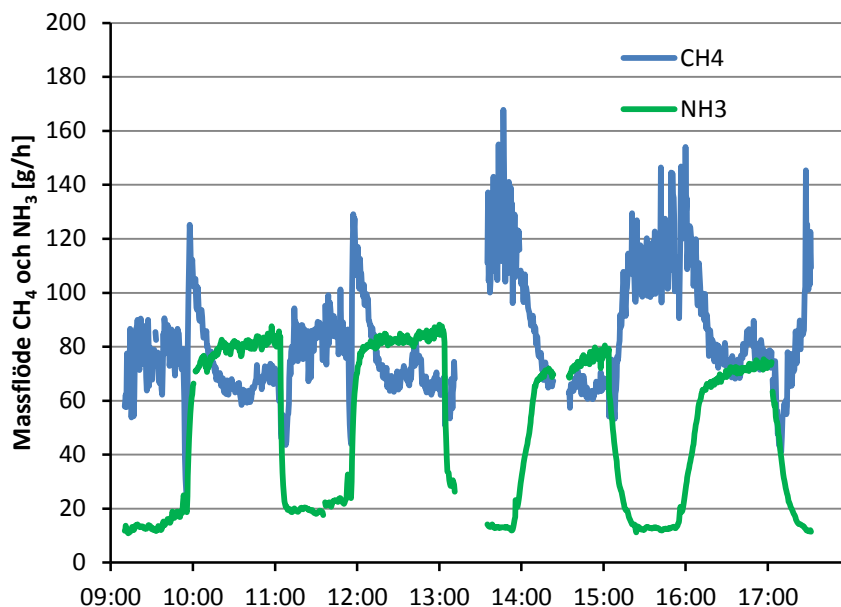
Den 26 mars genomfördes mätningar på gasen ut från trumman då en värmeväxlare monterats längs utloppsröret. Gaskoncentrationer mättes i frånluften till värmeväxlaren under förmiddagen och i avluften från värmeväxlaren under eftermiddagen. Uppmätta koncentrationer visas för denna dag i Figur 33. Några observationer från denna figur:

- Ammoniakkoncentrationerna stiger kraftigt då trumman står stilla, trots ett ökat luftflöde.
- Metankoncentrationerna faller då trumman står stilla, delvis beroende på utspädning av det ökade luftflödet. Avklingningen sker dock långsamt (tar ca ½ h), vilket kan bero på att det är en stor gasvolym i trumman.
- Gashastigheten är lägre under eftermiddagen än under förmiddagen p.g.a. lägre gastemperatur efter värmeväxlaren (vilket även medför kondensation av vattenånga).



Figur 33. Uppmätta gaskoncentrationer av CH_4 och NH_3 samt gashastighet i röret vid mätpositionen den 26 mars.

Beräknade massflöden för CH₄ och NH₃ (baserat på gashastighet multiplicerat med gaskoncentrationer) visas i Figur 34. En del NH₃ verkar ha kondenserat ut i värmeväxlaren, uppskattningsvis en reduktion på 14-20 %, förutsatt att ammoniakflödet ut från trumman var lika stort under förmiddag som eftermiddag. Däremot är det märkligt att massflödet av CH₄ är större under eftermiddagen än förmiddagen. Denna skillnad är som störst under trummans rotationsperiod.



Figur 34. Massflöden av CH₄ och NH₃ den 26/3. Förmiddagsmätningen gäller frånluft och eftermiddagen avluft från värmeväxlaren.

Jämförelse av uppmätta emissioner från förkompost och trumkompost, Wiggeby

Emissionerna från trumkomposten har sammanställts i Tabell 15 på dygnsbasis. Vid beräkningen har mätningar över enstaka intervall på 2 timmar använts för att beräkna massflödena över ett dygn under antagandet att gaskoncentrationer och flöden förblir oförändrade över alla cykler. Den 20 mars hölls luftflödet konstant (dvs. inget ökat luftflöde då trumman stod stilla). Den 21 mars justerades driftinställningarna så att luftflödet ökade när trumman stod stilla, men trumman hade ovanligt lågt kompostinnehåll denna dag som en följd av inmatningsproblem dagen innan. Således erhöles de mest representativa mätresultaten antagligen den 26 mars.

Tabell 15. Beräknade emissionsflöden från trumkomposten.

| Datum | Gasflöden | | | Luftflöde m ³ /h |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| | CH ₄ kg/dygn | NH ₃ kg/dygn | CO ₂ kg/dygn | |
| 20-mars | 0,44 | 0,57 | 86 | 85 |
| 21-mars | 0,46 | 0,96 | 92 | 150 |
| 26-mars, fm | 1,7 | 1,3 | 89 | 150 |
| 26-mars, em | 2,2 | 1,1 | 83 | 140 |

En jämförelse mellan emissioner från trumman och förkomposten (Tabell 16), visar att emissionerna av CH₄ är mer än 40 ggr högre från förkomposten än från trumman, emissionen av CO₂ är ca 5 ggr högre från förkomposten, och emissionerna av NH₃ är ungefär lika från förkompost och trumma. Uppmätta koncentrationer av N₂O var låga, motsvarande 2-3 gram per dygn den 26/3.

Tabell 16. Jämförelse mellan uppmätta emissioner från förkompost och från trumkompost.

| | CH ₄ kg/dygn | NH ₃ kg/dygn | CO ₂ kg/dygn |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Förkompost | 50 - 84 | 0,7 – 1,8 | 310 - 890 |
| Trumkompost | 0,4 – 2,2 | 0,6 – 1,3 | 83 - 92 |

I kapitel ”Summering av emissioner från samtliga komposteringssteg, Wiggeby” redovisas emissionerna per ton kompost tillsammans med emissionerna från för- och efterkompost.

Kväve i lakvatten från trumkompost

I Tabell 17 redovisas koncentrationer och mängder av lakvatten och NH₄-N från trumkompostens utloppsrör under gasmätningarna på trumkomposten.

Tabell 17. Koncentrationer och mängder av lakvatten och NH₄-N från trumkompost inklusive värmeväxlare i utloppsrör till omgivningen under gasmätningar på trumkomposten.

| Datum | Koncentrationer av NH ₄ -N i lakvatten, mg/liter | Mängd lakvatten, liter/h | NH ₄ -N, g/h |
|-------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| 21-mars | 420 | 2,5 | 1,05 |
| 26-mars, fm | 108 | 2,6 | 0,28 |
| 26-mars, em | 113 | 2,1* | 0,24 |

*En del lakvatten hamnade i en oåtkomlig behållare i värmeväxlaren, och ingår inte i beräkningen.

Energiåtervinning från trumkompost, Wiggeby

Mätningarna och resultaten för energiåtervinning från trumkomposten i Wiggeby är uppdelad i två. Först mättes temperaturer, fukt och flöden utan att någon värmeväxlare var inkopplad. Utifrån dessa mätningar har en teoretisk potential för energiåtervinning beräknats. Till skillnad från förkomposten kan det antas att förhållandena i trumkomposten är kontrollerade och att temperaturen i frånluften är konstant under året.

Energin har beräknats genom att anta att det går att kyla frånluften till 12 °C. Antagandet har gjorts utifrån att en eventuell värmeväxlare främst ska användas för att värma ingående uteluft som har ett årsmedelvärde på ca 6,5 °C (Stockholms stad, 2013). Energin har beräknats utifrån beskrivningen i kapitlet om energiåtervinningspotential under Material och metod. Resultatet är en summering av latent och sensibelt värme.

Resultatet är beroende på vilken inställning fläktarna har och därför har resultatet delats upp i två delar. I Tabell 18 vägs delarna ihop baserat på respektive drifttid. Anläggningens ägare har som mål 350 driftsdagar per år, vilket motsvarar 8400 driftstimmar per år. Dessa driftsdata har använts för att beräkna den teoretiskt maximala energiåtervinningen i anläggningen.

Tabell 18. Energiåtervinningspotentialen hos luft ut från trumkomposten vid de olika fläktinställningarna 30 % av maximal kapacitet (vid rotation av trumma) respektive 50 % (vid stillastående).

| Fläktinställning | 30 % | 50 % | Enhet |
|------------------|------|------|--------|
| Temperatur | 32,9 | 39,1 | °C |
| RH | 100 | 100 | % |
| Frånluftsflöde | 99 | 212 | kg/h |
| Drifttid | 3500 | 4900 | h/år |
| Energi | 13 | 43 | MWh/år |

Den totala teoretiska energiåtervinningspotentialen blir då alltså 56 MWh/år, vilket motsvarar uppvärmningen av 2-3 småhus (Energimyndigheten, 2014).

Efter det att försök gjorts på trumkomposten med nuvarande installation kopplades en värmeväxlare in i kompostens frånluftsflöde, schematisk skiss syns i Figur 16. För att kompensera för att värmeväxlaren ströp frånflödet ändrades frånluftsfläktens inställningar. Det lyckades inte helt, då frånluftsflödet var högre i mätningarna med värmeväxlaren inkopplad än i fallet då ingen värmeväxlare var installerad. Fläkten styrdes på samma sätt som tidigare i cykler och resultatet presenteras i två delar, en för varje del i kompostcykeln, Tabell 19.

Det kan noteras att temperaturen i frånluftsflödet är högre under de mätningar då värmeväxlaren är inkopplad än då mätningar utan värmeväxlare gjordes. Detta hör troligen samman med att frånluftsflödet var högre under mätningarna med värmeväxlaren.

Mätningar av flöden och temperaturen visar att uteluften värms mellan 24 och 30 °C, den högre temperaturökningen fås då fläkten är inställd på den högre effekten.

Tabell 19. Resultat från mätningar med värmeväxlare installerad. Angående benämningar, se Figur 16.

| | Inställning fläkt | |
|--------------------------------|-------------------|-----------|
| | Fläkt låg | Fläkt hög |
| Temperatur frånluft, °C | 38 | 50 |
| Temperatur avluft, °C | 34 | 42 |
| Temperatur uteluft, °C | 11 | 11 |
| Temperatur tilluft, °C | 35 | 41 |
| Frånluftsflöde, kg/h | 153 | 180 |
| RH frånluftsflöde efter vvx, % | 100 | 100 |
| Effekt, kW | 4 | 10 |

^aVärde saknas, antaget 100 % eftersom luften mättad med ånga

Den relativa luftfuktigheten hos frånluften var 100 % och mätningar visar att en stor del av fukten kondenseras ut i värmeväxlaren, Tabell 20. Värmeväxlaren är byggd för att främst ta tillvara på den latent energin vilket också syns på att temperaturen i frånluftsflöden bara sjunker ca 4-8 °C över värmeväxlaren.

Tabell 20. Resultat från beräkningar av energi som går att utvinna från trumkomposten om värmeväxlaren används under ett år under samma förhållanden som under mätperioden.

| | Låg fläkt | Hög fläkt | Enhet |
|-----------------|----------------|----------------|--------|
| RH in | 100 | 100 | % |
| RH ut | - ^a | - ^a | % |
| Driftstimmar | 3500 | 4900 | h/år |
| Energipotential | 14 | 48 | MWh/år |

^aVärde saknas, antaget 100 %

På samma sätt som i räkneexemplet där potentialen beräknas utan inkopplad värmeväxlare har det antagits att trumkomposten används 350 dagar per år.

Att mätningarna med värmeväxlaren inkopplad ger en så mycket större beräknad värmeåtervinningspotential beror på frånluftsflödet var större samt att temperaturen i frånluften var betydligt högre.

Värmeväxlaren är tänkt att användas för att värma en lokal som ska byggas i direkt anslutning till trumkomposten. Försöken med värmeväxlaren ger en beräknad värmeåtervinningspotential på ca 54 MWh, vilket motsvarar 2-3 småhus värmebehov. Det hus över inmatningen som ska byggas i anslutning till trumkomposten kommer troligen inte att ha ett så stort värmebehov och det finns alltså ett överskott av värme. Eftersom trumkomposten ligger långt från övrig bebyggelse är det svårt att på annat sätt ta tillvara energin. Vidare är beräkningarna gjorda med antagandet att förhållandena är jämförbara under hela året och att det finns ett behov av lokalvärme även under sommaren.

Efterkompost, Wiggeby

Gödselmängder och näringsinnehåll i gödsel

I Tabell 21 visas vikter, samt N och C-innehåll hos Kompost A och B i början och slutet av komposteringen, samt förändringar över tid.

Efterkomposteringen innebar en viktminskning av ca 30 % för kompost A och ca 27 % för kompost B, Tabell 21. Dessutom tillkommer viktminskning under föregående för- och trumkompostering. På Mellby minskade förkomposten i vikt med ca 12 %, medan det var svårt att bestämma viktminskningen i förkomposterna på Wiggeby. Vid strängkompostering med frekvent omblandning var viktminskningen mellan 44 och 53 % för djupströbäddar från ungdjur (Karlsson & Jeppsson, 1995) och för hästgödsel med halm 20-24 % (Steineck m.fl., 2001). Under efterkomposteringen på Wiggeby ökade torrsustanshalten, dvs. andelen vatten minskade och därmed ökade också koncentrationerna av totalkväve, fosfor och kalium, Tabell 22. Andelen av kvävet som ammoniumkväve var dock väldigt liten i slutet av komposteringen, Tabell 22.

Tabell 21. Våt- och torrsubstansvikt, kväve- och kolinnehåll samt volymvikt för efterkomposterna vid start och slut av lagringstiden (ca 3 månader).

| | Kompost A | | | | | Kompost B | | | | |
|----------------------------------|---------------|--------------|---------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|--------------|---------------------------------|-----------|-----------|
| | Våt-vikt, ton | Ts-vikt, ton | Volym-vikt*, ton/m ³ | Tot-N, kg | Tot-C, kg | Våt-vikt, kg | Ts-vikt, ton | Volym-vikt*, ton/m ³ | Tot-N, kg | Tot-C, kg |
| <i>Hela komposthögen</i> | | | | | | <i>Hela komposthögen</i> | | | | |
| Start lagring | 26,65 | 8,81 | 0,72 | 97,5 | 3610 | 22,1 | 6,51 | 0,68 | 83,9 | 2763 |
| Slut lagring | 18,75 | 7,28 | 0,75 | 107,8 | 2222 | 16,2 | 6,03 | 0,61 | 104,0 | 2218 |
| Vikt-skillnad | -7,90 | -1,53 | 0,03 | 10,3 | -1388 | -5,9 | -0,48 | -0,07 | 20,1 | -544 |
| Skillnad, % | -29,6 | -17,4 | 3,7 | 10,6 | -38,4 | -26,7 | -7,4 | -10,1 | 24,0 | -19,7 |
| <i>Varav innehåll i cylinder</i> | | | | | | <i>Varav innehåll i cylinder</i> | | | | |
| Start lagring | 1,75 | 0,58 | em | 6,4 | 237 | 2 | 0,59 | em | 7,6 | 250 |
| Slut lagring | 1,4 | 0,45 | 0,66 | 7,77 | 166 | 1,6 | 0,54 | 0,71 | 7,80 | 170 |
| Vikt-ändring, kg | -0,35 | -0,13 | | 1,37 | -70,88 | -0,4 | -0,05 | | 0,20 | -80 |
| Skillnad, % | -20,0 | -22,0 | | 21,4 | -29,9 | -20,0 | -8,2 | | 2,6 | -32,1 |

*Beräknad utifrån mått på högar, ej exakt; em, ej mätt

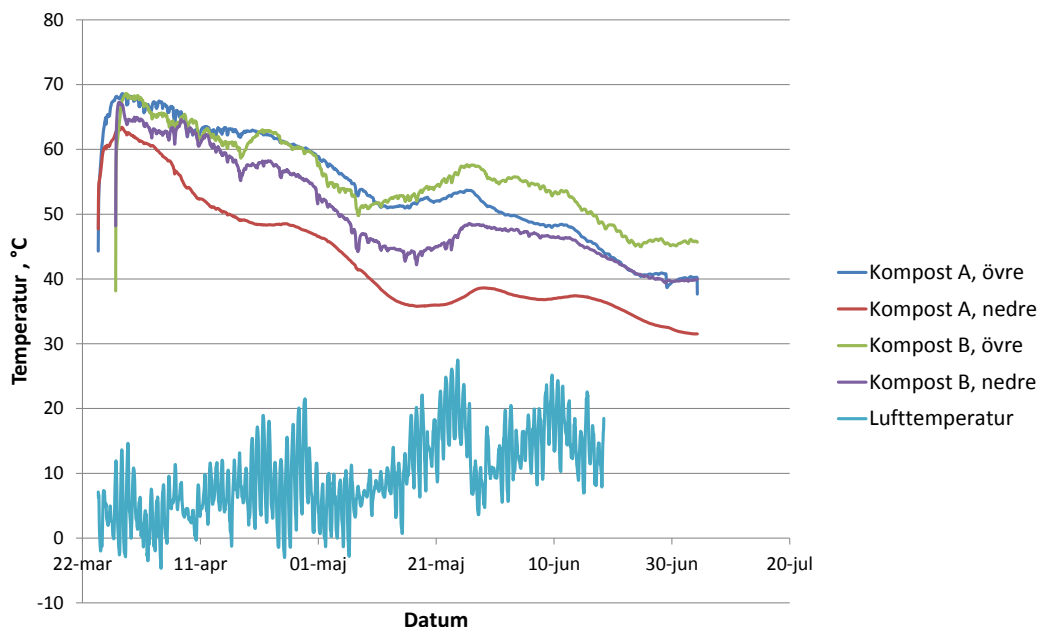
Tabell 22. Egenskaper hos kompost A och B vid start och slut av efterkompostering.

| Parameter | Kompost A | | Kompost B | |
|---------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|
| | Start | Slut* | Start | Slut* |
| Ts-halt, % | 33,1 | 38,8 | 29,7 | 37,2 |
| VS-halt, % | 79,4 | 65,2 | 79,5 | 71,4 |
| Temperatur, °C | Ca 37 | | 43,3 | |
| Kol-kväveknot | 37,0 | 20,6 | 32,9 | 21,3 |
| <i>Växtnäringsämnen, kg/ton</i> | | | | |
| Totalkväve | 3,7 | 5,8 | 3,8 | 6,4 |
| Ammoniumkväve | 0,9 | 0,3 | 0,9 | 0,3 |
| Totalkol | 135,0 | 118,5 | 125,0 | 136,9 |
| Fosfor | 0,6 | 1,4 | 0,6 | 1,5 |
| Kalium | 5,9 | 9,1 | 5,1 | 8,3 |

*Viktat för kompost i och runt cylinder

Temperatur i komposthögarna

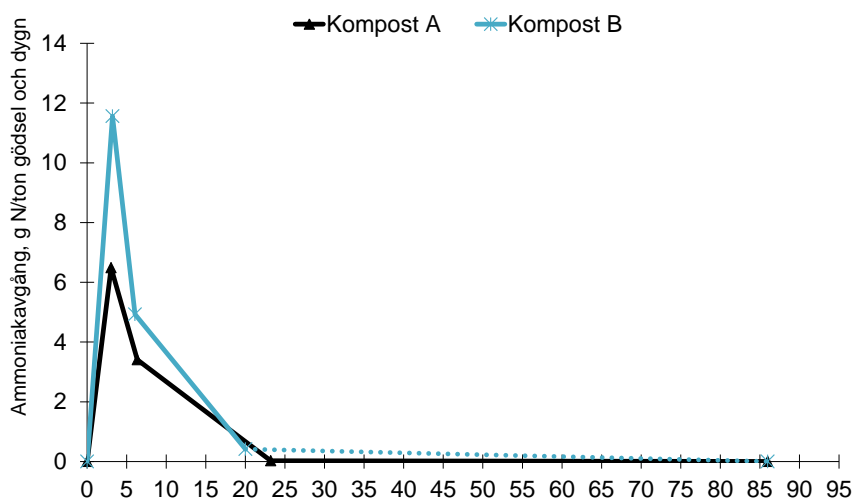
Figur 35 visar temperaturutvecklingen i komposthögarna under lagringen. Medeltemperaturen för kompost A var 49 °C och för kompost B 53 °C och för lufttemperaturen från 24 mars till 18 juni 9,6 °C.



Figur 35. Temperaturer i kompost A och B samt omgivande luft. Medelvärden för temperaturer i respektive kompost för två givare placerade ca 0,30 m under ytan (övre) respektive två givare placerade ca 0,3 m från botten (nedre).

Ammoniakemissioner

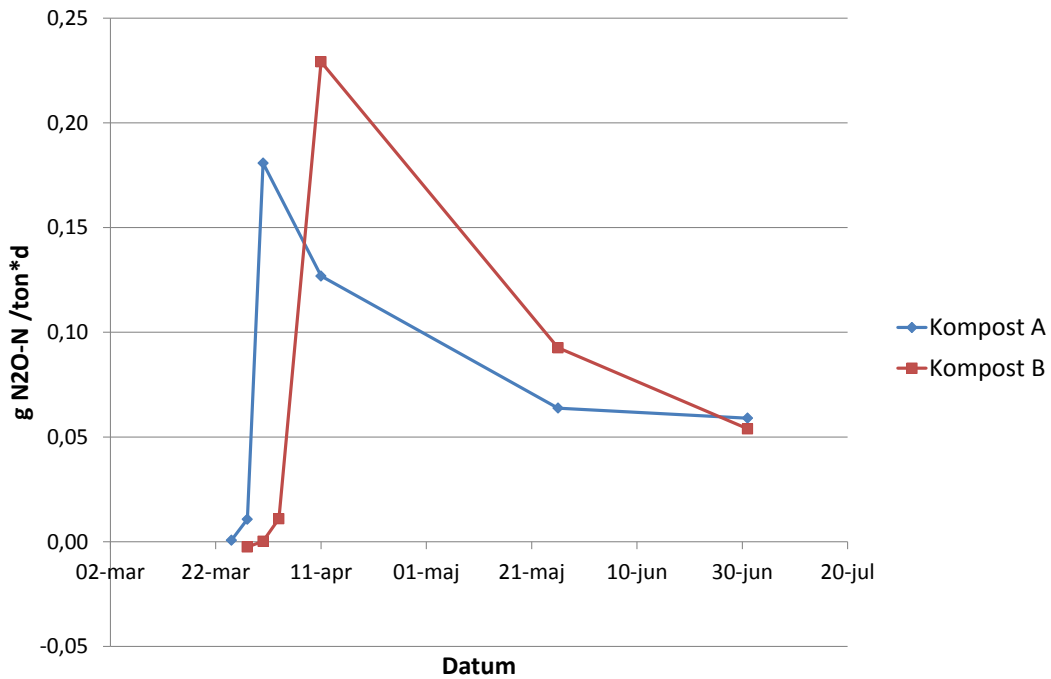
I Figur 36 visas ammoniakemissionerna per dygn från kompost A och B. Helldragna linjer visar emissioner under de fyra exponeringarna av fluxprovtagare, medan streckade linjer visar mellanperioderna.



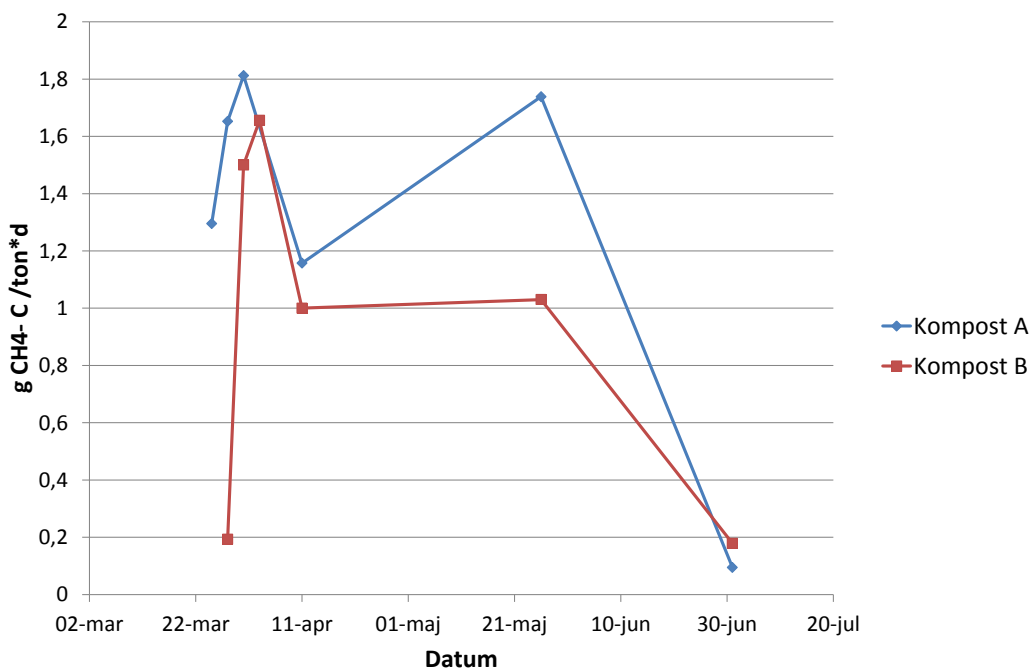
Figur 36. Ammoniakemissioner (g N per ton och dygn) från Kompost A och B. Emissionerna har interpolerats mellan mätningarna genom att ta medelvärdet för före och efter multiplicerat med tiden.

Växthusgaser

I Figur 37 och 38 visas emissionerna av metan respektive lustgas under efterkomposteringen från kompost A och B.



Figur 37. Lustgasemissioner från efterkomposter A och B.



Figur 38. Metanemissioner från efterkompost A och B.

I kapitel ”Summering av emissioner från samtliga komposteringssteg, Wiggeby” redovisas emissionsfaktorer för samtliga kompoststeg.

I Tabell 23 visas emissioner av växthusgaserna metan och lustgas samt ammoniak per ton kompost (% av Tot-C eller Tot-N i kompost vid start).

Tabell 23. Emissioner av CH_4 -C, N_2O -N och NH_3 -N per ton efterkompost.

| Kompost | Emissioner per massa, g/ton kompost | | |
|---------|-------------------------------------|------------|-----------|
| | CH_4 -C | N_2O -N* | NH_3 -N |
| A | 124 | 8,4 | 50,2 |
| B | 85 | 10,8 | 82,1 |

*Endast direkta lustgasemissioner

Summering av emissioner från samtliga komposteringssteg, Wiggeby

I Tabell 24 redovisas emissionsfaktorerna för växthusgaserna metan (CH_4) och lustgas (N_2O) samt ammoniak (NH_3), där faktorerna anger andel av ingående kol- eller kvävemängd i gödsel i respektive kompostled som avgått som metankol (CH_4 -C) respektive lustgaskväve (N_2O -N) eller ammoniakkväve (NH_3 -N). Även så kallad indirekt lustgas till följd av ammoniakavgång ingår i Tabell 24.

Tabell 24. Emissionsfaktorer för växthusgaserna metan (CH_4) och lustgas (N_2O) samt ammoniak (NH_3) beräknat på ingående totala kol- eller kvävemängd i gödsel i respektive kompostled, %. I lustgasen ingår även indirekt lustgas (1 %) av ammoniakavgången enligt IPCC, 2006). Tabellen visar även andel av kvävet in i trumkomposten som återfinns som ammoniumkväve (NH_4 -N) i lakvattnet.

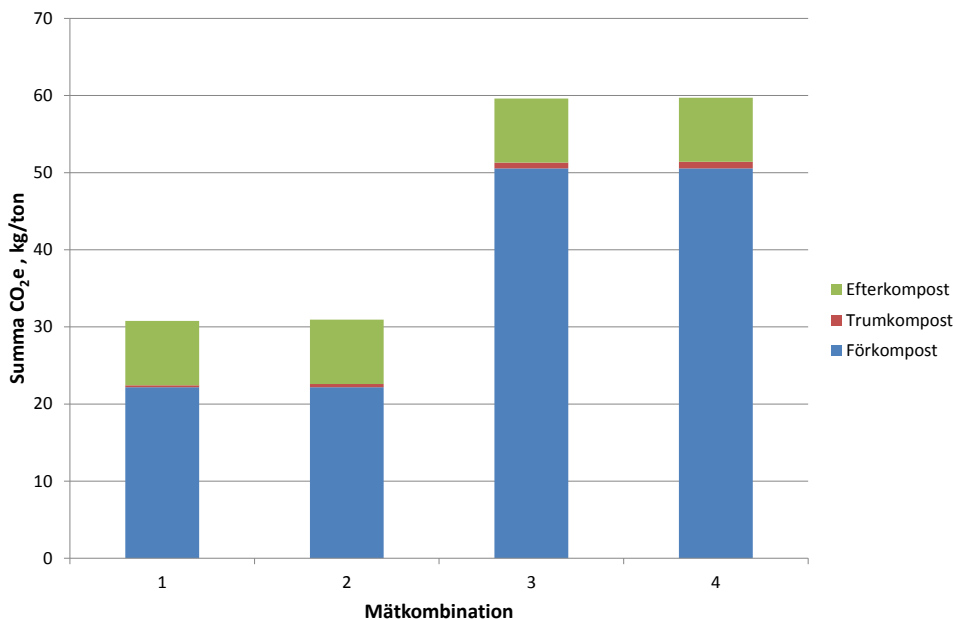
| Mät-kombi-nation | Förkompost | | | Trumkompost | | | | Efterkompost | | |
|------------------|------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------------------|--------------|-----------|-----------|
| | CH_4 -C | N_2O -N | NH_3 -N | CH_4 -C | N_2O -N | NH_3 -N | Lak-vatten NH_4 -N | CH_4 -C | N_2O -N | NH_3 -N |
| 1 | 0,5 | 0,00 | 0,6 | 0,01 | 0 | 0,31 | 0,016 | 0,05 | 0,23 | 1,37 |
| 2 | 0,5 | 0,00 | 0,6 | 0,01 | 0 | 0,64 | 0,023 | 0,05 | 0,23 | 1,37 |
| 3 | 1,1 | 0,01 | 0,4 | 0,03 | 0 | 0,61 | 0,004 | 0,03 | 0,29 | 2,16 |
| 4 | 1,1 | 0,01 | 0,4 | 0,03 | 0,001 | 0,50 | 0,004 | 0,03 | 0,29 | 2,16 |

Metan var den dominerande växthusgasen och den avgick till största delen från förkomposten. Metanemissionerna från förkomposten uppgick till 0,5 % av kolmängden i gödseln under första mätningen och det dubbla under andra mätningen medan äldre kompost, med ca halva massan jämfört med komposten under första mättillfället. En litteraturgenomgång av metanemissioner visar att från lagrad fastgödsel avgick i medeltal 3,5 procent av kolinnehållet som metan, medan motsvarande medelvärde för lagrad djupströgödsel var endast 0,02 procent (Webb m.fl., 2011).

Knappt någon lustgas avgick från för- och trumkompost, men en mindre del avgick under efterkomposteringen. Schablonvärden från IPCC (2006) anger att 0,5 % av totala kvävemängden som emissionsfaktor för lustgaslagrad fastgödsel, vilket är högre än uppmätt i komposten A (0,23 %) respektive i kompost B (0,29 %).

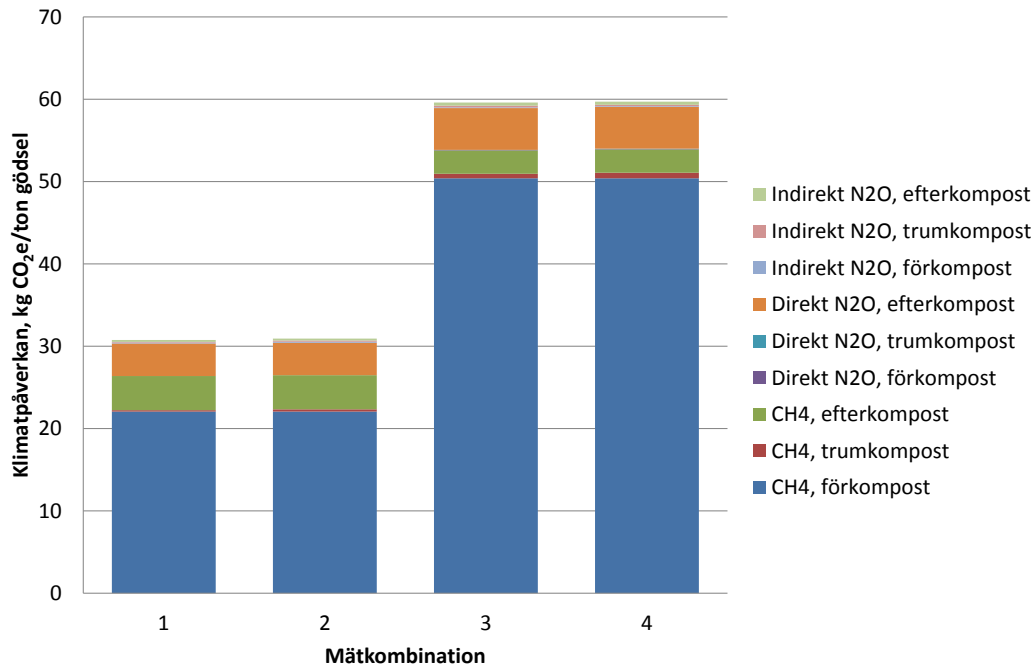
Ammoniakavgången är relativt begränsad. Störst mängd avgår från efterkomposterna ca 1,4 % från kompost A respektive ca 2,2 % av totalkvävet i komposten från kompost B. Eftersom emissionerna är beräknade på ingående mängd i respektive kompost och att det alltid blir en viss massförlust i varje led, går det inte att summera procenttalen för att få totala förlusterna. Men totala emissionerna överskrider i alla fall inte summan, dvs. att ca 3 % av kvävet avgick totalt som ammoniak under de tre komposteringsleden. Det kan jämföras med enbart strängkompostering (ca 1,5 månad), där ammoniakavgången från hästgödsel med halm som strö uppgick till 11,2 % av totalkvävet och från hästgödsel med torv som strö 0,2 % av totalkvävet vid start (Steineck m.fl., 2001). Som nämnts tidigare minskade ammoniakemissionen från trumman vid användning av luftrenaren med 14-20 % (skillnaden för trumkompost mellan mätkombination 3 och 4). Det kväve som fångats i vatten skulle gå att använda t.ex. till gödselbevattning.

Klimatpåverkan från de tre olika kompoststegen visas i Figur 39 för de fyra olika mätkombinationerna. Som synes är utsläppen från trumkomposten jämfört med de två övriga komposteringsleden mycket liten, medan det är utsläppen från förkomposten som dominerar (72 % av totala utsläpp för mätkombination 1 och 2, respektive 85 % för mätkombination 3 och 4). Den äldre förkomposten (sju dagar gammal) i mätkombination 3 och 4 har gett den dubbla klimatpåverkan per ton jämfört med den nyupplagda förkomposten (en dag gammal) i mätkombination 1 och 2. Delvis kan det bero på den lägre temperaturen (37-38 °C) i förkomposten i mätkombination 1-2 jämfört med temperaturen hos den äldre förkomposten (43 °C) i mätkombination 3-4. Den totala klimatpåverkan var ca 30 kg CO₂e/ton för mätkombination 1-2 och ca 60 kg CO₂e/ton för mätkombination 3-4. Det kan jämföras med lagring av flytgödsel i tre månader under sommaren (Rodhe m.fl, 2013). Klimatpåverkan från nötflytgödsel var då ca 8 kg CO₂e/ton, medan motsvarande för lagring av den enstegsrötade gödseln var ca 24 CO₂e/ton. Medeltemperaturen hos de flytande gödselslagen var ca 14 °C under sommarlagringen, dvs. betydligt lägre än temperaturerna i komposterna (Tabell 8 och Figur 35).



Figur 39. Klimatpåverkan från för-, trum- och efterkompost presenterat som koldioxid-ekvivalenter (CO₂e) per ton ingående gödsel i respektive kompoststeg för fyra olika mätkombinationer, se Tabell 4.

I Figur 40 visas klimatpåverkan från metan och lustgas från respektive led. Det är metan från förkomposten som ger den stora klimatpåverkan, men det kommer också en del metan från efterkomposten och även den direkta lustgasen från efterkomposten är märkbar. Totalt svarar metanet för mellan 85 till 90 % av klimatpåverkan medan direkta lustgasemissioner står för huvudparten av resterande klimatpåverkan.



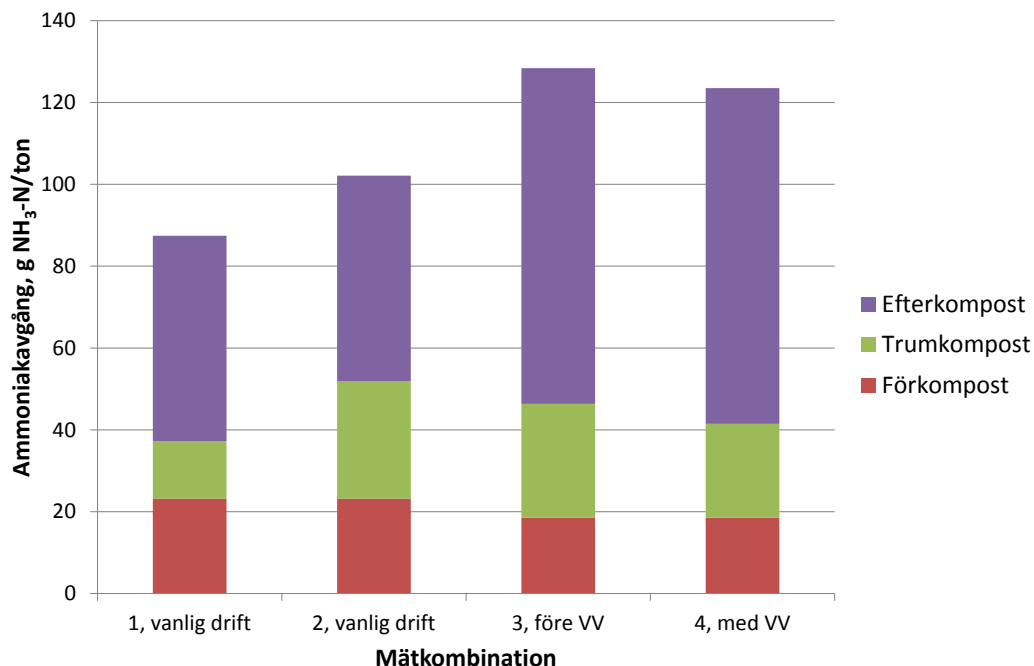
Figur 40. Klimatpåverkan i koldioxidekvivalenter (CO₂e) per ton ingående gödsel från respektive kompoststeg och växthusgas för fyra olika mätkombinationer, se Tabell 4.

När det gäller ammoniakavgången så var den störst för efterkomposten, därefter trumkomposten och minst från förkomposten, Figur 41. Här påverkar både tiden för kompostering i respektive led då ammoniakavgången per tidsenhet är mycket mindre under efterkomposteringen jämfört med både förkompostering och trumkompostering. Så hälften eller mer kom ifrån efterkomposten medan trumkomposten bidrog ofta lite mer än förkomposten.

Om allt ammoniakkväve från trumkomposten kunde fångas upp i effektiv fälla, skulle det motsvara ca 290 kg N per år, dvs. kvävebehovet för höstvetet odlad på 2 ha åkermark.

Sammanfattningsvis så var utsläppen av klimatgaser och ammoniak från komposteringen måttliga och för flera gaser lägre än vad som uppmätts i andra försök eller enligt schablonvärden. Den dominerande klimatgasen var metan från förkomposten, vilket inte var förväntat eftersom metan bildas under anaeroba förhållanden. Enligt litteraturen är det istället lustgas som kan vara den förväntade växthusgasen från komposter med störst påverkan på globala uppvärmningen. Tydligt har anaeroba förhållanden skapats i strängarna till följd av flera faktorer som kompostens sammansättning, förbehandling genom sönderdelning innan inläggning i förkomposthallen och hög lagringshöjd. Frekvent vändning av högarna kan minska metanemissionerna enligt Amon m.fl. (2001), vilket dock inte var möjligt att göra i hallen. En annan åtgärd är att täcka gödseln (Hansen m.fl., 2007), vilket dock kan sabotera komposteringen och medföljande hygieni-

sering. Potentialen för minskad klimatpåverkan med trumkompostering ligger istället främst i att kunna ta tillvara värmen i utluften från trumkomposten.



Figur 41. Kväve (g NH₃-N) förlorat som ammoniak från för-, trum- och efterkompost per ton ingående gödsel i respektive kompoststeg för fyra olika mätkombinationer, se Tabell 4.

Gödselegenskaper i olika komposteringssteg, Mellby

I Tabell 25 presenteras analyser för ingående gödsel i respektive steg samt efter avslutning av efterkompostering. I Bilaga 3 presenteras samtliga analysresultat. I Bilaga 3 presenteras samtliga analyser.

Tabell 25. Exempel på gödselegenskaper i olika komposteringsled för Mellby gård.

| | Ts-halt, % | Tot-N, kg/ton | NH ₄ -N, kg/ton | Tot-C, kg/ton | C/N-kvot | VS (% av TS) |
|---------------------------------------|------------|---------------|----------------------------|---------------|----------|--------------|
| Förkompost, start (10 september) | 32,6 | 6,3 | 1,3 | 141 | 22 | 75,8 |
| Förkompost, slut (17 september) | 28,9 | 6,0 | 1,4 | 149 | 19 | 83,7 |
| In trumkompost (17 september) | 31,9 | 7,1 | 1,7 | 132 | 22 | 85,6 |
| In trumkompost (18 september) | 30,6 | 6,9 | 1,7 | 134 | 25 | 69,0* |
| Efterkompost, start (17-18 september) | 33,1 | 6,5 | 1,2 | 122 | 20 | 81,2 |
| Efterkompost, slut** (2 december) | 26,0 | 6,9 | 0,1 | 105,0 | 15,2 | 71,1 |

*Hög askhalt.

**Viktad värde av gödsel runt och i cylindrar.

För- och efterkompost, Mellby

Gödselmängder och totalt näringsinnehåll i komposter vid start och slut, Mellby

I Tabell 26 visas egenskaperna hos för- och efterkompost vid start och slut för mätning av emissioner. Förkomposten studerades under tiden 10-17 september och efterkompostering 18 september till 2 december 2014 (emissioner endast till 18 november 2014). I Bilaga 4 visas motsvarande för cylindrarna i efterkomposten.

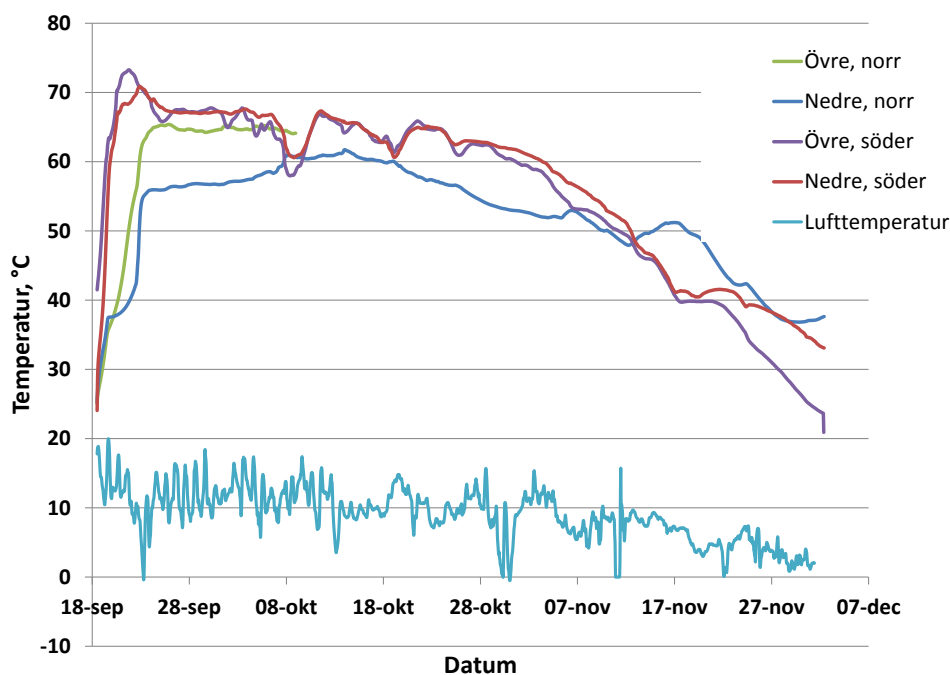
Tabell 26. Våt- och torrsubstansvikt, kväve- och kolinnehåll samt volymvikt för- respektive efterkompost vid start och slut av lagringstiden (ca 1 vecka för förkomposten och 2,5 månader för efterkomposten).

| | Förkompost | | | | | Efterkompost | | | | |
|---------------|---------------|--------------|--------------------------------|-----------|-----------|---------------|--------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| | Våt-vikt, ton | Ts-vikt, ton | Volym-vikt*, kg/m ³ | Tot-N, kg | Tot-C, kg | Våt-vikt, ton | Ts-vikt, ton | Volym-vikt*, kg/m ³ | Tot-N, kg | Tot-C, kg |
| Start lagring | 12,1 | 3,9 | 428 | 76,3 | 1707 | 30,7 | 10,2 | 451 | 199 | 3707 |
| Slut lagring | 10,6 | 3,1 | 457 | 64,0 | 1589 | 26,3 | 6,9 | 654 | 181 | 2761 |
| Vikt-skillnad | -1,5 | -0,8 | 29 | 12,3 | 118 | -4,4 | -3,3 | 203 | -18,0 | -982,8 |
| Skillnad, % | -11,9 | -22,5 | 6,8 | -16,1 | -6,9 | -14,3 | -32,1 | 45,0 | -9,0 | -26,2 |

*Beräknad utifrån mått på högar, ej exakt

Temperaturer i komposthögar

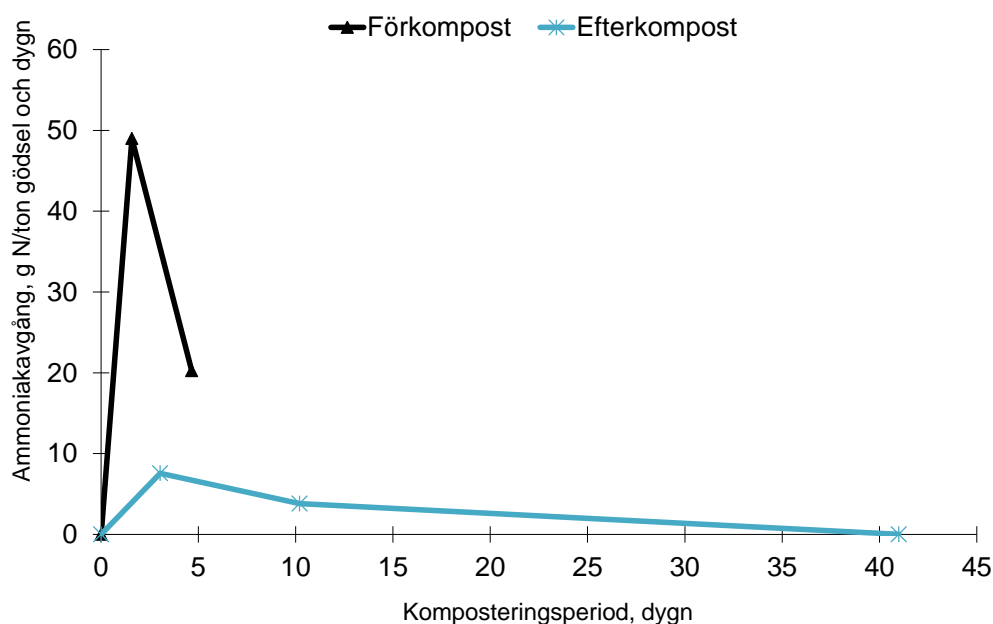
Temperaturen i förkomposten var i medeltal 50,5 °C (variation 27,5-75,8 °C) medan medeltemperaturen hos luften var 14,1 °C (variation 10,0 – 19,1 °C). Motsvarande medeltemperaturer för efterkomposten var 56,0 °C och för luften under efterkomposteringen 9,0 °C. Under förkomposteringen föll 8 mm regn och under efterkomposteringen 141 mm. Medeltemperaturen för komposten i cylindern med täckning (norrläge) var 46,9 °C och för komposten i södra cylindern utan täckning 50,3 °C, dvs. lägre än för hela komposten. I Figur 42 visas temperaturen i efterkomposten.



Figur 42. Temperaturen i efterkomposten i fyra olika positioner samt i omgivande luft från start till utvägning, på Mellby gård.

Ammoniakemissioner

Ammoniakemissionerna presenterade som g N per ton gödsel och dygn visas i Figur 43. Emissionerna per dygn var högst från förkomposten. Under efterkomposteringen avklingade emissionerna och vid sista mätningen då nästan allt kväve var organiskt bundet (Tabell 25) kunde ingen ammoniakavgång uppmätas. Ammoniakemissionerna från efterkomposten på Wiggeby gård visas i Figur 36.



Figur 43. Ammoniakemissioner (g N per ton och dygn) från förkompost och efterkompost. Emissionerna har interpolerats mellan mätningarna genom att ta medelvärdet av emissionerna under mätperioden före och efter multiplicerat med tiden.

Växthusgaser

I Tabell 27 visas emissioner av växthusgaserna metan och lustgas samt ammoniak per ton kompost (% av Tot-C eller Tot-N i kompost vid start). På Mellby var CH₄-emissionerna från efterkomposten betydligt högre än från förkomposten, dvs. det omvända förhållandet jämfört med Wiggeby gård.

Tabell 27. Emissioner från komposter per ton kompost, Mellby gård.

| Kompost | Tid kompostering | Emissioner per massa, g/ton kompost | | |
|---|------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------|
| | | CH ₄ -C | N ₂ O-N* | NH ₃ -N |
| Förkompost (1 vecka) | 1 vecka | 32,6 | 1,16 | 155,6 |
| Efterkompost, utan täckning (2 månader) | 2 månader | 536,7 | 6,36 | 67,2 |
| Efterkompost, med täckning (2 månader) | 2 månader | 425,0 | 0,16 | -** |

*Indirekt lustgas från NH₃-avgång ingår inte

**Ammoniakavgången vid täckt kompost ej uppmätt

Trumkompost Mellby

Gödselmängder och näringsinnehåll i gödsel

I Tabell 28 visas förhållandena under perioder och dagar när mätning av gas-emissioner från trumkomposten utfördes.

Tabell 28. Förhållanden vid mätning på trumkompost. Tidsperioder för mätningar av gasflöden ut ur trumkomposten vid vanlig drift respektive trumkompost med värmeväxlare monterad på utluften. Temperatur i och flöden genom trumkomposten vid tidsperioder med stabila förhållanden. Medelvärden samt standardavvikelse inom parantes.

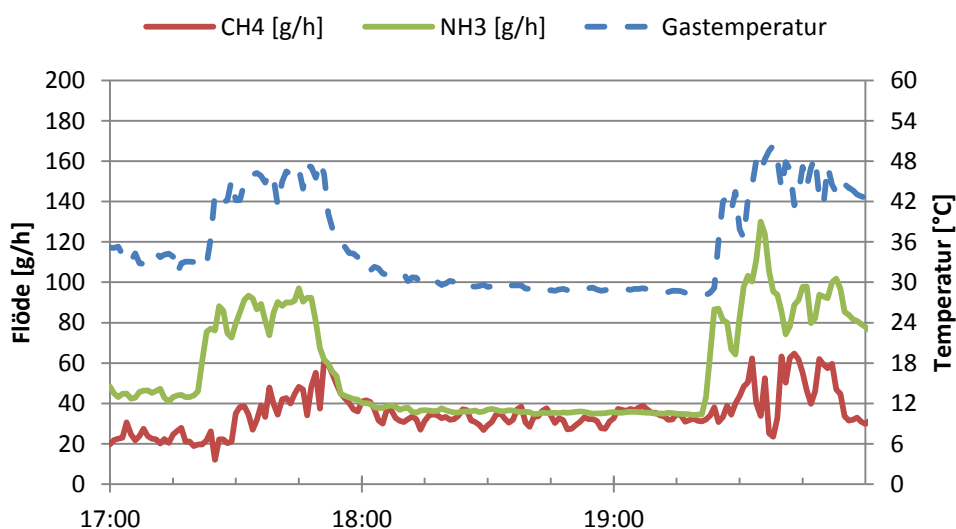
| Gas-mätning | Datum | Tids-period | Mät-förhållanden | Temperatur, °C | Totala mängder inmatade per timme | | |
|-------------|------------|-------------|------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| | | | | | Massa, ton/h | Tot-N, kg/h | Tot-C, kg/h |
| 1 | 2014-09-17 | Dygn | Vanlig drift | 61,0 (4,0) | 0,76 | 5,4 | 99,6 |
| 2 | 2014-09-17 | 09.20-11.20 | Vanlig drift | 59,7 (3,9) | 0,76 | 5,4 | 99,6 |
| 3 | 2014-09-17 | 09.20-15.20 | Vanlig drift | 60,2 (3,7) | 0,76 | 5,4 | 99,6 |
| 4 | 2014-09-18 | 08.00-10.00 | Värmeväxlare, frånluft | 61,4 (3,4) | 0,72 | 5,0 | 95,8 |
| 5 | 2014-09-18 | 08.30-14.00 | Värmeväxlare, avluft | 61,0 (3,9) | 0,72 | 5,0 | 95,8 |

Massflöde beräknat på aktuell dags morgonfyllning, näringsflöden baserade på medelvärden av analysdata från provtagning inmatningsficka dag före mätning och mätdagen.

Gaskoncentrationer och -emissioner från trumkompost

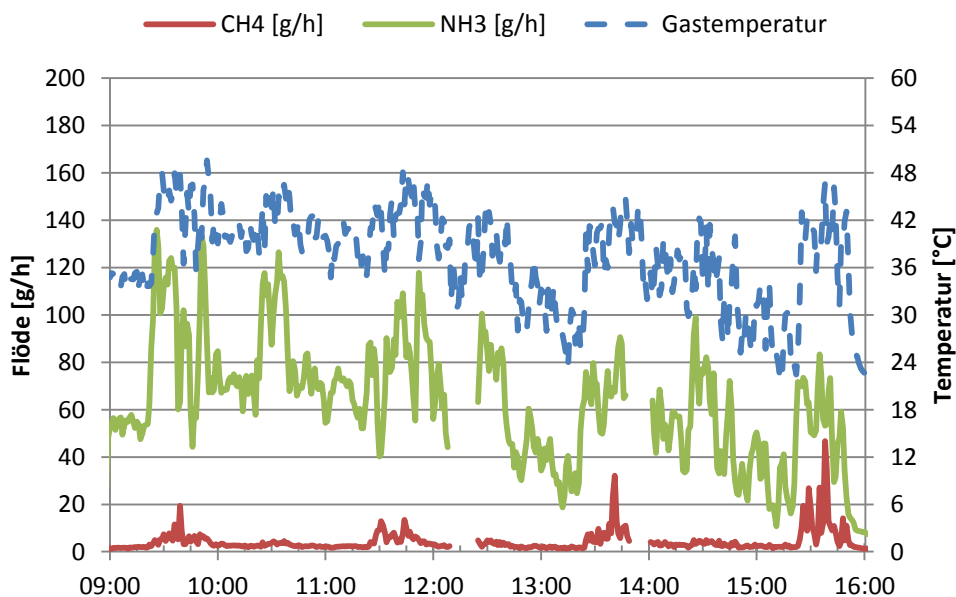
I stort utfördes mätningarna med samma metoder som vid Wiggeby. Tyvärr tillstötte en del praktiska problem vid Mellby (bl.a. elfel) som medförde att mätserien inte blev riktigt så lång som planerats.

Uppmätta gasflöden av CH_4 och NH_3 under tre timmar den 16/9 visas i Figur 44 nedan. Inmatning till trumman påbörjades ungefär 17:20, vilket syns i figuren genom en tydlig uppgång av NH_3 och en ökad gastemperatur.



Figur 44. Uppmätta massflöden av CH_4 och NH_3 samt gastemperatur i röret vid mätpositionen den 16 september.

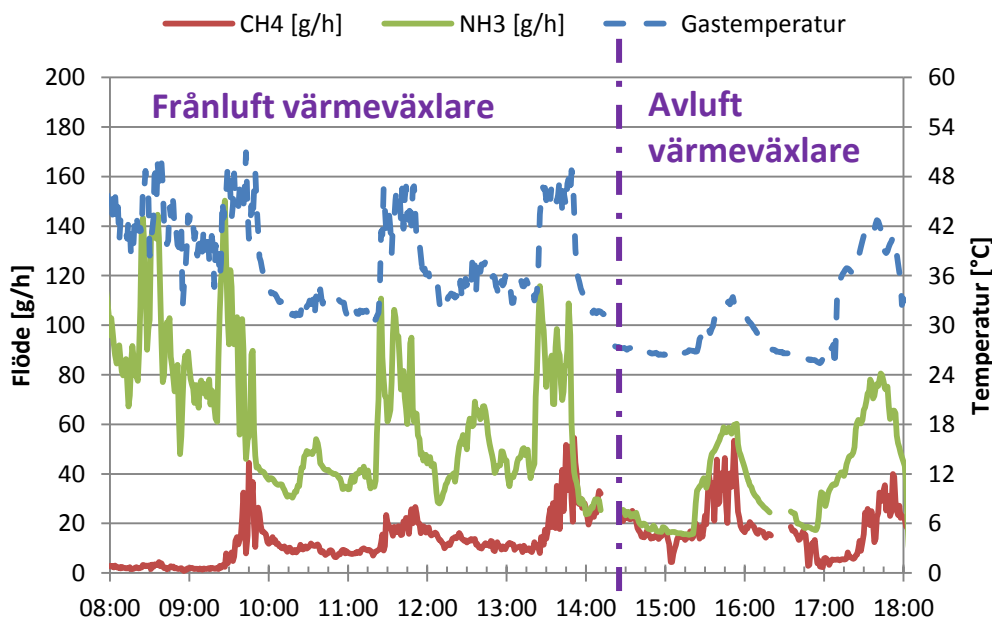
Motsvarande resultat från den 17/9 visas i Figur 45. Denna dag uppmättes genomgående relativt låga metanhalter, något ökande under drift av inmatningsskruven som startade ca 20 minuter efter varje udda timma (dvs. 09:20, 11:20 osv). Trenden var att både gastemperatur och ammoniakavgång sjönk under dagen, dock med stora fluktuationer.



Figur 45. Uppmätta massflöden av CH_4 och NH_3 samt gastemperatur i röret vid mätpositionen den 17 september.

Den 18/9 kopplades en värmeväxlare på det utgående gasflödet från trumkomposten, under det att gaskoncentrationer och temperaturer loggades, Figur 46. Till en början under morgonen blåste gasen ut fritt nedströms mätret (på samma sätt som tidigare mättdagar), och ungefär kl. 09:30 kopplades värmeväxlaren in nedströms mätpositionen. Eftersom den inkopplade värmeväxlaren ger upphov till ett visst tryckfall så minskade gasflödet ut från trumman. För att kompensera för tryckfallet ökades fläktutstyrningen till trummans luftfläktar så att ungefär samma gasflöde erhöles som innan värmeväxlaren kopplades in. Injustering av fläktutstyrning utfördes mellan klockan 10 och 11. Trots denna justering kan det inte uteslutas att flödesförhållandena har förändrats något.

Mätresultaten visar sjunkande ammoniakflöde och ökande metanflöde under dagen, vilket var samma trend som dagen innan. Vid 14:30 flyttades mätpositionen till nedströms värmeväxlaren. Där uppmättes lägre ammoniakflöde och ungefär samma metanflöde som uppströms värmeväxlaren. Eftersom ammoniakflödet i gasen ut från trumman varierar betydligt under dagarna är det svårt att beräkna avskiljningsgraden av ammoniak i värmeväxlaren.



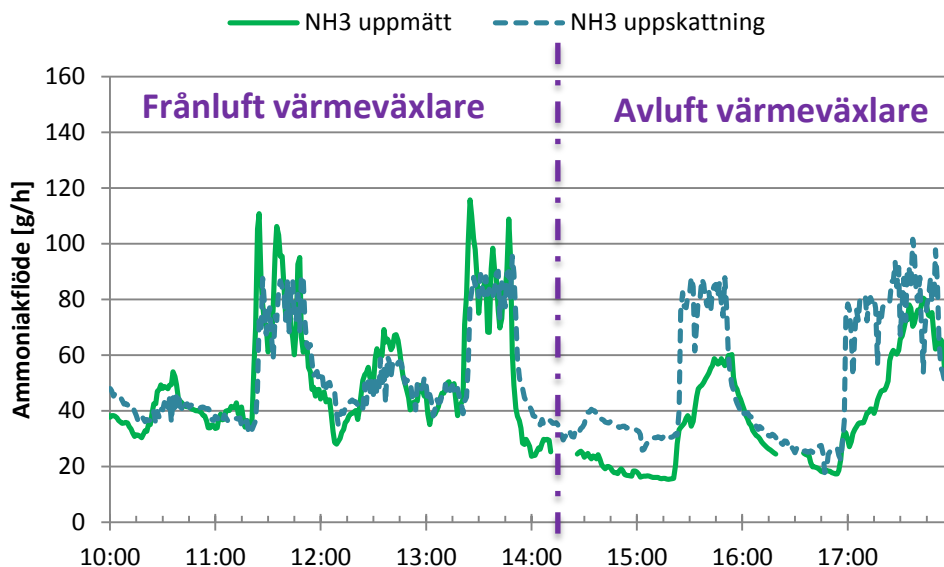
Figur 46. Uppmätta massflöden av CH_4 och NH_3 samt gastemperatur i röret från trumkomposten vid mätpositionen den 18 september. Värmeväxlaren kopplades in ca kl. 10. Vid ca 14:30 flyttades mätpunkten till efter värmeväxlaren (avluft).

Gastemperaturerna i ovanstående figurer är en indikator på hur stor del av gasflödet som kommer från trumman istället för bakvägen via den ihåliga inmatningsskruven, Figur 47. Under inmatningsperioderna fylls skruven med kompost vilket tenderar att täppa till denna kanal. Det betyder att den mesta gasen kommer från trumman under inmatningsfaserna (hög temperatur, mycket ammoniak). Under försöksveckan noterades även att kompost ibland bakade ihop vid skruvens utlopp in till trumman, vilket då täpper till gaskanalen från trumman. Följden blir då att största andelen utsugen gas kommer utifrån via skruven, vilket medför lägre gastemperatur och lägre ammoniakkoncentrationer.



Figur 47. **Vänster**) Inmatning av kompost inuti det gröna tråget, flöde från höger till vänster. Gasutsuget sker ovanför inmatningen med en radialfläkt (blå motor i fotot) till det tegelröda utloppsroret. **Höger**) Inmatningsskruv, utanför byggnaden. Skruven löper inuti det gröna tråget nästan hela vägen fram till trumkomposten. Matningsbingen till höger i fotot. Material tillförs skruven med hjälp av skrapor i botten av bingen. När inte skruven är fylld med material kan luft gå till utloppsfläkten bakvägen.

En grov uppskattning av ammoniakavskiljningen i värmeväxlaren har gjorts genom att beräkna ammoniakkoncentrationen i gasen utgående från gastemperaturen. Korrelationen mellan beräknat och uppmätt ammoniakflöde illustreras av de två linjerna i Figur 48. Till vänster om den vertikala lila linjen ska uppmätta värden ungefär överrensstämma med beräknade då de visar flödet uppströms värmeväxlaren. Till höger om den vertikala linjen har mätpositionen flyttats så den gröna, uppmätta, linjen visar flödet efter värmeväxlaren medan den blå streckade linjen fortfarande visar beräknat flöde uppströms värmeväxlaren. Arean mellan linjerna är den mängd ammoniak som avskilts i den kombinerade ammoniakfällan och värmeväxlaren vilket motsvarar en reduktion på ca 35 %.



Figur 48. Uppmätt (grön linje) och beräknat (blå streckad linje) massflöde av NH_3 ut från trumkomposten, före värmeväxlaren (frånluft) den 18 september. Vid ca 14:30 flyttades mätpunkten till efter värmeväxlaren (avlufv).

Medelvärden av uppmätta emissioner av CH_4 , NH_3 och CO_2 , från olika tidsperioder, sammanfattas i Tabell 29. Eftersom de uppmätta koncentrationerna varierade betydligt beroende på fyllnadsgrad i trumman och igensättningar i inmatningsrör är det inte självklart vilka mätintervall som ger de mest rättvisande resultaten för att beräkna ett dygnsmedelvärde. Tabellen visar inte desto mindre inom vilka intervall emissionerna var under mät dagarna.

Tabell 29. Medelvärden av uppmätta emissioner från trumkomposten under olika tidsperioder.

| Datum | Tidsperiod | | CH_4 [kg/dygn] | NH_3 [kg/dygn] | CO_2 [kg/dygn] | Flöde [m^3/h] |
|-------|-------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| 09-17 | 09:20-11:20 | Hög NH_3 | 0,08 | 1,97 | 66 | 208 |
| 09-17 | 09:20-15:20 | | 0,09 | 1,59 | 44 | 209 |
| 09-17 | 00:00-23:59 | dygn | 0,37 | | | 214 |
| 09-18 | 08:00-10:00 | Hög NH_3 | 0,15 | 2,05 | 120 | 190 |
| 09-18 | 08:00-14:00 | | 0,28 | 1,52 | 65 | 207 |

Luftflöden

Luftflödesmätningarna har använts som beräkningsunderlag för att bestämma gasflöden ut ur trumkomposten samt energiåtervinningspotentialen. I Tabell 30 presenteras medelvärden för mätningar då frånluftsfläkten är inställd på 60 respektive 70 % av maximalt flöde. En stor skillnad jämfört med mätningarna i Wiggeby är att kanaldragningen från frånluftsfläkten till mät punkten kunde göras betydligt kortare vid mätningarna i Mellby.

Tabell 30. Frånluftsflöden ut ur trumkomposten vid fläkten inställd på 60 respektive 70 % av maximalt flöde. Flöden är omräknade för att gälla vid normaltryck.

| Fläktinställning, % | Massflöde, kg/s |
|---------------------|-----------------|
| 60 | 0,066 |
| 70 | 0,074 |

Energiåtervinning trumkompost, Mellby

Beräkningarna för potentialen för energiåtervinning på Mellby gård har gjorts på liknande sätt som för Wiggeby gård.

Under natten mellan kl. 22 och kl. 2 står in- och utmatningsskruvar samt trumma stilla, vilket gör att antalet driftstimmar blir färre vilket i sin tur påverkar mängden energi som går att återvinna. Precis som på Wiggeby gård har potentialen beräknats genom att anta att det går att kyla frånluftsflödet till 12 °C, Tabell 31.

Tabell 31. Resultat för mätningar av potentialen för värmeåtervinning från trumkomposten på Mellby gård.

| Fläktinställning | Låg | Hög | Enhet |
|---------------------|------|------|--------|
| Temperatur frånluft | 44 | 47 | °C |
| RH frånluft | 100 | 100 | % |
| Frånluftsflöde | 237 | 267 | kg/h |
| Effekt | 11 | 17 | kW |
| Driftstid | 3939 | 2536 | h/år |
| Energi | 43 | 42 | MWh/år |

Även i Mellby testades emissionsfiltret med värmeväxlare. Prototypen i Mellby var något annorlunda utformad än i Wiggeby. Temperaturerna i avluften är något lägre i Mellby än i Wiggeby men då andra förhållanden varierar (luftflöden, frånluftstemperaturer etc.) mellan försöken är det svårt att dra några slutsatser om detta utslutande beror på förändringar i prototypens utformning (fördubblad luftsträcka i värmeväxlaren jämfört med prototyp testad på Wiggeby, Tabell 20), Tabell 32.

Tabell 32. Uppmätta data från trumkompost med värmeväxlare kopplad till frånluften, Mellby.

| | Fläktinställning | | Enhet |
|---------------------|------------------|------|--------|
| | Låg | Hög | |
| Temperatur frånluft | 44 | 47 | °C |
| RH frånluft | 100 | 100 | % |
| Temperatur avluft | 27 | 31 | °C |
| RH avluft | 100 | 100 | % |
| Frånluftsflöde | 237 | 267 | kg/h |
| Effekt | 7 | 11 | kW |
| Driftstid | 3939 | 2536 | h/år |
| Energi | 29 | 28 | MWh/år |

Summering av emissioner från samtliga komposteringsled, Mellby

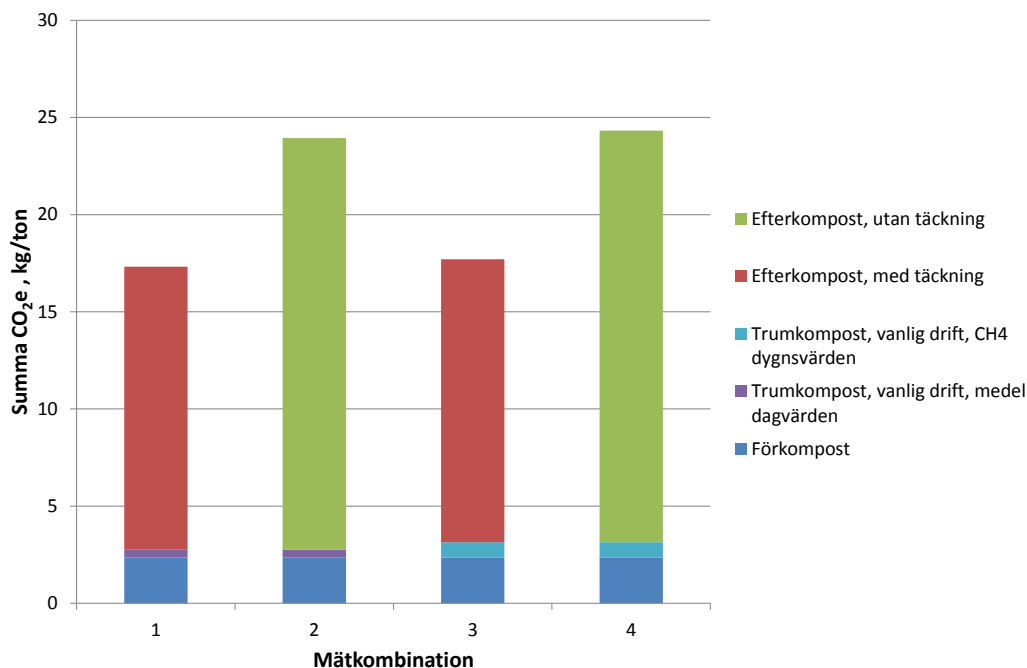
I Tabell 33 visas emissionsfaktorer för gaserna för de olika komposteringsstegen. Emissionsfaktorerna för lustgas ligger långt under IPCC:s schablonvärde på 0,5 % för samtliga komposteringssteg. Både metan- och ammoniakemissionerna är måttliga. På Mellby gård avgick metanet främst från efterkomposten till skillnad från Wiggeby, där större delen av metanet kom från förkomposten.

Tabell 33. Emissionsfaktorer för växthusgaserna metan (CH₄) och lustgas (N₂O) samt ammoniak (NH₃) beräknat på ingående totala kol- eller kvävemängd i gödsel i respektive kompostled, %. I lustgasen ingår även indirekt lustgas (1 %) av ammoniakavgången enligt IPCC, 2006).

| Mät-kombi-nation | Förkompost | | | Trumkompost | | | Efterkompost | | |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CH ₄ -C | N ₂ O-N | NH ₃ -N | CH ₄ -C | N ₂ O-N | NH ₃ -N | CH ₄ -C | N ₂ O-N | NH ₃ -N |
| 1 | 0,02 | 0,02 | 2,5 | 0,00 | 0,00 | 1,31 | 0,35 | 0,00* | -* |
| 2 | 0,02 | 0,02 | 2,5 | 0,00 | 0,00 | 1,31 | 0,44 | 0,10 | 1,03 |
| 3 | 0,02 | 0,02 | 2,5 | 0,01 | 0,00 | 1,31 | 0,35 | 0,00* | -* |
| 4 | 0,02 | 0,02 | 2,5 | 0,01 | 0,00 | 1,31 | 0,44 | 0,10 | 1,03 |

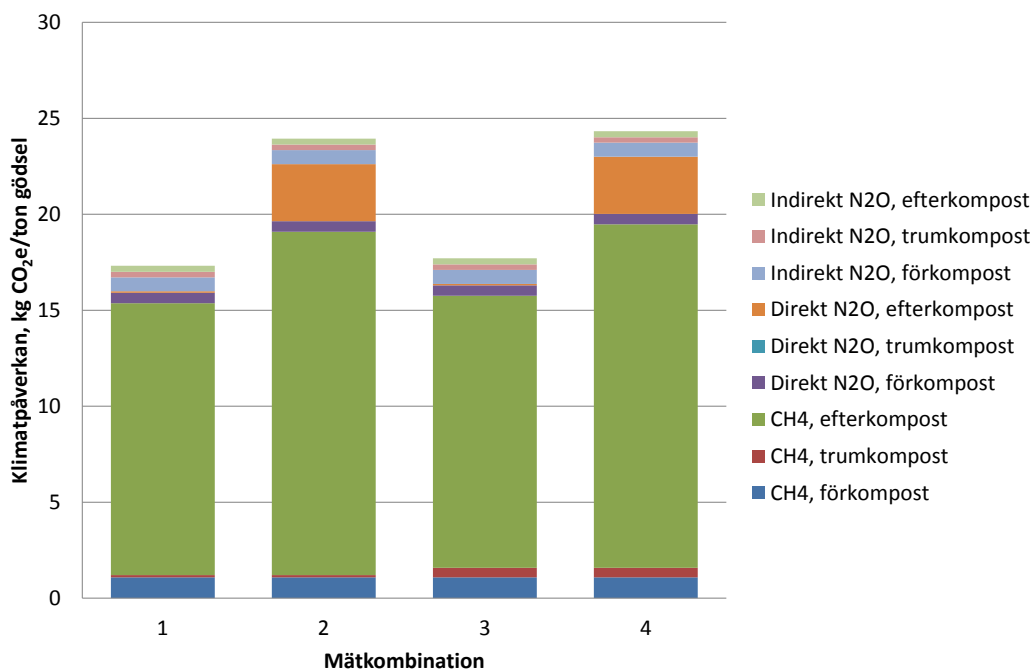
*NH₃-avgången saknas för täckt efterkompost och även för indirekt lustgas

I Figur 49 klimatpåverkan från de olika komposteringsstegen. Störst påverkan hade efterkomposten, men med täckningen reducerades klimatpåverkan från efterkomposten med ca en tredjedel och totalt för alla komposteringsstegen med 28 %. När beräkningen utfördes för dygnsvärden för metanemissionerna från trumkomposten i mätkombination 3 och 4 (högre emissioner under natten då trumman stod stilla) innebar det totalt en fördubblad klimatpåverkan från trumkomposten. Men precis som för Wiggeby gård, hade emissionerna från trumkomposten på Mellby gård minst klimatpåverkan utav de tre komposteringsstegen.



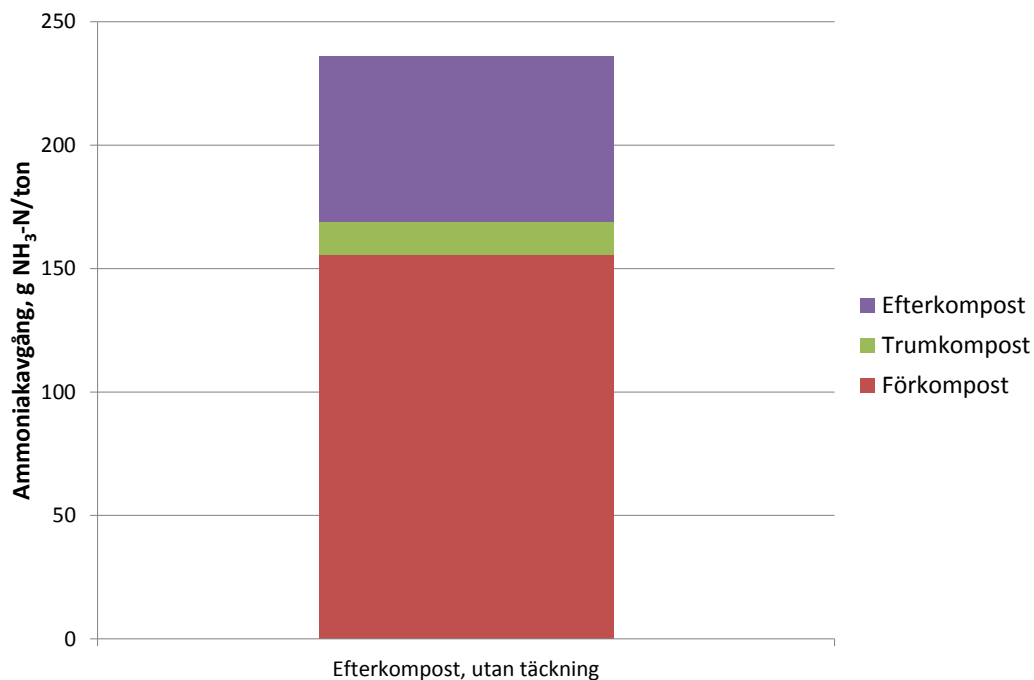
Figur 49. Klimatpåverkan från för-, trum- och efterkompost presenterat som koldioxid-ekvivalenter (CO₂e) per ton ingående gödsel i respektive kompoststeg för fyra olika mätkombinationer, se Tabell 6. Efterkompost med täckning ej korrigerat för eventuell lägre indirekt N₂O-emission.

I Figur 50 visas klimatpåverkan från metan och lustgas från respektive led. Det är metan som ger störst klimatpåverkan (ca 80-90 %) även på Mellby gård, men huvudkällan är i detta fall efterkomposten. Täckning av efterkomposterna tar bort de mesta lustgasemissionerna och minskar också metanemissionerna till viss del.



Figur 50. Klimatpåverkan i koldioxidekvivalenter (CO₂e) per ton ingående gödsel från respektive kompoststeg och växthusgas för fyra olika mätkombinationer, se Tabell 6. Efterkompost med täckning ej korrigerat för eventuell lägre indirekt N₂O-emission.

I Figur 51 visas ammoniakavgången för de olika komposteringsstegen för efterkompost utan täckning. Täckningen bör ha minskat emissionerna, men för bästa effekt borde man i första hand täcka förkomposterna, eftersom ca två tredjedelar av förlusterna skedde i detta steg (1 vecka). Förlusterna från trumkomposteringen var minst (6 % av totala förlusterna). Förkomposten på Mellby gav 7-8 ggr högre NH_3 -avgång än förkomposten på Wiggeby. Längre tid för förkompostering (1 vecka jämfört med 0,5 vecka), högre kväveinnehåll per ton och högre komposttemperatur kan bl.a. ha bidragit till att NH_3 -avgången var högre från förkomposten på Mellby jämfört med Wiggeby. Dessutom kan förkompostering i en hall, som gjordes på Wiggeby, gett en lägre lufthastighet över kompostytan, vilket gör att drivkraften för ammoniakavgången blir lägre (högre partialtryck för ammoniak ovanför gödselytan). Totalt sett var ammoniakavgången ca 236 g $\text{NH}_3\text{-N/ton}$ kompost på Mellby (ca 5 % av ingående mängd Tot-N) jämfört med 83-128 g $\text{NH}_3\text{-N/ton}$ (ca 3 % av ingående mängd Tot-N) på Wiggeby gård. Komposten på Mellby innehöll mer lösligt N per ton jämfört med Wiggeby, 1,3 respektive 0,6 kg $\text{NH}_4\text{-N/ton}$, vilket kan förklara den högre förlusten på Mellby. Men jämfört med tidigare studier var kväveförlusterna som ammoniak måttliga, dvs. lägre jämfört med ca 11 % av total-N vid strängkompostering av hästgödsel med halm (Steineck m.fl., 2001) eller 6 – 8 % av totalkväve vid strängkompostering av torrare gödsel (ca 39 % ts-halt) (Karlsson och Torstensson, 2003). I många fall, som på Mellby och Wiggeby, har dock hästgödseln lagrats en viss tid mellan utgödsling från stall och uppläggning av förkompost. Denna ammoniakförlust finns inte med i våra beräkningar eller studierna av Karlsson och Torstensson (2003).

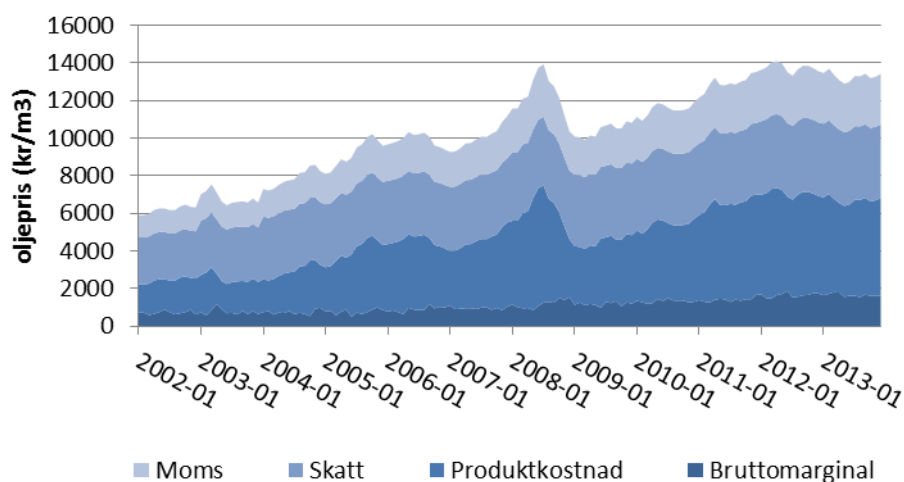


Figur 51. Kväve (g $\text{NH}_3\text{-N}$) förlorat som ammoniak från för-, trum- och efterkompost per ton ingående gödsel i det fall då efterkomposten saknade täckning.

Ekonomi, investeringar och lönsamhet

Värmeåtervinning

Återbetalningstiden för en installation av den typ av emissionsfilter med inbyggd värmeväxlare som har testats i projektet är beroende på vilket bränsle det är tänkt att ersätta och hur effektivt värmeväxlaren i filtret är. Priserna på eldningsolja har legat relativt konstant de senaste åren men kommer att öka då skattsubventionerna för företag minskas. I Figur 52 visas hur oljepriset har varierat under de senaste 10 åren.



Figur 52. Priser för eldningsolja under 2002 till 2013 (Svenska Petroleum och Biodrivmedelsinstitutet).

För Mellby gård som använder flis från egen skog som bränsle är det svårt att räkna hem en investering eftersom priset på flis idag är så lågt (ca 200 kr/MWh, Energimyndigheten 2014). För en anläggning som använder olja kan en investering återbetala sig betydligt snabbare. I räkneexemplet som presenteras i Tabell 34 redogörs för lönsamheten i att ersätta eldningsolja eller flis. I exemplet har det antagits att värmen som återvinns ska användas för att värma lokaler, dvs. det finns bara ett behov av värmen som kan utvinnas under 6 månader per år. Det har antagits att värmeväxlaren fungerar optimalt och att det är möjligt att kyla frånluften ner till 12 °C. I fallet på Mellby gård blir detta ca 42 MWh/år.

Tabell 34. Återbetalningstider för en investering av ett emissionsfilter med värmeväxlare av den typ som testats i projektet. I exemplet har det antagits att 42 MWh bränsle kan ersättas.

| Nuvarande bränsle | Olja | Olja med skattesubvention | Flis |
|--------------------------|---------|---------------------------|---------|
| Bränslekostnad (kr/MWh) | 1360* | 580** | 183 |
| Investeringskostnad (kr) | 150 000 | 150 000 | 150 000 |
| Återbetalningstid (år) | 3 | 6 | 19 |

*Motsvarar ett oljepris på 14 kr/l

** Motsvarar ett oljepris på 6 kr/l

I investeringskostnaden ingår både utrustnings- och installationskostnader.

För nyinvesteringar där det idag inte finns någon befintlig värmekälla blir ekvationen naturligtvis annorlunda då investeringen kan räknas in i den totala investeringskostnaden för anläggningen.

I räkneexemplet ovan så har det räknats på att använda den återvunna värmen så det är tänkt med den VVX som har testats i projektet. Skulle värmen istället användas för att förvärma t.ex. tappvarmvatten så finns ett värmebehov under hela året, vilket skulle dubblera värmeåtervinningspotentialen. Återbetalningstiderna skulle då halveras till 8 år för att ersätta flis och 3 år för att ersätta olja med dagens skattesubventioner. Detta givetvis förutsatt att det finns avsättning för värmen.

Slutsatser

- Störst klimatpåverkan hade utsläpp av metan, från förkomposten (Wiggeby gård) eller från efterkomposten (Mellby gård).
- Därefter var det direkta utsläpp av lustgas från efterkomposten som hade störst påverkan på den globala uppvärmningen.
- Växthusgasutsläppen från trumkomposten utgjorde en mycket liten del, endast 1-4 %, av utsläppen omräknat till kg CO₂e/ton kompost.
- Klimatpåverkan motsvarade 31 kg CO₂e/ton under mätomgång 1-2 och 60 kg CO₂e/ton för mätomgång 3-4 på Wiggeby gård. På Mellby gård var utsläppen något lägre, motsvarande ca 17-24 kg CO₂e/ton kompost.
- Totalt var ammoniakavgången relativt liten under hanteringen. På Wiggeby gård utgjorde den ca 3 % av total-N i ursprunglig kompost. Störst ammoniakavgång skedde där under efterkomposten (1,4 - 2,1 %). På Mellby gård var ammoniakavgången ca 5 % av total-N, där störst mängd kom från förkomposten.
- Sammanfattningsvis så var totala utsläppen av klimatgaser och ammoniak från de tre komposteringsstegen tillsammans måttliga och för flera gaser lägre än vad som uppmätts i försök med strängkomposter eller enligt schablonvärden.
- Upp till ca 35 % av NH₃ från trumkomposten kunde avskiljas med en prototyp av kombinerat ammoniakfälla och värmeväxlare.
- Åtgärden att täcka efterkomposten med plastduk tog bort större delen av lustgas-emissionerna och minskade också till en del metanutsläppen, vilket totalt innebar en minskning med en tredjedel av klimatpåverkan från efterkomposterna.
- Potentialen för minskad klimatpåverkan med trumkompostering ligger främst i att kunna ta tillvara värmen i utluften från trumkomposten. Låg temperatur i utluften betyder att bästa användningen är uppvärmning av närliggande byggnader, vilket kan vara begränsat nära en stor gödselanläggning.
- Återbetalningstider för en investering i utrustning för värmeåtervinning ur luft från trumkomposten var 19 år vid ersättning av flis som bränsle för uppvärmning och endast tre år vid ersättning av olja (utan skattesubvention).

Referenser

- Amon B., Amon T., Boxberger J., Alt C., 2001. Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). *Nutrient cycling in Agroecosystems* 60, 103-113.
- Energimyndigheten, 2011. Ny regional energistatistik för småhus. [Online]. <http://www.energimyndigheten.se/Press/Pressmeddelanden/Pressmeddelanden-2011/Ny-regional-energistatistik-for-smahus/>. [Använd 16 05 2014].
- Hansen M.N., Henriksen K., Sommer S.G., 2007. Observations of production and emission of GHG and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmos. Environ.* 40, 4172-4181.
- Karlsson S., 1996. Åtgärder för att minska ammoniakemissionerna vid lagring av stallgödsel. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* nr 228, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Karlsson S. & Jeppsson K-H., 1995. Djupströbädd i stall och mellanlager. JTI-rapport 204, Jordbrukstekniska institutet, Uppsala.
- Karlsson S. & Torstensson G., 2003. Strängkompostering av hästgödsel. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* nr 313, JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Poincelot R.P., 1975. The biochemistry and methods of composting. The Connecticut agricultural experiment station, Bulletin 754, New Haven.
- Rodhe L., Ascue J., Tersmeden M., Ringmar A. & Nordberg Å., 2008. Växthusgaser från lager med nötflytgödsel. JTI - rapport *Lantbruk & Industri* nr 370. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Schjørring J.K., Sommer S.G. & Ferm M., 1992. A simple passive sampler for measuring ammonia emission in the field. *Water, Air, and Soil Pollution* 62, 13-24, The Netherlands.
- Steineck S., Svensson L., Tersmeden M., Åkerhielm H. & Karlsson S. 2001. Miljöanpassad hantering av stallgödsel. JTI-rapport *Lantbruk & Industri* nr 280, JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Stockholms stad, ”Miljöbarometern Korrigerad medeltemperatur,” 26 03 2013. [Online]. Available: <http://miljobarometern.stockholm.se/key.asp?mo=1&dm=2&nt=1>. [Använd 10 11 2014].
- Webb J., Sommer S.G., Kupper T., Groenestein K., Hutchings N.J., Eurich-Menden B., Rodhe L., Misselbrook T.H., Amon B., 2012. Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and Methane during the Management of Solid Manures. *Sustainable Agriculture Reviews* 8, 67 - 107, ISSN 2210-4410.

Bilaga 1a. Emissioner från trumkompost på Wiggeby gård. Data för frånluft till värmeväxlaren

För att kunna beräkna emissioner på dygnsbasis har mätperioden delats in i perioder av rotation och av vila, tidpunkterna fastställda från loggade gasflödesförändringar. Medelvärden för uppmätta parametrar och beräknade flöden visas i A för frånluften till värmeväxlaren och i B för avluften från värmeväxlaren. Kolumner för rotationsintervall är lätt skuggade. Viss handpåläggning har krävts vid beräkning av medelvärden för att undvika inflytande av störningar (avbrott från kalibrering av mikromanometer och bortkoppling av pump för provtagning till GC). Observera att den sista kolumnen i Tabell B är medelvärden från en ofullständig cykel och därför inte direkt kan jämföras med övriga.

Tabell A. Medelvärden för frånluft till värmeväxlaren, 2014-03-26.

| Mätplats | Frånluft till vvx | | | | |
|------------------------|-------------------|-------|-------|-------|----------------------|
| | Rot. | Vila | Rot. | Vila | |
| Tid från | 09:07 | 09:55 | 11:04 | 11:56 | |
| Tid till | 09:55 | 11:03 | 11:55 | 13:03 | |
| FTIR | | | | | |
| NH ₃ | 151 | 653 | 235 | 699 | ppm |
| CH ₄ | 793 | 636 | 873 | 685 | ppm |
| N ₂ O | 0,8 | 0,05 | 0,5 | 0 | ppm, osäkra värden |
| CO ₂ | 3,2 | 3,9 | 3,2 | 4,1 | Vol.-% |
| H ₂ O | 5,2 | 10,8 | 5,3 | 11,7 | Vol.-% |
| Gastemp | | | | | |
| i vvx sl | 36,9 | 49,3 | 38,1 | 50,4 | °C |
| i vvx sl | 36,7 | 49,1 | 37,8 | 50,1 | °C |
| e vvx sl | 32,5 | 38,9 | 32,9 | 39,9 | °C |
| i vvx fl | 10,1 | 10,2 | 10,3 | 11,0 | °C |
| e vvx fl | 34,0 | 39,4 | 34,2 | 40,3 | °C |
| dP-sond | 38 | 64 | 39 | 62 | Pa |
| Gashast. | 4,9 | 6,4 | 4,9 | 6,3 | m/s |
| Gasflöde | 37 | 46 | 37 | 46 | l/s @20°C, 1,013 Bar |
| NH ₃ -flöde | 14 | 77 | 22 | 81 | g/h |
| CH ₄ -flöde | 70 | 71 | 77 | 75 | g/h |

Vvx – värmeväxlare, i – innan, e – efter, sl – smutsig luft (ut), fl – friskluft (in)

Bilaga 1b. Emissioner från trumkompost Wiggeby. Data för avluften från värmeväxlaren

Tabell B. Medelvärden för avluften från värmeväxlaren, 2014-03-26.

| Mätplats | Nedströms vvx | | | | |
|------------------------|---------------|----------|-------|----------|----------------------|
| | Vila | Rotation | Vila | Rotation | |
| Tid från | 13:56 | 15:04 | 15:56 | 17:05 | |
| Tid till | 15:03 | 15:56 | 17:04 | 17:30 | |
| FTIR | | | | | |
| NH ₃ | 634 | 209 | 635 | 269 | ppm |
| CH ₄ | 726 | 1347 | 921 | 938 | ppm |
| N ₂ O | 0 | 1,3 | 0 | 0,9 | ppm, osäkra värden |
| CO ₂ | 4,0 | 3,3 | 4,4 | 2,6 | Vol.-% |
| H ₂ O | 6,9 | 3,7 | 6,8 | 5,1 | Vol.-% |
| Gastemp | | | | | |
| e vvx sl | 42,4 | 35,0 | 42,8 | 37,5 | °C |
| e vvx fl | 42,1 | 34,6 | 42,5 | 37,2 | °C |
| i vvx sl | 50,6 | 37,9 | 50,9 | 37,5 | °C |
| i vvx fl | 12,2 | 12,3 | 11,8 | 11,0 | °C |
| e vvx fl | 41,1 | 35,4 | 40,8 | 37,4 | °C |
| dP-sond | 50 | 33 | 45 | 33 | Pa |
| Gashast. | 5,6 | 4,5 | 5,4 | 4,5 | m/s |
| Gasflöde | 41 | 34 | 39 | 34 | l/s @20°C, 1,013 Bar |
| NH ₃ -flöde | 67 | 18 | 64 | 23 | g/h |
| CH ₄ -flöde | 72 | 110 | 87 | 77 | g/h |

Vvx – värmeväxlare, i – innan, e – efter, sl – smutsig luft (ut), fl – friskluft (in)

Bilaga 2. Gödselanalyser Wiggeby

| Datum | Gödsel, provtagning | TS (%) | Tot-N (kg/ton) | NH ₄ -N (kg/ton) | Tot-C (kg/ton) | C/N | P (kg/ton) | K (kg/ton) | VS (% av TS) |
|------------|--------------------------------------|--------|-------------------|--------------------------------|-------------------|-----|---------------|---------------|-----------------|
| 2014-03-17 | In förkompost, fack 2 (mätvecka 1) | 31,9 | 4 | 0,9 | 144 | 36 | 0,53 | 5,71 | 85,0 |
| 2014-03-18 | In förkompost, fack 1 (mätvecka 1) | 30,8 | 4,1 | 0,7 | 142 | 34 | 0,51 | 4,64 | 85,7 |
| 2014-03-19 | Ut förkompost = In trumkompost | 32,7 | 4,3 | 0,8 | 138 | 32 | 0,57 | 5,89 | 81,5 |
| 2014-03-20 | In trumkompost, fm | 33,0 | 4,7 | 0,9 | 146 | 31 | 0,55 | 5,81 | 85,3 |
| 2014-03-20 | Ut trumkompost, fm | 30,6 | 3,2 | 0,7 | 132 | 41 | 0,56 | 4,91 | 81,0 |
| 2014-03-20 | In trumkompost, em | 31,8 | 3,9 | 0,7 | 140 | 36 | 0,52 | 5,64 | 83,7 |
| 2014-03-21 | Ut trumkompost, fm | 32,9 | 4,1 | 0,6 | 139 | 34 | 0,68 | 6,05 | 81,8 |
| 2014-03-21 | In trumkompost, fm | 31,5 | 4,1 | 0,9 | 142 | 34 | 0,5 | 5,56 | 85,0 |
| 2014-03-21 | In förkompost, fack 1 (mätvecka 2) | 31,6 | 4,2 | 1,1 | 139 | 33 | 0,58 | 5,01 | 84,9 |
| 2014-03-21 | Ut trumkompost, fm | 33,7 | 4,0 | 0,7 | 144 | 36 | 0,62 | 5,84 | 82,0 |
| 2014-03-24 | In trumkompost, em | 30,3 | 3,6 | 0,9 | 140 | 39 | 0,46 | 4,49 | 86,8 |
| 2014-03-25 | In trumkompost, fm | 31,9 | 4,2 | 0,9 | 145 | 35 | 0,51 | 4,83 | 85,3 |
| 2014-03-25 | In trumkompost, em | 29,8 | 3,6 | 1,0 | 129 | 36 | 0,53 | 4,59 | 80,8 |
| 2014-03-26 | In trumkompost, fm | 30,9 | 5,5 | 2,1 | 138 | 26 | 0,63 | 5,12 | 84,3 |
| 2014-03-26 | Ut trumkompost, fm | 30,7 | 3,4 | 0,9 | 138 | 41 | 0,54 | 4,65 | 84,9 |
| 2014-03-26 | Ut trumkompost, em | 31,2 | 3,6 | 0,9 | 139 | 38 | 0,56 | 4,92 | 83,4 |
| 2014-03-26 | In trumkompost, em | 29,5 | 4,2 | 1,0 | 134 | 32 | 0,57 | 4,96 | 84,7 |
| 2014-03-27 | Ut trumkompost, fm | 30,5 | 3,6 | 0,8 | 134 | 37 | 0,62 | 5,24 | 83,7 |
| 2014-03-28 | Ut trumkompost, fm | 32,6 | 4,3 | 0,8 | 139 | 32 | 0,7 | 5,60 | 81,8 |
| 2014-03-24 | Efterkompost A, start | 33,1 | 3,7 | 0,9 | 136 | 37 | 0,59 | 5,85 | 79,4 |
| 2014-03-27 | Efterkompost B, start | 29,7 | 3,8 | 0,9 | 125 | 33 | 0,59 | 5,08 | 79,5 |
| 2014-07-04 | Efterkompost A, slut (runt cylinder) | 39,5 | 5,8 | 0,3 | 118 | 20 | 1,41 | 9,21 | 64,8 |
| 2014-07-04 | Efterkompost A, slut (i cylinder) | 32,3 | 5,5 | 0,5 | 119 | 21 | 1,16 | 7,60 | 69,1 |
| 2014-07-04 | Efterkompost B, slut (runt cylinder) | 37,5 | 6,5 | 0,3 | 139 | 21 | 1,53 | 8,49 | 71,8 |
| 2014-07-04 | Efterkompost B, slut (i cylinder) | 33,9 | 4,9 | 0,9 | 106 | 22 | 1,16 | 6,52 | 66,7 |

Bilaga 3. Gödselanalyser Mellby

| Datum | Gödsel, provtagning | TS (%) | Tot-N (kg/ton) | NH ₄ -N (kg/ton) | Tot-C (kg/ton) | C/N | Tot-P (kg/ton) | Tot-K (kg/ton) | VS (% av TS) |
|------------|---|--------|-------------------|--------------------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 2014-09-10 | Förkompost, start | 32,6 | 6,3 | 1,3 | 141 | 22 | 1,2 | 9,5 | 75,8 |
| 2014-09-16 | In trumkompost | 32,5 | 7,1 | 1,4 | 130 | 18 | 1,8 | 11,0 | 81,5 |
| 2014-09-16 | Ut trumkompost | 33,2 | 6,2 | 1,0 | 134 | 22 | 1,5 | 11,0 | 84,9 |
| 2014-09-17 | In trumkompost | 31,9 | 7,1 | 1,7 | 132 | 19 | 1,4 | 9,7 | 85,6 |
| 2014-09-17 | Ut trumkompost, till efterkompost | 33,4 | 6,6 | 1,1 | 123 | 19 | 1,9 | 12,0 | 82,6 |
| 2014-09-17 | Förkompost, slut | 28,9 | 6,0 | 1,4 | 149 | 25 | 1,3 | 9,8 | 83,7 |
| 2014-09-18 | In trumkompost | 30,6 | 6,9 | 1,7 | 134 | 19 | 1,4 | 12,0 | 69,0 |
| 2014-09-18 | Ut trumkompost, till efterkompost | 32,8 | 6,4 | 1,3 | 121 | 19 | 1,8 | 11,0 | 79,6 |
| 2014-09-18 | Efterkompost, start (viktat analyser 17 och 18 september) | 33,1 | 6,5 | 1,2 | 122 | 19 | 1,8 | 11,5 | 81,2 |
| 2014-12-02 | Efterkompost, slut (runt cylindrar) | 26,0 | 6,9 | 0,1 | 105,0 | 15,2 | 1,69 | 9,97 | 71,1 |
| 2014-12-02 | Efterkompost, slut (täckt cylinder) | 25,2 | 6,5 | 0,2 | 105,9 | 16,3 | 1,51 | 9,17 | 73,1 |
| 2014-12-02 | Efterkompost, slut (ej täckt cylinder) | 31,4 | 7,7 | 0,3 | 127,4 | 16,6 | 1,83 | 12,85 | 71,7 |

Bilaga 4. Efterkompost, Mellby

Massa, volymvikt och näringsinnehåll i cylindrar med och utan täckning vid start och slut samt förändring under kompostering.

Våt- och torrsubstansvikt, kväve- och kolinnehåll samt volymvikt för cylindrar med och utan täckning i efterkompost vid start och slut av lagringstiden (ca 2,5 månader) samt förändring under komposteringen.

| | Efterkompost i täckt cylinder (norr) | | | | | Efterkompost i cylinder utan täckning (söder) | | | | |
|---------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------|-----------|-----------|---|--------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| | Våt-vikt, ton | Ts-vikt, ton | Volym-vikt*, kg/m ³ | Tot-N, kg | Tot-C, kg | Våt-vikt, ton | Ts-vikt, ton | Volym-vikt*, kg/m ³ | Tot-N, kg | Tot-C, kg |
| Start lagring | 1,621 | 0,54 | 554 | 10,5 | 197,8 | 1,595 | 0,53 | 545 | 10,4 | 194,6 |
| Slut lagring | 1,602 | 0,40 | 778 | 10,2 | 166,7 | 1,509 | 0,47 | 779 | 11,6 | 192,2 |
| Vikt-skillnad | -0,019 | -0,14 | 224 | -0,3 | -31,1 | -0,086 | -0,06 | 234 | 1,2 | -2,4 |
| Skillnad, % | -1,2 | -26,2 | 40,4 | -3,1 | -15,7 | -5,4 | -10,4 | 42,9 | 11,6 | -1,2 |

*Beräknad utifrån mått på högar, ej exakt

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Vi är ett tekniskt jordbruksinstitut med tydlig miljö- och energiprofil. Institutets fokus ligger på innovation och utveckling i nära samarbete med företag, organisationer och myndigheter.

På vår webbplats publiceras regelbundet notiser om aktuell forskning och utveckling vid JTI. Gratis mejlutskick av JTI:s nyhetsnotiser kan beställas på www.jti.se

På webbplatsen finns publikationer som kan läsas och laddas hem gratis. Se www.jti.se under fliken Publicerat.

Vissa publikationer kan beställas i tryckt form. För trycksaksbeställningar, kontakta oss på tfn 010-516 69 00, e-post: info@jti.se



JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik
Box 7033, 750 07 Uppsala
Telefon: 010-516 69 00, Telefax: 018-30 09 56
E-post: info@jti.se
www.jti.se