



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Reaktorkompostering og jordproduksjon

Utvikling av råvarer, produksjonsprosesser og teknologi

NIBIO RAPPORT | VOL. 6 | NR. 89 | 2020



Adam O'Toole og Ove Bergersen
Divisjon for Miljø- og naturressurser

TITTEL/TITLE

Reaktorkompostering og jordproduksjon.
Utvikling av råvarer, produksjonsprosesser og teknologi

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Adam O`Toole, Ove Bergersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
05.06.2020	6/89/2020	Åpen	51337	19/01025
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02609-9	2464-1162	31		

OPPDRA GSGIVER/EMPLOYER:

Jordfabrikken AS

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Tore Svartås (dagligleder)

STIKKORD/KEYWORDS:

Kompostering, compost

Composting, compost

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordproduksjon

Garden soil production

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Sammendrag side 5

Summary side 6

LAND/COUNTRY:

Norge

FYLKE/COUNTY:

Trøndelag

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Verdal

STED/LOKALITET:

Verdal

GODKJENT /APPROVED

DANIEL RASSE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

ADAM O`TOOLE



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Jordfabrikken åpnet et pilot reaktorkomposteringsanlegg i 2019. Som en del av utviklingsarbeidet ble NIBIO gitt i oppdrag å gi faglige innspill for optimalisering av drift av komposteringsanlegget. Adam O'Toole har vært hovedforskerkontakt fra NIBIO og har vært støttet av forskerkolleger Ove Bergersen og Joshua Cabell Fenton. Finansiering av prosjektet er 50 % fra Trøndelag fylkeskommunes DistriktForsk program¹.

Steinkjer, 05.06.20

Adam O'Toole

¹ <https://www.trondelagfylke.no/distriktforsk>

Innhold

Sammendrag	10
Summary	10
1 Introduksjon	7
2 Mål.....	9
2.1 Delmålene.....	9
3 Metode og materialer	10
4 Resultater	11
4.1 Trinn 1 – Øke tilgjengelighet av nitrogen i Kornavrens	13
4.2 Trinn 2 - Justering av ventilasjon styrke	16
4.3 Trinn 3 – Oversikt over oppholdstid	17
4.4 Trinn 4 – Redusere daglig rotasjoner fra 4-3 for å øke oppholdstid (fra november)	18
4.5 Trinn 5 – Øke N innhold ytterlige ved tilsetning av urea.....	18
4.5.1 Resultater etter tilsetning av 10 kg urea.....	18
4.6 Tungmetallinnhold	21
4.7 Kompost modenhet.....	22
4.7.1 Kompostens modenhet etter tilsetning av 15 kg urea.....	22
4.8 Spiringstest	24
5 Konklusjoner og anbefalinger.....	25
Referanser	26

Sammendrag

Jordfabrikken AS er et nytt foretak etablert i Verdal, Trøndelag med mål om å lage torvfri hagejord basert på kompost. Jordfabrikken sitt anlegg huser 2 store 125 m³ komposteringsreaktorer. Reaktorene sørger for nedbryting av biologiske materialer i et lukket system som går automatisk kun med behov for daglig påfylling. Reaktorene kan lett styres for antall daglige omdreininger og mengde luft som er tilsatt med trykk for å sørge for optimal kompostering. I forbindelse med oppstart og drift av anlegget ble NIBIO engasjert til å gi faglige råd om hvordan reaktorene bør styres for å oppnå en tilstrekkelig komposttemperatur og for at sluttproduktet skulle bli stabilt. I begynnelsen av oppdraget lå gjennomsnittlig temperatur i reaktor 1 og 2 på 44 °C. Målet var å få høy nok temperatur, i området 55-70 °C, for optimal kompostering og for å imøtekomme hygieniseringskrav (14 dager >55° eller 48 timer >60 °C). Råstoffmiks brukt i reaktorene består av hageavfall, pappslam, og kornavrens. Denne blandingen av råstoff ga et C:N-forhold før kompostering på 29,4. Over en 6 måneders forsøksperiode ble ulike endringer gjort for å forbedre komposteringen. Styringsvariabler for reaktoren var halvering av viftstyrke/O₂-tilførsel, og reduksjon i daglig trommelomdreining. Substratet ble også tilsatt ekstra nitrogen i form av urea i slutten av forsøksperioden. I starten prøvde vi å få kornavrenset til å spire for å øke tilgjengelighet av nitrogen. Disse tiltakene var introdusert trinnvis og de oppnådde temperaturer ble overvåket og analysert. Kombinasjon av tiltakene førte til en økning i reaktortemperaturer fra 44 °C til 60-65 °C ved prosjektslutt i tråd med målet. Analyse av samlet temperatur og O₂-data visste at de vesentligste faktorene som bidro til økt temperaturer var reduksjon i viftstyrke, deretter ble prosessen ytterligere forbedret ved bruk av ferskkvernet hageavfall hvor N-innhold var høyere. I slutten av forsøksperioden ble ekstra urea tilsatt per batch hage-/parkavfall som ga enda bedre komposteringsprosess observert som mer stabil og høyere temperatur over 60 °C. Kjemiske analyser visste at sluttkomposten hadde et C:N forhold på mellom 16-18 og et lavt tungmetallinnhold innenfor klasse 0, i henhold til Gjødselforskriften. To spiringsforsøk utført i prosjektet visste at ingen spiredyktige frø hadde overlevd komposteringsprosessen. Hygieniske parametere: Termotolerante koliforme bakterier, salmonella, og E. coli var under Mattilsynets grenseverdier og bekrefter at temperaturene var tilstrekkelig for å imøtekomme hygieniseringskravet. To ulike modenhetstester (Solvita og Dewar) ble utført og visste at komposten var nesten fullt omdannet, men at den hadde fortsatt behov for flere uker med ettermodning etter at det hadde forlatt reaktorene. Behov for ettermodning og areal som kreves til det er noe som NIBIO anbefaler at Jordfabrikken tar stilling til i videre arbeid. I tillegg oppmuntres det til å finne en biologisk kilde til nitrogentilsetninger til hage-/parkblandinger slik at sluttproduktet er laget av 100 % resirkulerte bioressurser, som er mer i tråd med Jordfabrikkens mål om å tilby markedet et miljø- og klimavennlig hagejordprodukt.

Summary

Jordfabrikken AS is a start-up company established in Verdal, Trøndelag, Norway with a goal to produce peat-free garden soil based mostly from compost. Jordfabrikken's facility houses two large 125 m³ composting reactors. The reactors compost biological materials in a closed system that runs automatically with only the need for daily refilling. The composting process is controlled via optimization of raw material mixture, pre-setting of daily rotations and the amount of air injected and ventilated to and from the reactor. As part of start-up activities at the facility, NIBIO was engaged to provide professional advice on how the reactors should be controlled to achieve a sufficient compost temperature and to ensure that the final product was biologically stable. At the beginning of the project, the average temperature in reactor 1 and 2 was at a sub-optimal level of 44 ° C. The goal was to obtain high enough temperature in the range of 55-70 ° C for optimum composting and to meet hygiene requirements (14 days > 55 ° or 48 hours > 60 ° C). Raw materials used in the reactor were chipped garden waste, cardboard sludge, and granary waste. This mixture of raw materials gave a C:N ratio before composting was 29. Over a 6-month trial period, various changes were made to improve the composting process. Process variables that were manipulated in the course of the project included: halving fan power / O₂ supply, reduction in daily reactor revolutions. Extra nitrogen was added to the compost in the form of urea to accelerate decomposition. Granary waste was pre-sprouted a week in advance of composting to increase nitrogen availability from this material. The various interventions were tested in a step-by-step manner and temperatures monitored to analyse subsequent effects of each intervention. Combining the measures resulted in an increase in reactor temperatures from 44 ° C to 60-65 ° C at the end of the project in line with the target. Analysis of total temperature and O₂ data showed that the most significant factors contributing to increased temperatures were reduction in fan strength, and the use of freshly chipped garden waste where N content is more available. At the end of the experimental period, extra urea was added 10-15 kg per batch of garden waste, which provided an even better C:N for microbes, facilitated greater thermophilic microbial conditions and resulted in temperatures above 60 ° C. The chemical analyses showed that the final compost had a C:N ratio of between 16-18 and a low heavy metal content within class-o according to the Norwegian organic fertilizer regulations. Two germination experiments were carried out in the project that showed that no germinated seeds had survived the composting process. Sanitation parameters, including thermo-tolerant coliform bacteria, salmonella, and E. coli were below the Norwegian Food Safety Authority's limit values. This confirms that the temperatures were sufficient to meet hygiene requirements. Two different compost maturity tests (Solvita and Dewar) were performed and showed that the composting process was at an advanced stage, however at least one month of mesophilic temperature maturation would still be needed after the compost exits the reactor. The need for maturation is something that NIBIO recommends that Jordfabrikken consider going forward. In addition, it is encouraged to find a biological source of nitrogen (when needed) so that the end product is made from 100 % bioresources. This is more in line with the Jordfabrikken's goal of providing the market with an environmentally and climate friendly garden soil product.

1 Introduksjon

Jordfabrikken AS ble etablert i mai 2018 av Felleskjøpet Agri/Nordic Garden, Innherred Renovasjon og Ecopro. Selskapet skal i et pilotprosjekt drive kompostering og jordproduksjon basert på resirkulerte råvarer fra regional industri. Prøveproduksjonen foregår i et trommelkomposteringsanlegg i Skjørdalen, Verdal. Komposteringsreaktorene roterer sakte til en stabilisert kompost kommer ut etter ca. 14 dager. Ferdigvaren siktes og kjøres i container til Nordic Garden sitt anlegg på Namdalseid der varen skal pakkes i 40 L sekk for forbrukermarkedet. Produksjonen foregår i et nybygd pilotproduksjonsanlegg i Skjørdalen Miljøpark i Verdal. Basert på resultater av pilotanlegg vil Jordfabrikkens eiere vurdere investering i et storskala produksjonsanlegg.

Anlegget åpnet offisielt 2. mars 2019. Innovasjonsselskapet Proneo AS har vært prosjektleder gjennom planlegging og gjennomføring av etableringen av Jordfabrikken. Etableringen er en del av en regional næringsmessig satsing på sirkulærøkonomi, hvor Trøndelag fylke, regional industri innen avfallssektoren og industriklyngen «Industrinavet» i Trøndelag deltar.

Råvarer er hageavfall fra Innherred Renovasjons miljøtorg, kornavrens fra Felleskjøpet og fiberslam fra MM Karton, Follafooss. Råvarene mates inn i to separate tromler på 125 kubikkmeter. Råstoffblandingen brukt i hver batch inkludere kornavrens, pappslam, og hageavfall. På sikt planlegges også bruk av biorest fra Ecopro.



Figur 1. (til venstre) Fiberslam fra MM Karton, (til høyre) kornavrens fra Felleskjøpet



Figur 2. Hageavfall fra Innherred Renovasjon

Produksjon av kompost med nevnte råstoffblanding hadde ikke ført til en tilstrekkelig temperaturutvikling i reaktorene i de første måneder av driften i 2019, og lå på 44 °C ved prosjektstart. Blandinger hadde behov for mer nitrogen for å balansere karbon innholdet. Ut fra eksisterende kunnskap for optimal kompostering bør C/N-forholdet i startblandingen ligge rundt 25, mens blandingene her var på ca. 30. Ideelt burde oksygenivået i reaktorens headspace være 5 - 15 %, og ideell temperatur inne i massen som komposteres 60 – 65 °C. For å sikre tilstrekkelig temperaturer for å imøtekomme hygieniseringskravene har VKM (2011) referert til Tyskland og USA som har veiledning for temperaturer i trommelreaktorer. Etter tyske retningslinjer skal komposteringen ha en oppholdstid i minst 10 døgn ved en temperatur på minst 55 °C, og med en varmesone hvor temperaturen er minst 65 °C i minst 48 timer. Reaktorkomposteringen er en aktiv nedbrytingsfase og materialet burde ettermodnes i minst 1 måned med minst én vending av haugene, i henhold til tyske retningslinjer. I USA er det nok å ha 55 °C i minst 3 døgn ved reaktorkompostering for å dokumentere at hygieniseringskravene er overholdt.

2 Mål

Prosjekt målet var å skaffe forbedret kunnskap og styring over innsatsfaktorer som sørget for ønsket kompostkvalitet fra Jordfabrikken sine trommelkomposteringsreaktorer.

2.1 Delmålene

1. Analyse og optimalisering av råstoffvalg
2. Optimalisering av komposteringsprosessen gjennom blandingsforhold, O₂-tilførsel, partikkel størrelse og hastighet på rotasjon av trommelen
3. Sporing av kilde til tungmetaller i ferdig kompost og anbefalinger for reduksjon
4. Anbefalinger for råstoffblandinger og prosess-styring, og forslag til videre arbeid med for- og etterbehandling av råstoff og kompost for å forbedre prosessstabilitet og produktkvalitet

3 Metode og materialer

Prosjektet startet med en befaring av anlegg fra NIBIO-forskerne Ove Bergersen og Adam O'Toole. NIBIO ble gitt tilgang til rådata (temperatur, O₂, daglig omdreining) som er tilgjengelig fra anleggets datasystem. Metoden vi brukte for å optimalisere driften var trinnvis endring av styringsparametere (omdreining, kompostoppskrift), og tilsetning av ekstra nitrogen i form a urea i forkant av kompostering. Disse tiltak var innført en gangen for minst en uke så at en tilstrekkelig temperatur respons fra tiltaket kunne observeres i reaktorene. Dette ble gjort over en 6-måneders periode, og temperaturrespons observert over samme tidsperiode for å se om tiltakene hadde lyktes. Målet var å få opp gjennomsnittstemperatur til mellom 55-70 °C og at temperaturen skulle holde seg relativt stabilt innenfor det temperaturområdet over tid. Oppholdstiden til råstoffet i reaktorene ble estimert ved å registrere hvor langt tid det tok for unedbrytbare fremmedlegemer (legoklosser) å gå gjennom reaktoren. Spireforsøk var utført 2 ganger ved Mære landbruksskoles drivhus for å se om komposttemperaturene var tilstrekkelig for å drepe ugressfrø i en råstoffmiks. Prøver av ferdig kompost (før ettermodning) ble sendt til NMBU (IHA) sin lab og Eurofins for kjemisk analyse av plantetilgjengelige næringsstoffer, C:N forhold, pH, og evt. innhold av tungmetaller. I tillegg ble stabiliteten av komposten målt (Solvita test og selvoppvarmingstest) etter 14 dager i reaktorene. Hygienisering av komposten ble undersøkt av Eurofins. Eurofins analyserte komposten for ulike patogene mikroorganismer, termotolerante koliforme, koliforme og salmonella i hht. intern metode basert på NS 4714. En selvoppvarmingstest (Dewar test) ble også utført av NIBIO på siste batch med 15 kg urea på slutten av prosjektet over minimum 15 dager. Prøven ble fuktet opp med vann etter en prosedyre beskrevet av Hösel m.fl (1995).

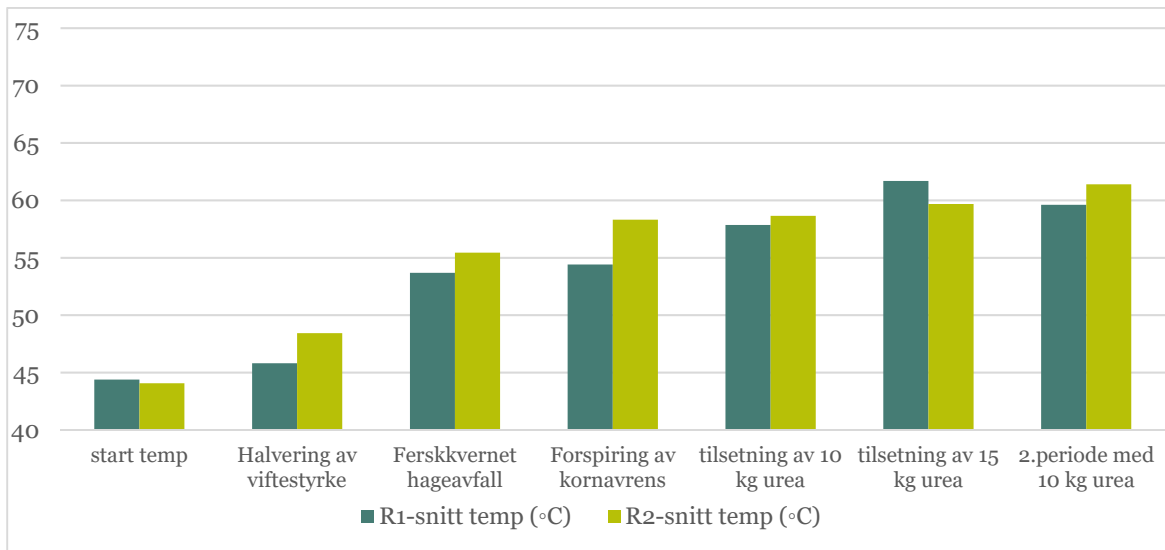
4 Resultater

Hovedresultatet var at med en kombinasjon av tiltak lyktes vi å øke gjennomsnittstemperaturen i reaktorene med ca. 18 °C, fra 44 °C i starten til 59-62 °C på slutten av prosjektet (Fig. 3 og Fig.4). De tiltakene som var mest avgjørende for temperaturstigningen vises i Fig. 5. Tilgang til ferskkvernet hageavfall var mest avgjørende. Det kan forklares ved at hageavfall er hovedingrediens i blandingene, og økninger i N-innhold i denne delen av blandingen vil ha en sterk påvirkning på C: N forhold i komposten. Ekstra tilsetning av nitrogen og moderat bruk av trykkluftventilasjon var også viktige tiltak for å få opp temperaturene og få til mer omdanning av komposten innen 14 dager.

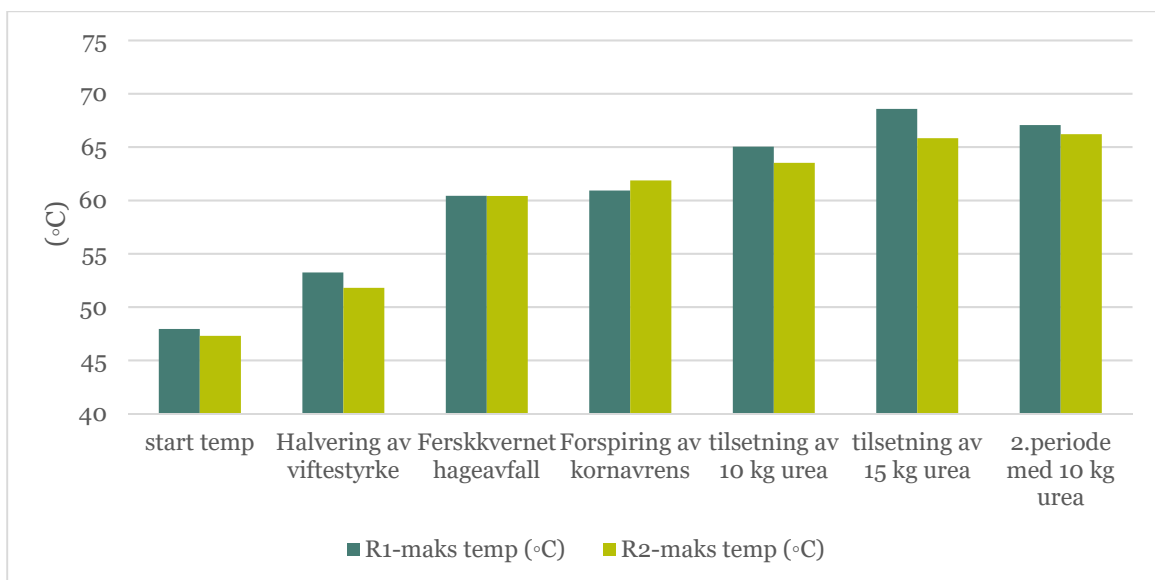
En oppsummering av forsøkene, ulike tiltak og oppnådde resultater i forsøksperioden er oppsummert i Tabell 1.

Tabell 1. Sammendrag av tiltak, forventete og oppnådd resultater

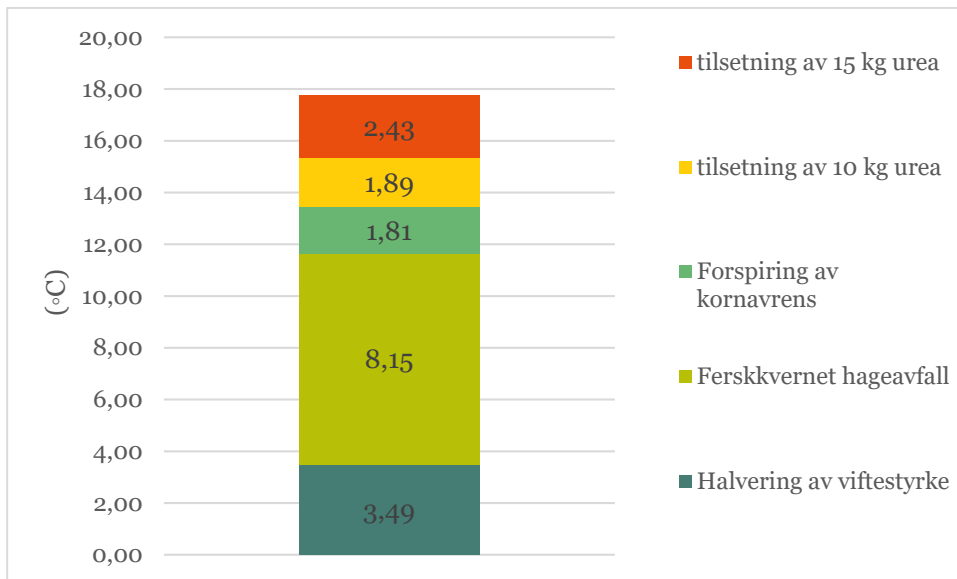
Dato	Tiltak	Forventet Resultat	Oppnådd Resultat
20.09.2019	Redusert viftestyrke i Reaktor 2. Uendret vifte til Reaktor 1	Økt temperatur i massen når man reduserer nedkjølings effekt fra kraftig ventilasjon	Økt temperatur med ca. 3,5 °C
23.09.2019	Ferskt kvernet hageavfall tatt i bruk	Økt N-innhold, temperaturer, og omdanning	Økt temperatur ytterlige med ca. 8 °C
29.09.2019	Forspiring av kornavrens ved å forblende med fuktig hage/park ute (blandet først 23.09)	Økt tilgjengelighet av Nitrogen fra spiret korn, mer omdanning og lavere C:N i sluttprodukt	Økt temperaturer ytterlige med ca. 2 °C
09.10.2019	Redusert viftestyrke ytterlige i Reaktor 1 og R2	Økt temperatur i massen når man reduserer nedkjølings- effekt fra kraftig ventilasjon	Reduksjon til gir fortsatt nok O2 (5-15 %)
26.11.2019	Nytt tiltak med redusert omdreininger av begge reaktorene per døgn	Øke oppholdstid, mer omdannet masse, mindre ettermodning	Gjennomløpstest med lego og treklosser tilsatt til reaktoren visste at oppholds tid var mellom 17-23 dager
26.11.2019	Tilsetning av urea til hver råstoff blanding i forkant av kompostering	Økt omdanning med lavere C:N	Økt temperatur ytterlige med ca. 2 °C
26.11.2019	Gjenvinning av en del av avsugsluft i Reaktor 2	Utnytte varme og NH ₃ i avsugsluften. Mer stabile temperaturer	Avsugsgjenvinning hadde ikke et betydelig effekt på temperaturen i massen, men førte til mer homogen temperaturer i headspace. Overalt var ikke vesentlig til prosessen.
06.02.2020	Tilsetning av enda mer urea til hver råstoff blanding i forkant av kompostering	Ytterlige økt omdanning med lavere C:N Temperatur økning økt mikrobiell aktivitet i reaktor	Økt temperaturer ytterlige med 2.5 °C sammenlignet med mindre mengde urea Visuelt så var kompost mer omdannet, med mindre synlig kornskall
18.03.2020	Dobbeltsolding av sluttprodukt	Seperasjon av finfraksjon som var mer omdannet og klar til ettermodning og salg	På lav hastighet kom det et produkt med veldig god finfraksjon



Figur 3. Gjennomsnittstemperaturer i reaktor 1 (R1) og reaktor 2 (R2) etter innføring av ulike tiltak i løpet av forsøksperioden



Figur 4. Maksimum temperaturer i reaktor 1 (R1) og reaktor 2 (R2) etter innføring av ulike tiltak i løpet av forsøksperioden



Figur 5. Temperaturøkning i reaktor knyttet til ulike tiltak igangsatt under forsøksperioden

4.1 Trinn 1 – Øke tilgjengelighet av nitrogen i Kornavrens



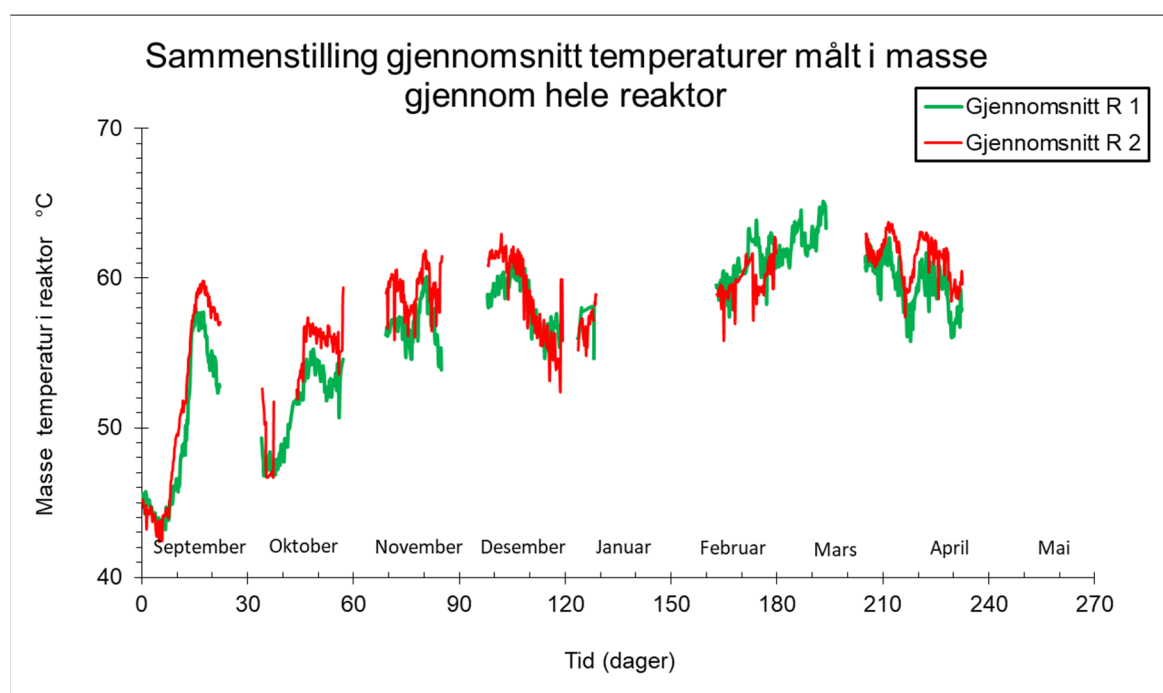
Figur 6. Forspiring av kornavrens kan øke tilgjengelighet av N i komposteringsprosessen

Tabell 2. Kjemiske egenskaper til råstoff og råstoffblandingen

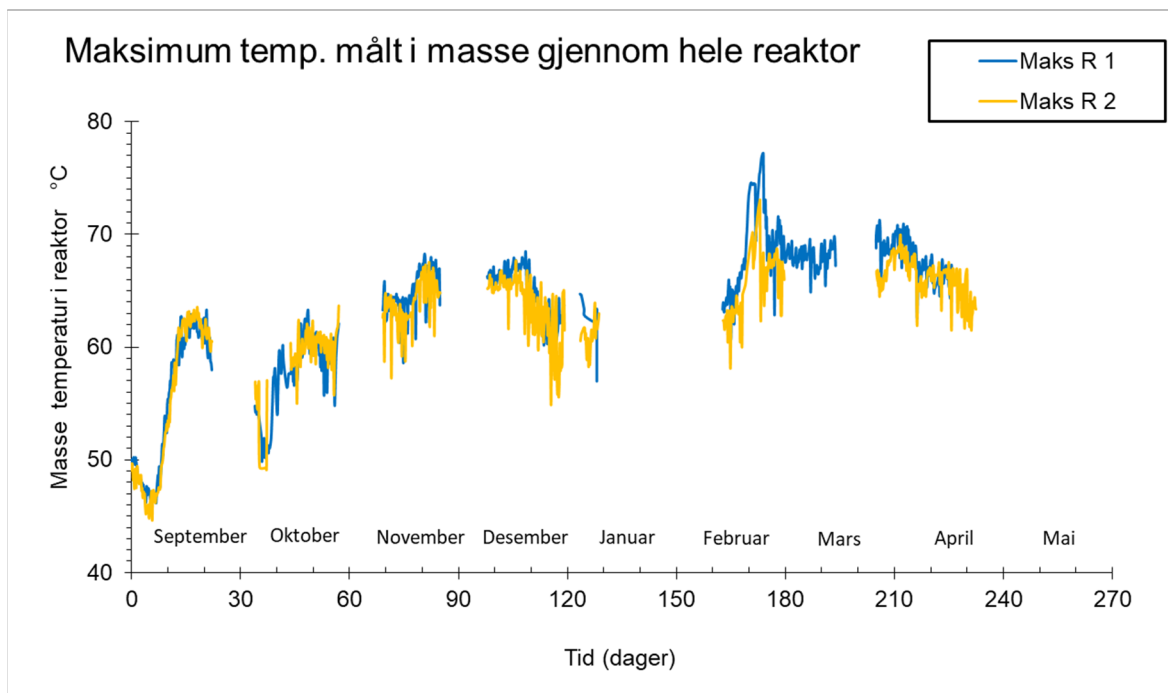
Substat inn	Tørrstoff		Tot. N		Tot. C		Total S		C/N		pH		Ledn.evne	
	TS %		%		%		%		forhold				mS/m	
	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV
28.09 Kornavfall	84.8	0.04	2.97	0.27	43.17	2.67	0.17	0.03	14.6	1.16	5.4	0.02	62.7	0.6
28.09 Pappslam	27.3	0.19	1.59	0.03	47.86	0.13	0.46	0.02	30.2	0.68	7.1	0.12	61.1	7.55
28.09 Hage park	67.2	1.15	0.60	0.07	20.38	4.66	0.09	0.02	31.7	4.23	7.0	0.10	32.5	12.08
16.10. Ny Mix inn	51.6	0.1	1.31	0.05	38.37	1.79	0.11	0.02	29.4	0.8	5.7	0.01	57.0	0.2

Tabell 3. Kjemisk egenskaper etter 10-14 dager med reaktorkompostering

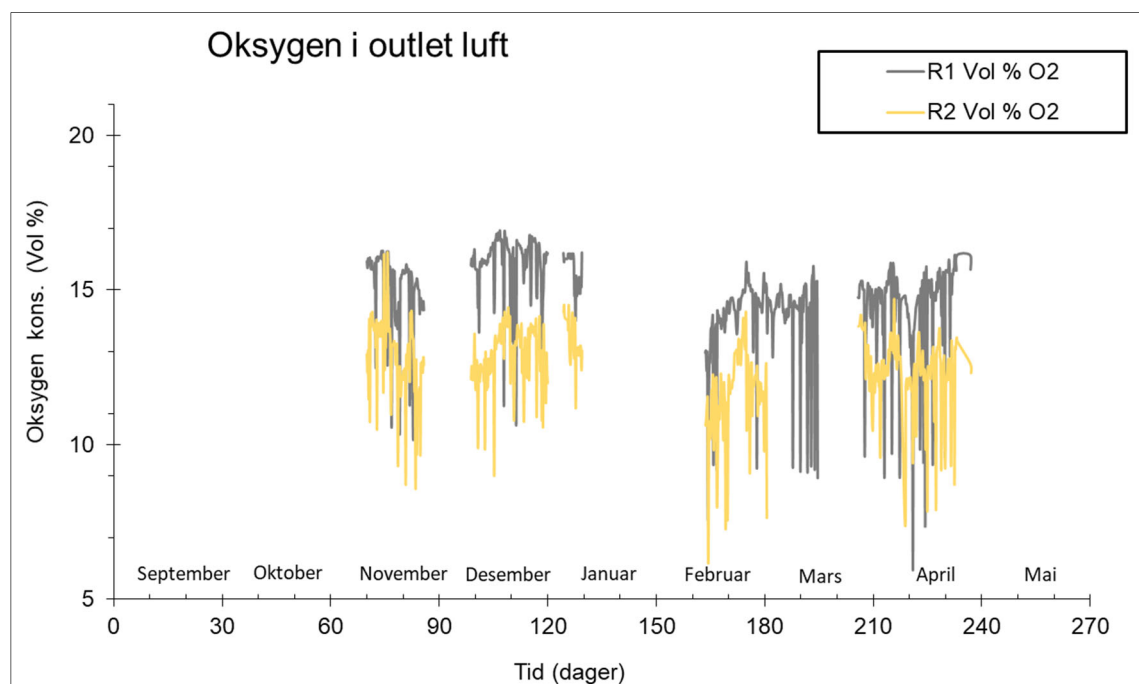
Substat ut	Tørrstoff		Tot. N		Tot. C		Total S		C/N		pH		Ledn.evne	
	TS %		%		%		%		forhold				mS/m	
	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV	Gj. snitt	STDEV
28.09 Kompost ut R2	56.3	1.03	1.26	0.05	31.24	1.72	0.16	0.01	24.9	1.74	7.0	0.12	63.0	1.80
09.10. Kompost ut R1	50.6	2.4	1.35	0.15	37.95	3.57	0.14	0.01	28.1	1.0	6.9	0.02	48.5	0.7
16.10. Kompost ut R1	51.8	0.1	1.26	0.01	36.74	2.92	0.14	0.01	29.2	2.1	6.8	0.09	50.9	0.5
16.10 Kompost ut R2	49.3	0.2	1.37	0.05	36.35	1.59	0.20	0.09	26.5	1.3	7.0	0.01	33.2	0.8
Kompost ut 10 kg urea	48.5		1.4		22				16		6.9		93.6	
Kompost ut 15 kg urea	36.7		1.7		30				18		8.6		72.9	



Figur 7. Gjennomsnitt temperaturmålinger i Reaktor 1 (R1) og 2 (R2) over hele forsøks periode



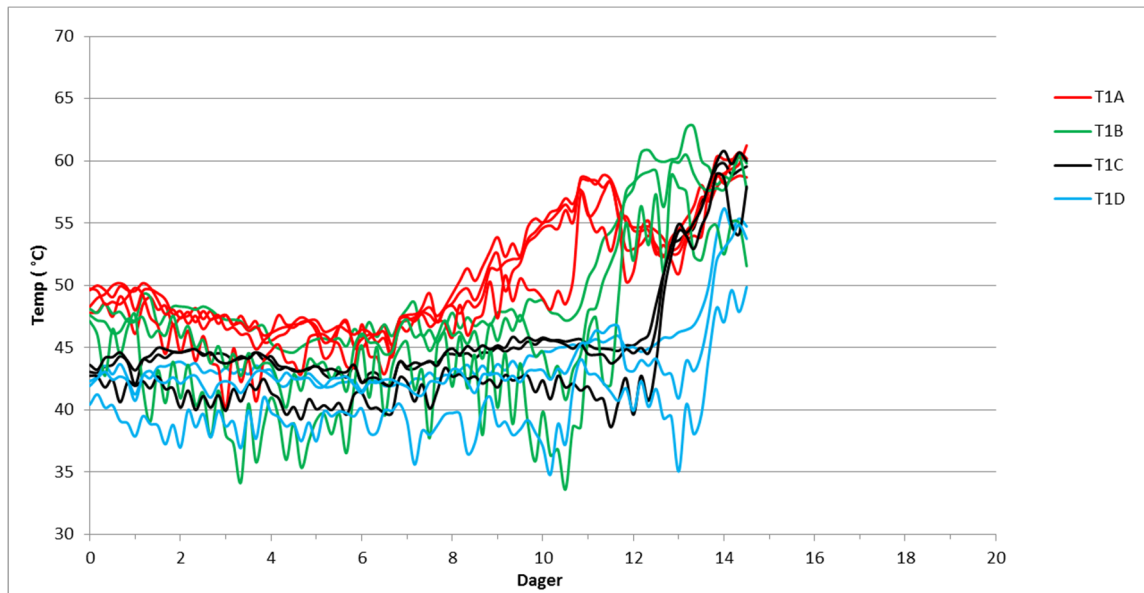
Figur 8. Maksimumstemperaturmålinger i Reaktor 1 (R1) og 2 (R2) over hele forsøksperiode



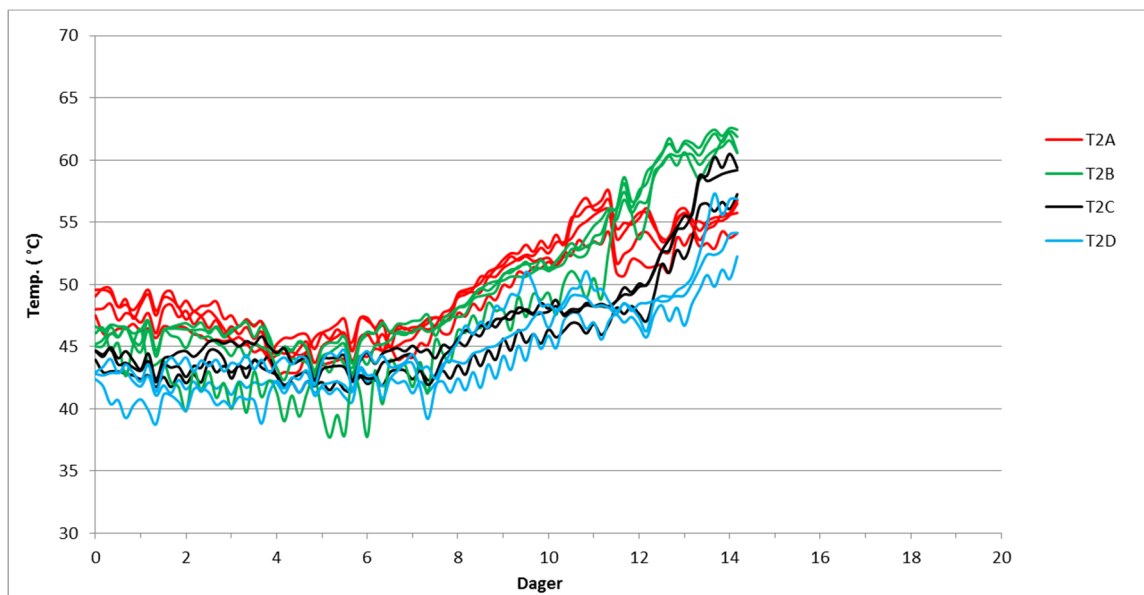
Figur 9. Oksygen (%-innhold) i eksos luft gjennom forsøksperioden

4.2 Trinn 2 - Justering av ventilasjon styrke

Temperaturøkning i alle ledd av reaktor umiddelbart etter dag 9, viser at ventilasjonen var for høy og prosessen mistet energi i form av varme, som igjen gir lavere nedbrytingsrate. Høyest nedbrytingsrate er vist å ligge på 62 °C.



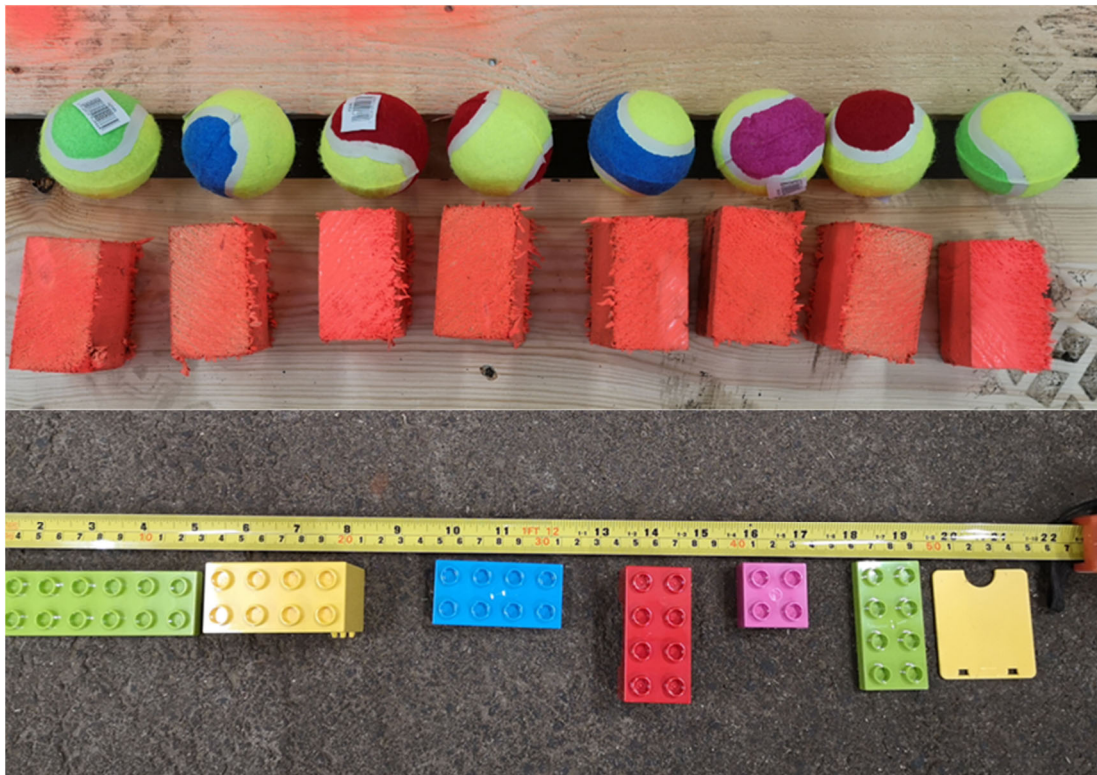
Figur 10. Temperaturøkning med ferskvernet hageavfall men med høy variasjon i temperatur i reaktor 1 på starten av prosjektet med full vifte styrke



Figur 11. Temperatur økning i reaktor-2 med innsetting av ferskvernet hageavfall men med mindre temperatur variasjon pga. en 50% reduksjon i vifte styrke.

4.3 Trinn 3 – Oversikt over oppholdstid

Det var tidlig i prosjektet klart at vi trengte et bedre estimat på massens oppholdstid i trommelen. Oppholdstiden vil være avgjørende for modenhet på ferdigvare, og kan styres ved justering av antall omdreininger på trommel pr døgn, og på fyllingsgrad i trommel. Estimert optimal oppholdstid i trommel er 14 dager – oppgitt av leverandør GGE AS.



Figur 12. (øverst) Test 1 og (nederst) Test 2 for gjennomløpstid for kompost i reaktorene.

Det ble gjort to forsøk på å måle gjennomløpstid.

Test 1: Objektene ble sluppet inn sammen med fylling av råvare, og registrert ut ved solding av ferdigvare. Ved første forsøk brukte vi 8 runde tennisballer og 8 kantete objekter. Resultatet her var at vi fikk ut det første objektet etter 17 dager, og de resterende i løpet av ytterligere en uke. Konklusjonen var at de valgte objektene ikke nødvendigvis oppførte seg som resten av massen, og kunne ha beveget seg saktere igjennom reaktoren enn mindre objekter.

Test 2: Vi gikk over til å bruke Lego-klosser i varierende størrelse. Observert gjennomløpstid her var 8 – 16 dager. Dette var mer i samsvar med våre forventninger, men noe under den ønskelige tid.

4.4 Trinn 4 – Redusere daglig rotasjoner fra 4-3 for å øke oppholdstid (fra november)

Det er to metoder for å øke oppholdstid i reaktoren. Det første er reduksjon av daglig omdreininger (Fig. 13). I prosjektet var det redusert fra 4 per dag til 3. Mindre volum inn i reaktorene per dag vil også øke oppholdstidene inne i reaktoren som fører til mer omdannet kompost med mindre behov for lang ettermodning og arealkrav.



Figur 13. Jordfabrikkens komposteringsreaktor med automatisert omdreining

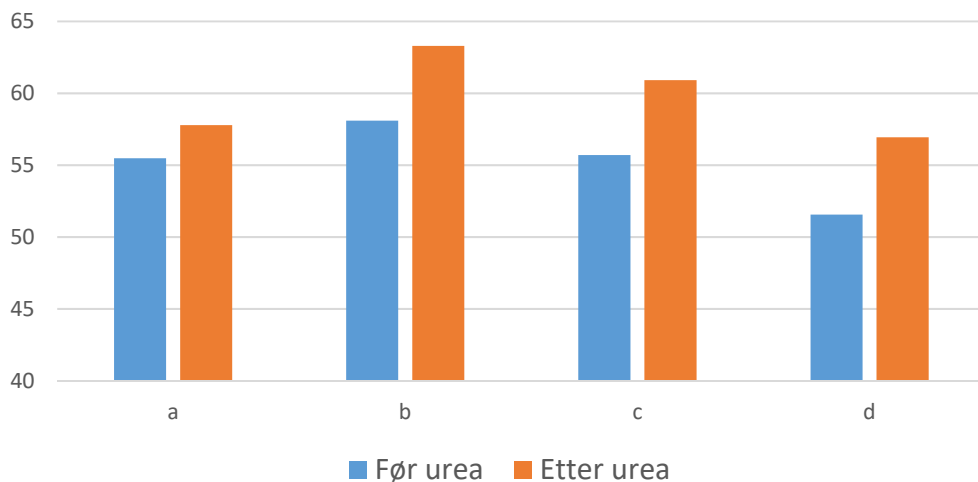
4.5 Trinn 5 – Øke N innhold ytterligere ved tilsetning av urea

Det var tydelig ut fra råstoffanalyse og C:N forhold at det var behov for ytterligere tilsetning av nitrogen utover det som er allerede var i råstoffblandingen. Temperaturøkning ble registrert på kort tid, innen en uke.

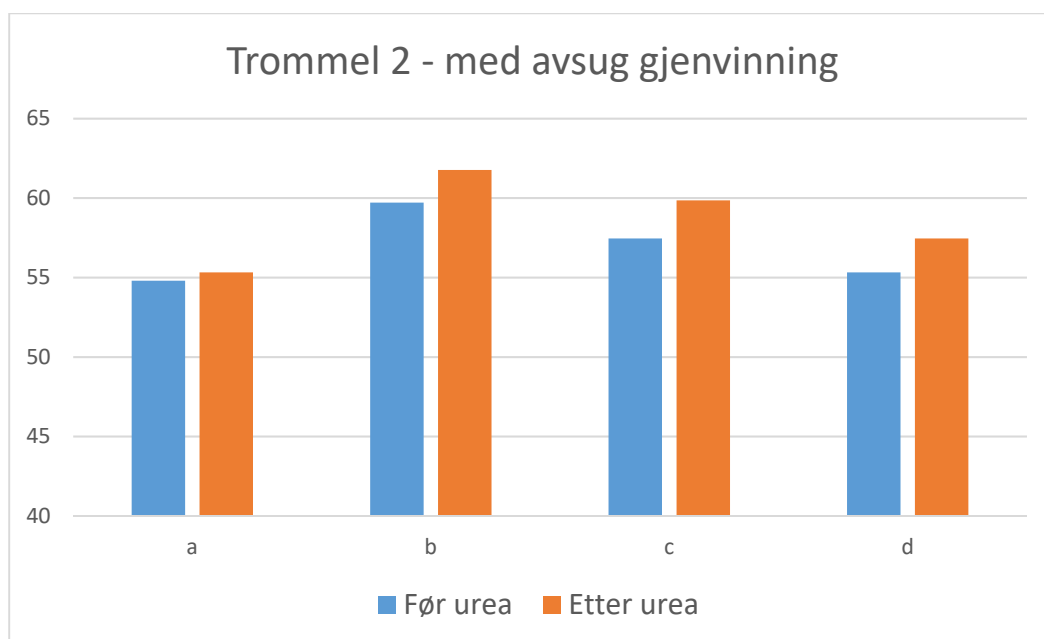
4.5.1 Resultater etter tilsetning av 10 kg urea

- C:N i ferdig produkt på 16 er en stor forbedring, men ikke helt moden enda.
- Temperaturøkning ble observert i den første perioden når 10 kg urea ble tilsatt (ca. 5 °C i T1, og 2 °C i T2), etterfulgt av reduksjon i temperaturen i begge reaktorer i desember (årsak ukjent).
- Avsugsgjenvinning (gjenvinning av utluft) førte ikke til at temperaturen økte vesentlig i R2 sammenlignet med R1. I stedet sank Vol % av O₂ i headspace som igjen tilsier noe lavere oksygenkonsentrasjon inne i massen. Dette kan redusere respirasjonsaktiviteten til mikroorganismene som skal bryte ned materialet til kompost.
- Gjennomsnitt i Vol % O₂ ble beregnet til ca 15 % i R1 og 12.5 % i R2 med resirkulert luft

Trommel 1 - uten avsug gjenvinning



Figur 14. Temperaturutvikling langs T1- reaktoren (a-d) før og etter ureatilsetning uten avsug/gjenvinning



Figur 15. Temperaturutvikling langs T2- reaktoren (a-d) før og etter ureatilsetning med avsugsgjenvinning

Det var lite mereffekt av avsugsgjenvinning i Trommel 2 sammenlignet med Trommel 1 over samme periode (Fig. 14 og 15)

Resultater etter tilsetning av 15 kg urea

Økning av urea i feb/mars til 15 kg økte reaktortemperaturene ytterlige sammenlignet med 10 kg (Nov, Des, April, Mai) (Fig. 6 og 7). I tillegg virket det som kornavrens var mer omdannet og lite synlig sammenlignet med kun 10 kg urea. Ammonium/Nitrat forholdet var også mye lavere etter 15 kg urea sammenlignet med 10 kg, som også er et tegn på kompostens modenhet (Tabell. 4).

Tabell 4. Kjemisk analyse av kompost etter tilsetning av 10 eller 15 kg urea i startblanding

PARAMETER	ENHET	Kompost	Kompost	Gjødselvare klasse
		Hage / park Trommel 10 kg urea 2020	Hage / park Trommel 15 kg urea 2020	
Analysert				
Tørrstoff	%	48.5	36.7	
pH		6.9	8.6	
Ledningsevne	mS/m	93.6	72.9	
Makronæringsstoffer				
Fosfor (P-AL)	g/100g TS	0.069	0.12	
Kalium (K-AL)	g/100g TS	0.55	0.48	
Magnesium (Mg-AL)	g/100g TS	0.12	0.11	
Natrium (Na- AL)	g/100g TS	0.094	0.13	
Svovel	mg/kg TS	1800	2000	
Bor	mg/kg TS	8.0	15.0	
Total Fosfor (P)	g/100g TS	0.17	0.18	
Totalt organisk karbon (TOC)	% TS	22	30	
Total N (Kjeldahl)	g/100g TS	1.4	1.7	
Nitrat -N (2 M KCL)	g/100g TS	0.0004	0.0078	
Ammonium-N (2 M KCL)	g/100g TS	0.11	0.0078	
C/N		16	18	
Mikronæringsstoffer & Metaller				
Kalsium (Ca- AL)	g/100g TS	0.61	0.73	
Jern	mg/kg TS	8800	6500	
Aluminium	mg/kg TS	4300	2500	
Mangan	mg/kg TS	250	250.0	
Molybden	mg/kg TS	< 2.0	2.9	
Kobolt	mg/kg TS	5.5	3.4	
Sink	mg/kg TS	100	120	0
Kobber	mg/kg TS	18	23	0
Arsen	mg/kg TS			
Kadmium	mg/kg TS	0.24	0.33	0
Krom	mg/kg TS	14	9.0	0
Bly	mg/kg TS	4.9	4.4	0
Kvikksølv	mg/kg TS	0.036	0.035	0
Nikkel	mg/kg TS	10	7.1	0

* AL = Analyse som gir info om Plantetilgjengelighet

4.6 Tungmetallinnhold

Tabell 5. Grenseverdier for tungmetaller i organiske gjødselvarer

		Kvalitetsklasse			
		0	1	2	3
Nye grenseverdier Mars 2018					
Arsen	mg/kg TS	5	8	16	32
Kadmium	mg/kg TS	0.4	0.8	2	5
Krom	mg/kg TS	50	70	100	150
Kobber	mg/kg TS	50	150	650	1000
Bly	mg/kg TS	40	60	80	200
Sink	mg/kg TS	150	400	800	1500
Kvikksølv	mg/kg TS	0.2	0.6	3	5
Nikkel	mg/kg TS	20	30	50	80

Jordfabrikkens kompost var under grenseverdiene beskrevet for kvalitetsklasse 0, og er derfor av høyeste kvalitet i forhold til tungmetallinnhold.

Tabell 6. Hygiene parameter etter ulike ureamengde tilsetning

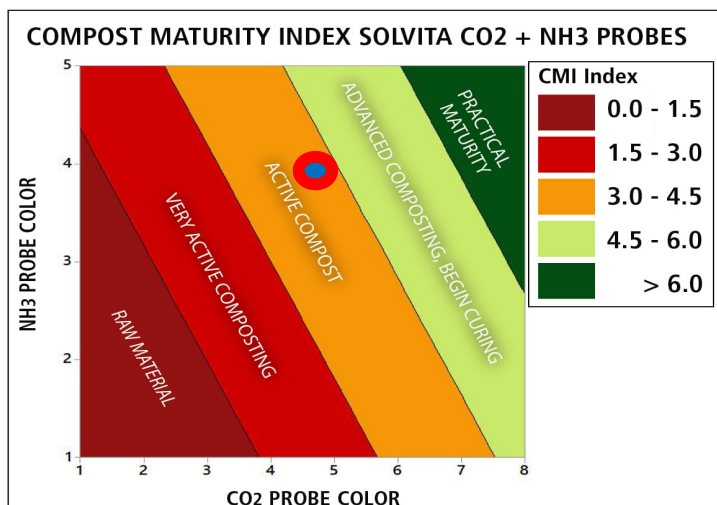
		Etter 10 kg urea	Etter 15 kg urea
Salmonella		Ikke påvist	Ikke påvist
Termotolerante koliforme	MPN/g	20	<20
E. coli	MPN/g		40

Hygieniseringskrav i kompost etter EC no. 1744/2002: Krav til godkjenning er at bakterietall av Escherichia coli kan ikke være over 5000 per 1 g kompost. Eller at terskelverdien i samtlige 5 prøver ikke overstiger 1000 per 1 g kompost. En prøve kan ha mellom 1000 til 5000 per g kompost i de resterende prøver. Krav til Salmonella skal være 0 per 25 g kompost.

Tabell 7. Fysiske Parameter for kompost etter tilsetning av ulike mengder urea

		Etter 10 kg urea	Etter 15 kg urea
Egenvekt	Kg/m ³	400	450
Fremmedlegemer (plast, glass, metal, annet)	g/100 g	0	0

4.7 Kompost modenhet



Figur 16. Resultater av Solvita tester (blå og rød prikk) viser modenhetsgraden av Jordfabrikkens kompost etter tilsetning av 10 kg urea og 14 dagers oppholdstid i komposttrommelen.

Kompost Modenhets Indeks (CMI) som vises i Fig. 15 kan tolkes slik:

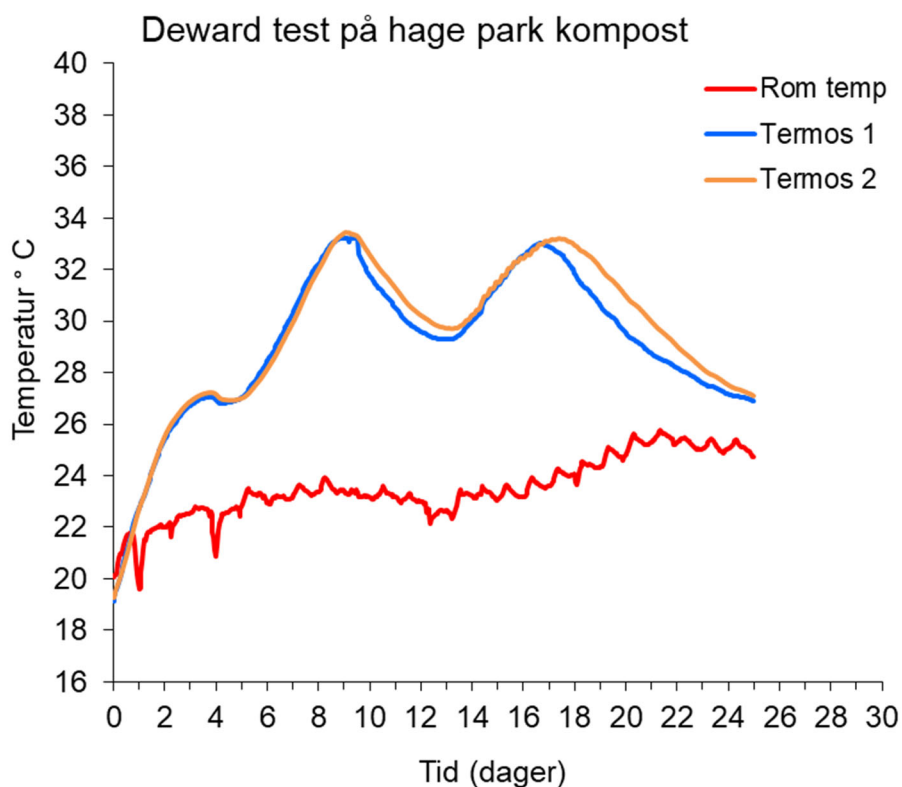
- 1-2 er rå kompost
- 3-6 er aktiv kompost
- 7-8 er ferdig kompost

Etter tilsetning av 10 kg urea og 14 dagers opphold i reaktoren var komposten godt på vei, men fortsatt i en aktiv fase (Fig. 16).

4.7.1 Kompostens modenhet etter tilsetning av 15 kg urea

NIBIO utførte en selvoppvarmingstest på kompost etter 15 mm solding over 26 dager. Komposten har rottningsgrad IV, men er ikke langt fra V, ferdig kompost (se skala i Tabell 8). Temperaturen steg til 27 °C etter 3 dager og så ut til å flate ut, men steg ytterligere til 33,5 °C mellom 5 og 9 dager (Fig.17).

Komposten hadde en temperaturoppgang (selvoppvarming) fra 19 til maks 33,5 °C etter 9 dager, deretter sank temperaturen, men steg til 33°C ved dag 17 før den sank ned til 27 °C ved dag 25. Det er 2 grader over romtemperatur som lå på 25 °C. Dewar-testen utføres vanligvis i 15 dager.



Figur 17. Selvoppvarmingsgrad av Jordfabrikken-kompost med 15 kg urea og 15 mm solding

Tabell 8. Rotningsgrad (Dewar skala) stabilitetsskala (Hösel m.fl. 1995)

Skala	Max. Temp. spenn °C	Kompostkvalitet
I	>60	Råkompost – ikke stabil
II	50-60	Råkompost – ikke stabil
III	40-50	Råkompost – ustabil med selvoppvarming
IV	30-40	Nesten ferdig kompost – noe oppvarming
V	20-30	Ferdig kompost og stabil

Kompost etter solding til 15 mm ser velomdannet ut, med mørkebrun farge og en kornstørrelse som er egnet for bruk i et hagejordprodukt. Prøver tatt rett etter solding var fortsatt varme, og bekreftet resultatet fra Dewar-testen som indikerte at det fortsatt er behov for ettermodning noen uker etter opphold i trommelen, så at temperaturene kommer ned under 30 grader in slik test. Etter en måneds ettermodning (Fig. 17) er produktet av en kvalitet i forhold til farge, konsistens, og masstemperatur som gjør at den egner seg til videre pakking i sekker.



Figur 18. Jordfabrikken-kompost etter 1 måneds ettermodning (Foto: Adam O'Toole)

4.8 Spiringstest

Det ble utført to spiringstester i prosjektet for å se om det var spiredyktig frø igjen etter kompostering.

Den første testen ble utført på starten av prosjektet før noen tiltak var satt i gang (Fig. 19/venstre).

Den andre spiretesten ble utført i feb/mars etter at 15 kg urea var tilsatt i hver komposteringsperiode (Fig.19/høyre)). Spiretestene ble utført i drivhus på Mære landbruksskole ved en temperatur mellom 15-20 grader over 1 måned. Det var ingen tegn til selvspiring fra de to testene.



Figur 19. Spiretest ved starten av prosjekt i Aug. 2019 (til venstre) og ved slutten av prosjektet feb/mars 2020 (til høyre).

5 Konklusjoner og anbefalinger

Behov for ettermodning - Selvpoppvarmingstester og Solvita-tester bekrefter at komposten er kommet langt i omsetningsprosessen, men fortsatt trenger noen uker med ettermodning.

Viftestyrke – 25 % av maks vifteeffekt virker tilstrekkelig for ventilering og O₂-tilførsel

Reaktoromdreininger per dag – Nyere temp. målinger i april-mai 2020 viser mer stabil temperatur mellom 55-66 °C i begge reaktorene etter at antall daglige omdreininger ble redusert, og urea ga en høyere nedbrytingsrate, vist ved større varmeutvikling.

Råstoffmiks og C:N forhold – Man burde sikte slik at man oppnår et C:N-forhold på ca. 25 i råstoffmiks, noe som vil gi et C:N-forhold på mellom 15-20 for sluttproduktet. Dette vil gi en kompost som omdannes raskere og trenger mindre ettermodning. Ut fra nåværende råstoffblanding med hageavfall, kornavrens, og pappslam er det behov for en del tilsatt urea per batch. Dette kan trolig nedjusteres sommer/høst når det er større andel ferskt hageavfallet med høyere nitrogeninnhold. På sikt vil det være ønskelig å erstatte bruk av mineralgjødning med husdyrgjødsel eller rein bioest slik at produktet er laget av 100 % biologiske materialer, og for å holde kostnader nede (innkjøp av urea). Ut fra de 2 kjemiske analysene som ble utført på kompost fra reaktorene registrerte vi ikke videre reduksjon i C:N forhold når vi økte ureamengden. Likevel var inntrykket visuelt at materialet var mer omdannet med høyere mengde urea enn med lavere mengde urea, og at skall fra kornavrensen var mindre synlig.

Forspiring – Det vil være en fordel å fortsette med forspiring av kornavrens, ved å blande dette med fuktig hageavfall en uke før kompostering. Dette vil bidra til å frigjøre mer nitrogen fra kornavrens, og gjøre nedbrytning av skall lettere.

Gjenvinning av avsugluft – Så lenge reaktorene får oppvarmet luft fra hallen reaktorene står i har avsugsgjenvinning viste liten effekt. Muligens kan gjenvinning av avsugluft benyttes til å forvarme substratet som skal gå inn i reaktorene ved behov under kalde vinterforhold.

Tiltak mot selvantenning og brann av lagret masse utenfor bygning - Vi anbefaler at dere ikke etablerer store ranker av aktiv kompost under tak bak plashallen pga. brannfare. Hvis dere likevel må lage større ranker bør de snus jevnlig for å slippe varmen ut og bryte opp anaerobe soner. Anaerobe soner kan oppstå i kompostranker større enn 1 m. Kompostbrann kan oppstå der det er ujevn fukt i ranken, og fuktnivået er vanskelig å kontrollere når haugen er stor og vendes for lite. Temperaturer over 80 °C kan være nok for selvantenning. Store ranker er mer selvisolerende og mikrobiell aktivitet kan gi høye temperaturer, men også surgjøring av komposten med mer lukt, noe som vil gjøre at den ikke lar seg pakke i poser for salg.

Referanser

Hösel, G., Schenkel, W., Schnurer, H., 1995. Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost. LAGA-Landerarbeits gemeinschaft Abfall. LAGA-MERKBLATT M10, In: Mullhandbuch, Vol. 4, No. 6856. Erich Schmidt Verlag, Berlin, Germany, pp. 1–52.

Vitenskapskomiteen for mat og miljø (2011). Vurdering av mikrobielle indikatorer for hygieniserte gjødselvarer mv. av organisk opphav. ISBN 978-82-8259-017-4. Tilgjengelig online fra: mattilsynet.no

Nøkkelord:	Kompostering, compost, torvfrijord
Key words:	Composting, compost, peat-free garden soil]
Andre aktuelle publikasjoner fra prosjekt:	[Sett inn tekst]

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.