



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Modellering av temperaturutvikling i store kompostranker før og etter vending hos Maarud 2022 – Delrapport 2

NIBIO RAPPORT | VOL. 8 | NR. 69 | 2022



TITTEL/TITLE

Modellering av temperaturutvikling i store kompostranker før og etter vending hos Maarud 2022 – Delrapport 2

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen & Elling Ødegaard

DATO/DATE:	RAPPORT NR	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
16.05.2022	8/69/2022	Åpen	52224	20/01251
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER	ANTALL VEDLEGG	
978-82-17-03076-8	2464-1162	19		

OPPDRAKSGIVER/EMPLOYER:

Maarud Disenå

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Elling Ødegaard

STIKKORD/KEYWORDS:

Kompostering, storskala rankekompostering
Modellering av temperatur utvikling i kompost

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Kompostering
Sirkulær økonomi

SUMMARY:

A test pile with 22 temperature sensors was set up to measure and model the temperature development in the compost pile at Maarud. The hygienization time requiring temperatures above 55°C in the pile is expected to be 45-50 days with 2 turns. During periods of several days, the temperature is higher than 55-60°C both at the outer edge and closer to the bottom of the pile. Several twists and turns of the pile ensure that the material that has been broken down to varying degrees is re-mixed and the pile gets a new upsurge in temperature

The experiment also showed that premature turning can interfere with temperature development in the pile and that enough structure and warm compost in the mixed waste have a good effect on temperature development and hygienization of the waste from the factory.

Sammendrag:

Det ble lagt opp en testranke med 22 temperatursensorer for å måle og modellere temperaturutviklingen i kompostrankene hos Maarud. Hygieniserings tiden som krever temperaturer over 55°C i ranken er forventet å være 45-50 dager med 2 vendinger. Temperaturen er i perioder over flere dager høyere enn 55-60°C både i ytterkant og nærmere bunnen av ranka. Flere vendinger av ranka sikrer at materialet som er brutt ned i ulik grad blandes på nytt og ranken får oppsving i temperaturen.

Forsøket viste også at for tidlig vending kan forstyrre temperaturutviklingen i ranken og at nok struktur og varm kompost i blandet avfallet gir god effekt på temperaturutvikling og hygienisering av avfallet fra fabrikken.

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

LAND/COUNTRY: Norway
FYLKE/COUNTY: Innlandet
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Sør-Odal
STED/LOKALITET: Disenå

GODKJENT /APPROVED



NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



NAVN/NAME



Innhold

1	Introduksjon	5
1.1	Bakgrunn.....	5
2	Materiale og metoder	6
2.1	Modellering av temperaturer i stor kompostranke med ny blandingsresept (Ranke 24)	6
2.2	Storskalakompostering i forsøksranke med temperaturmålinger	7
3	Resultater og diskusjon	8
3.1	Målinger av temperaturer i forsøksranken før og etter vending, etter flytting til ettermodning	8
3.2	Modellering av gjennomsnittstemperaturer i ranken over tid.....	13
4	Konklusjoner	17
	Litteraturreferanser.....	18

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

For å sikre en god hygienisering av potetavfall, slam og avfallsråstoff fra Maaruds fabrikker ble det planlagt en ny resept med mere innhold av slam for å øke næringsinnholdet til ferdig kompost etter behandling. Planen var å bygge opp ei ranke hvor temperatursensorer ble plassert forskjellige steder horisontalt og vertikalt. Etter dette forsøket har ytterligere mengden slam blitt blandet inn og gitt bedre temperaturutvikling i driften ved kompostanlegget. Dette er delrapport 2 i arbeidet med kompostering av næringsmiddelavfall fra fabrikken til Maarud AS på Disenå. Denne undersøkelsen skal være grunnlaget før storskalakomposteringen og validering av overlevelse av potetecyste nematoder (PCN) som vil bli beskrevet i delrapport 3.

Maarud AS har sammen med NIBIO utført temperaturmålinger i en testranke med 22 ulike temperatursensorer i ulike dybder fra ulike høyder for å følge temperaturforløpet i ei ranke før og etter vending. Når ranken vendes flere ganger, ble kantene og bunn materialet flyttet til sentrum av ny ranke og blandet med varmere materiale. Dette skal sikre at all masse har vært igjennom en periode på 10 -15 dager med høy temperatur over 60 grader. Deretter ble dataene modellert i excel og sannsynliggjort eksponeringstiden på de ulike temperaturer frembrakt i ranken før og etter vending over ulike tidsperioder.

Mål for delprosjektet

- Få dokumentert temperaturer i ei stor kompostranke i ulike soner horisontalt og vertikalt før og etter vending av ranken.
- Modellere sannsynligheten for oppnåelse av hygieniserings temperaturer igjennom ei kompostranke

Etter dette forsøk ble utført har vi forandret resepten med mere slam og høyere andel innblanding av varmkompost. Dette ga enda høyere og mer stabile temperaturer i rankene over tid. Resultater fra disse undersøkelsene vil bli presentert i hovedrapporten sammen med en detaljert driftsinstruks.

Rapporten er skrevet av Ove Bergersen med bidrag av modellerte temperaturdata utført av fabrikkssjef Elling Ødegaard hos Maarud AS. Rapporten er kvalitetssikret av Trond Mæhlum (NIBIO).

2 Materiale og metoder

2.1 Modellering av temperaturer i stor kompostranke med ny blandingsresept (Ranke 24)

En forsøksranke ble planlagt for å vurdere temperatur fra flere sensorer med ulike plasseringer i ei stor kompostranke på Maarud Disenå. I dette forsøket ble i alt 22 sensorer (2m lengde) plassert ulike steder, vertikalt og horisontalt, i ei stor kompostranke under sommerforhold i juli 2022.

Temperaturfølerne ble plassert i ulike dybder ved 0,5, 1,0 og 1,5 meter fra yttersiden og innover i ranken. Disse ble satt inn i 4 ulike høyder, kjernetemperatur, i topp, i midten og i bunnen av ranker (Figur 1).

Storrankekompostering ble utført i ranke hvor blandingsforholdet var som vist i Tabell 1. Denne nye resepten er nå en gunstig blanding for å oppnå tryggere hygienisering av næringsavfallet i rankene, samtidig å øke næringsinnholdet av N og P i komposten etter endt prosess.



Figur 1. Temperaturutvikling i testranke ble overvåket med 22 termofølere satt inn i ulike dybder og høyder

Foto: Elling Ødegaard

Tabell 1. Viser ny blandingsresept på råstoff, innhold av varm kompost og struktur

	Skuffer	m3	
Høggeflis	28	70	
Bark (Gran 50%/ Furu 50%)	4	10	34 Andel struktur %
Slam (nytt 55%/ gammelt 45%)	17	43	
Potetmix	7	18	
Chips avfall		0	34 Andel Råstoff %
Stivelse	8	20	
Varm Kompost fra R.13			
Fra R.21	30	75	32 Varm kompost %

2.2 Storskalakompostering i forsøksranke med temperaturmålinger

Det ble etablert en resept hvor struktur, slam, poteavfall og lagunestivelse ble blandet for å gi en god prosess med høye temperaturer (Tabell 1). Ranken ble bygd opp i juli 2022 og ulike temperatursensorer ble plassert følgende steder i ranken:

- I kjernen på tre ulike steder vertikalt skrått og nedover i ei ranke på ca. 2,5 m høyde.
- Sensorene plassert horisontalt i **toppen** av ranken på ca. 2m høyde ble plassert i to dyp (0,5m og 1,0m).
- Sensorer plassert horisontalt i **midten** av ranken ble plassert i tre dyp (0,5m, 1,0m og 1,5 m) på ca 1,25 m høyde av ranken.
- Sensorer plassert horisontalt i **bunnen** av ranken ble plassert i tre dyp (0,5m, 1,0m og 1,5 m) på ca 0,75 m høyde av ranken.

Resultatene blir vist som gjennomsnittverdier fra de ulike sensorer på de ulike plasseringene.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Målinger av temperaturer i forsøksranken før og etter vending, etter flytting til ettermodning

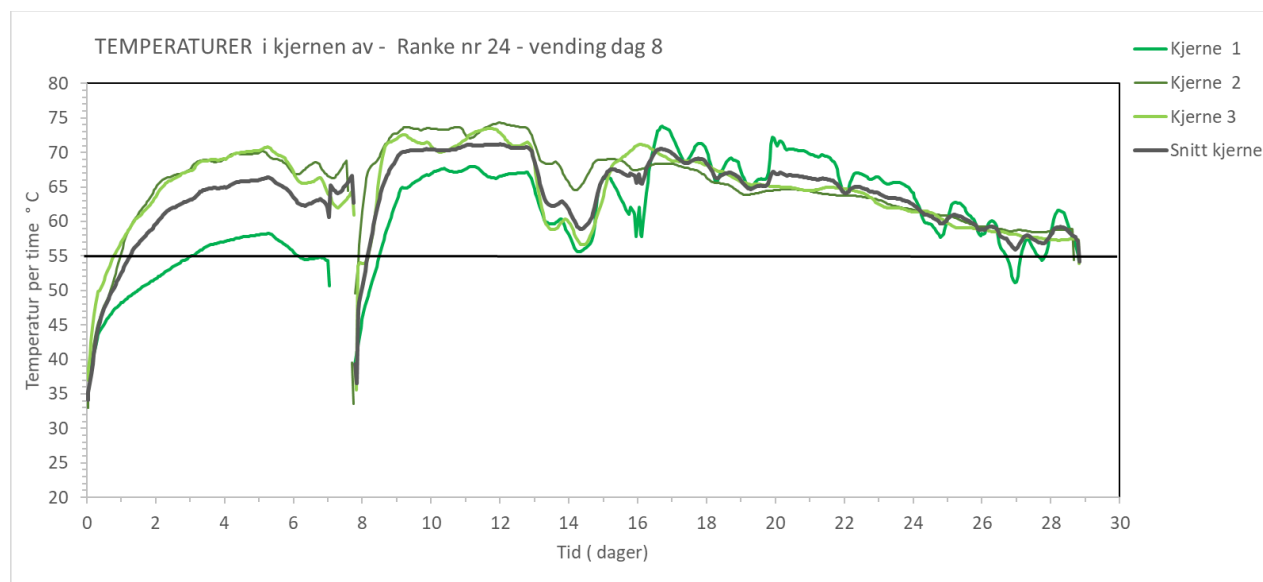
Dette forsøket ønsket å belyse ulike temperaturer på de ulike steder før og etter vending.

Gassutvekslingen er ikke like god i bunnen av ranka sammenlignet med øvre del. Derfor er vending (ikke for ofte) viktig slik at all masse eksponeres for høy temperatur. Ved vending blandes massen fra sidene og bunn med varme kjernetemperaturer fra øvre del. De evt. kjøligere deler av ranken kommer da i sentrum av ny ranke. Temperaturforløpet i kjernen av ranken før og etter vending viser det tydelig illustrert i figur 2. Dette gir gode komposteringstemperaturer over tid.

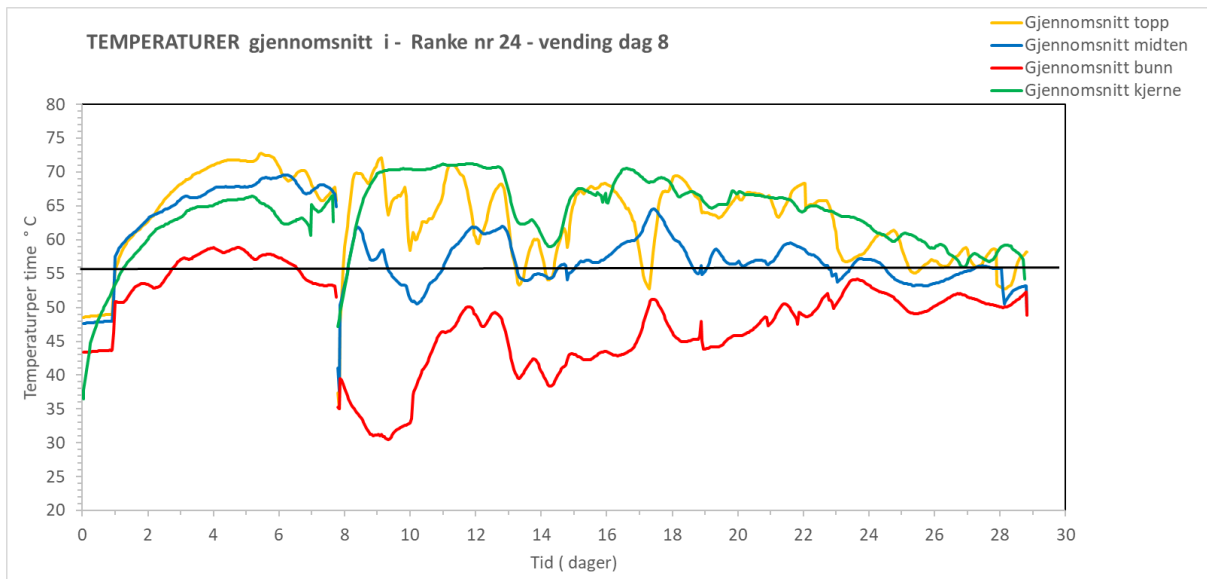
Temperaturforløpet vurdert som gjennomsnittstemperaturer i toppen, midten, bunnen og kjernen av ranken er vist i figur 3. Av figur 3 ser man at, topp og midten ligger godt over 55°C i 28 dager.

Målingene i bunn viser lavere temperaturutvikling, men hadde temperaturer over 55 °C de første 8 dager. En ekstra vending vil ytterligere gi høyere temperaturer på utsatte områder i nedre del av ranken.

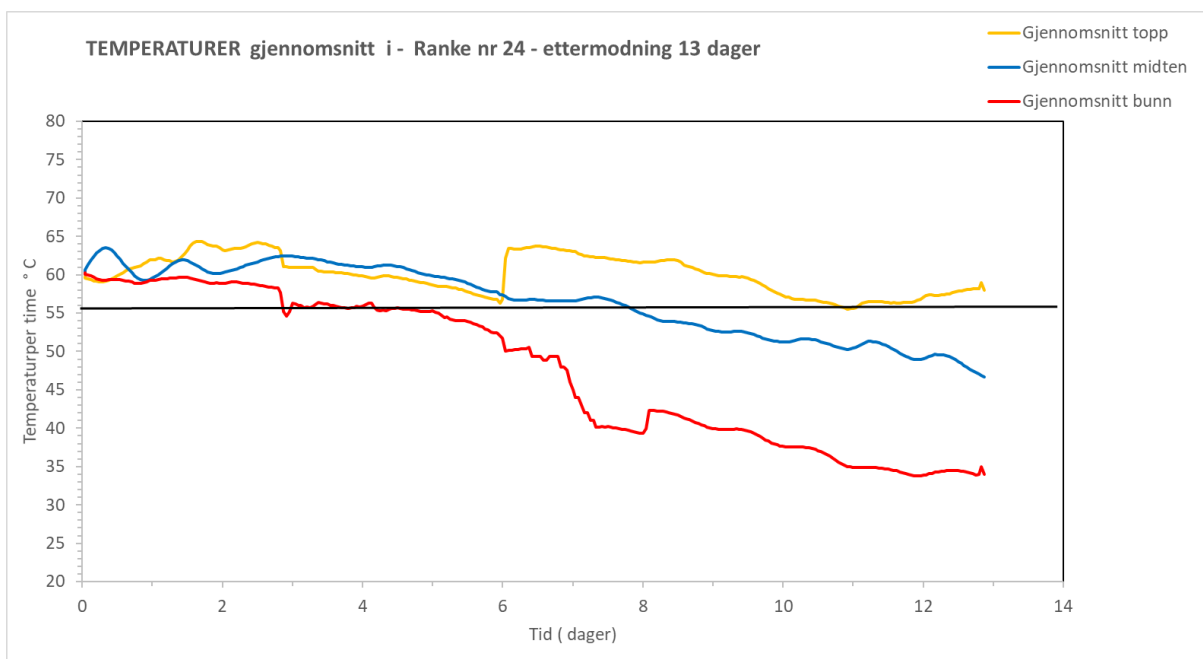
Når denne ranken ble flyttet til ettermodning senere viste nye målinger fortsatt temperaturer på over 60°C i 5 dager i hele ranken etterfulgt av synkende temperaturer som forventes i ettermodningsranke (Figur 4). En ser at temperaturene i bunnen av ranken er lavere enn i den øvre delen. Dette har med skorsteinseffekten man oppnår i en kompostranke med nok struktur blandet med avfallet som skal brytes ned. Når temperaturen stiger i ranka ser en tydelig at varmen stiger opp og ny luft tilføres fra sidene.



Figur 2. Temperaturutvikling fra hver sensor i testranke i kjernen av ranken

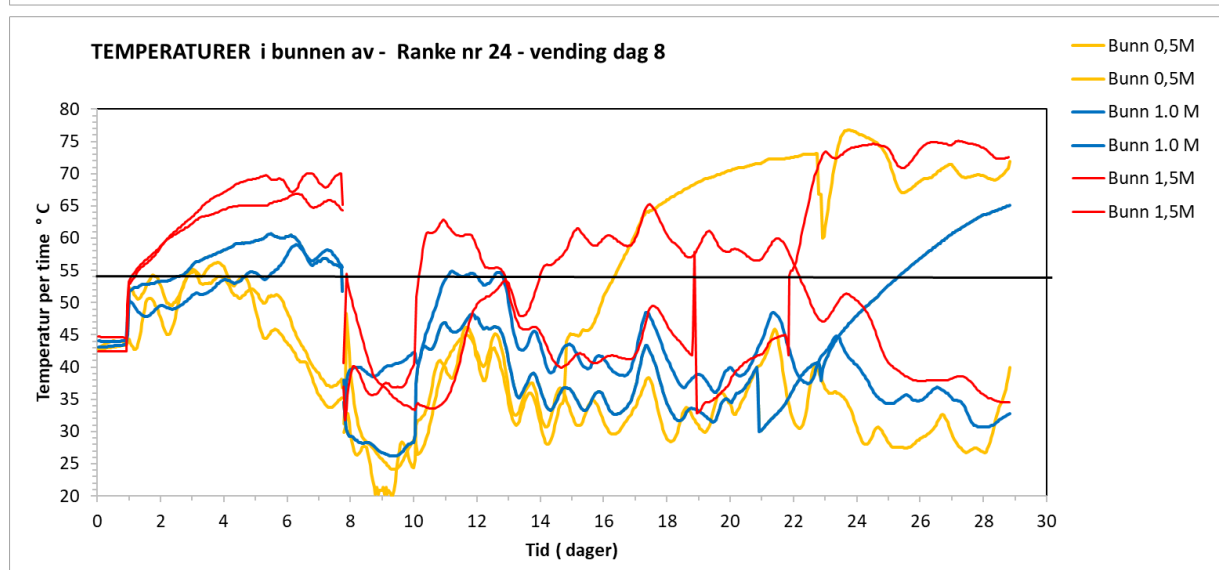
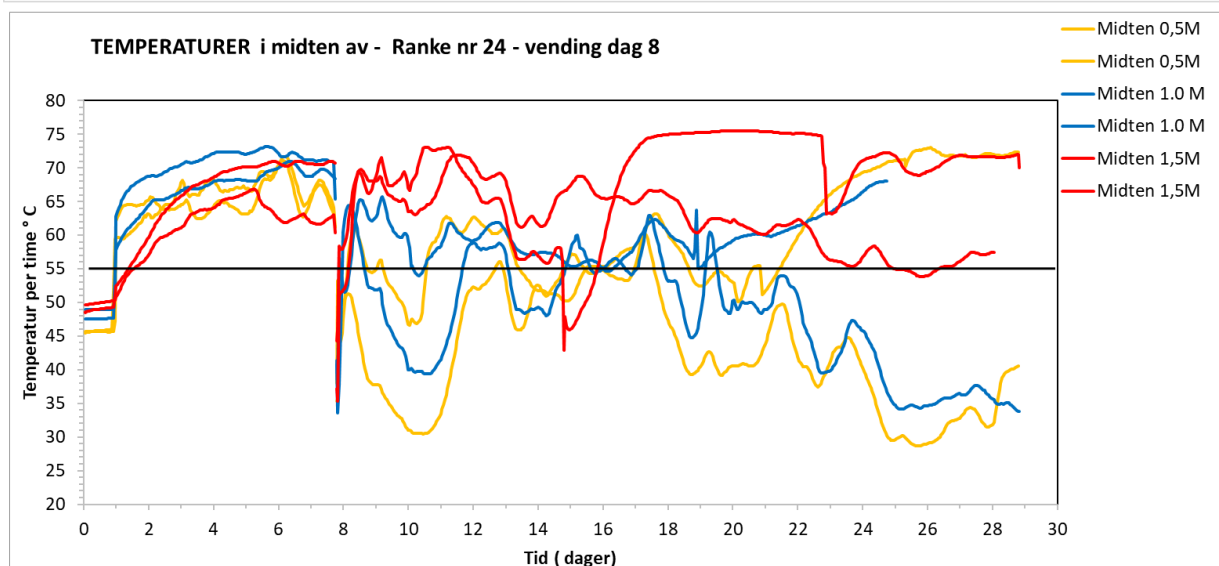
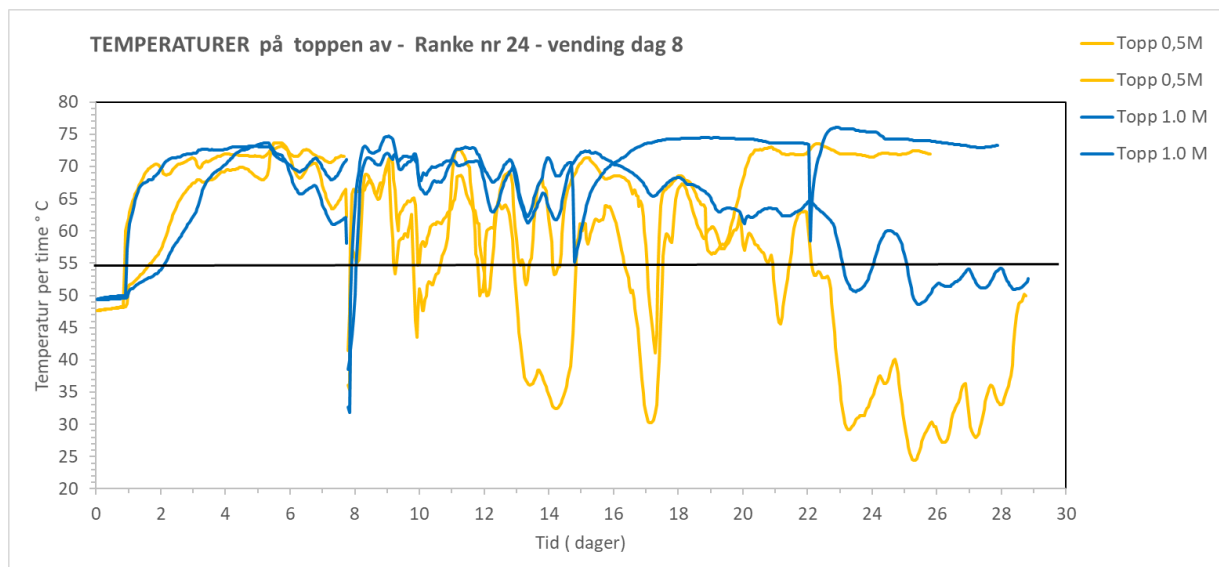


Figur 3. Gjennomsnittstemperatur i testranke 24 i ulike høyder (topp, midten, bunn og kjernetemperatur) innover i ranken (0,5m, 1m og 1,5 m) i 29 dager.



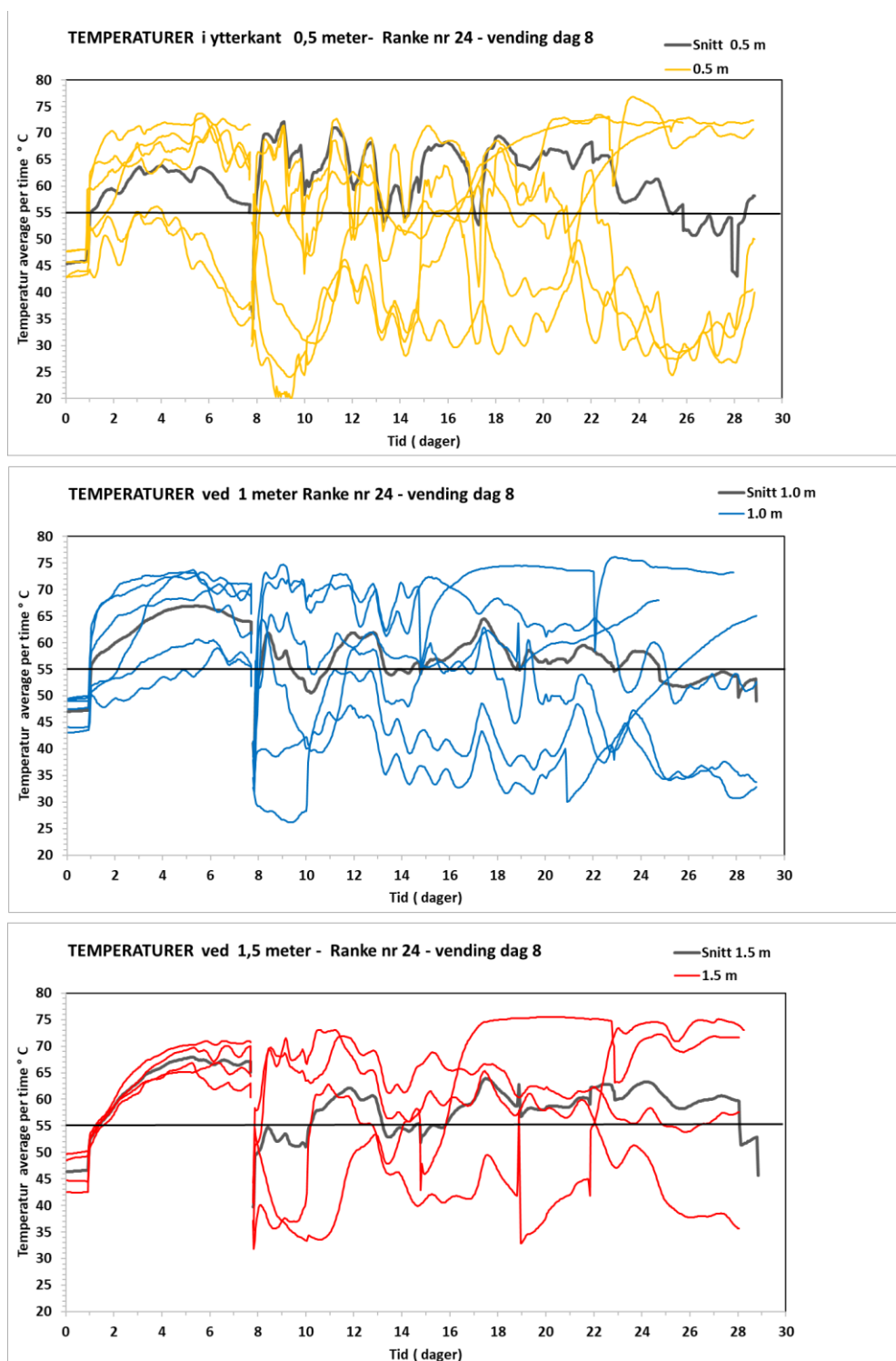
Figur 4. Gjennomsnittstemperatur i ettermodningsranke nr 24 etter 2 vendinger i ulike høyder (topp, midten og bunn) på 1,5 m dyp i 13 dager.

Figur 5 viser temperaturer i øvre del, midten og bunnen av ranker fra alle sensorer satt inn i de ulike dybder. Figur 5 dokumenterer at temperaturen er over 55 og 60°C og opp mot 70°C i perioder, både i ytterkant og innover i ranken. En ser også at temperaturforløpet synker og stiger over tid og etter vending, som er helt naturlig forløp i kompostranker. Dette skjer både i ytterkant og bunn som er de mest kritiske områder. Sensorene viste temperaturer over 55°C de første 8 dagene. I tilfellet her ble vending utført noe tidlig som kan ofte forstyrret prosessen. Ranken burde fått ligge lenger før den ble vendt. Etter vending svingte temperaturene mere, men den steg over 60°C mot slutten av måleperioden både i bunn, senter og overflaten av ranken (Figur 5). Tilgjengeligheten til substratet og antall termofile mikroorganismer i ranken påvirker slike svingninger.



Figur 5. Temperaturutvikling fra hver sensor i testranken i ulike høyde, toppen, midten og bunnen av ranken ved (0,5, 1,0 og 1,5 meters) dyp.

Figur 6 viser at gjennomsnittstemperaturen fra alle sensorer beregnet ved 0,5, 1,0 og 1,5 meter plassert både i topp, midten og bunn ligger over 55°C i lengre perioder. Sensorene plassert i midten og bunn viste noe lavere gjennomsnittsverdier påvirket av at sensorene satt inni bunnen av ranken.



Figur 6. Figurene viser at temperaturen svinger opp og ned før og etter vending i ranken også vist også med gjennomsnittstemperatur ved ulike dybder (0,1m, 1,0m og 1,5 m) fra yttersiden og innover på toppen, i midten og nede.

Allikevel, målingene viser at ved å vende ranken riktig, hvor ytterkant legges sammen med varmere kjernemateriale, sikrer at hele massen i ranken oppnår høye temperaturer. Dette skjer ved at de termofile kompostbakteriene spres godt over tid til materiale som er litt mindre omsatt. Til og med i ettermodningsranken på gul sone steg temperaturer etter 3 vending til over 70°C (Figur 4). Slike temperatursvingninger gjør livsgrunnlaget for de uønska organismene i avfallet dårlig og jo oftere dette skjer jo lettere dør de. I tillegg vil avfallsgasser og pH forandringer gi dårlige livsbetingelser under kompostering foruten de som trives i slike miljø. Sistnevnte øker i antall (termofile bakterier ofte dominert av *Bacillus sp* som er aerobe), danner sporer når temperaturen blir for høy, men kvikner til når den avtar til omkring 55-60°C. I oppstarten ved det kritiske pkt. 45°C og oppover formerer de seg raskt hvis ikke avfallet er for surt. Surt avfall hemmer disse organismene hvis ikke det benyttes rikelig med strukturmateriale (Bergersen et al. 2009).

Riktig blandingsforhold mellom nok struktur og sure råvarer som Maarud behandler er derfor essensielt for å lykkes i god og trygg behandling under rankekompostering sommer og vinter. Vi har erfart og gjennom sesongen 2020 og 2022 at gode resepter gir kompostranker med høye temperaturer som gir god kompostering og hygienisering av avfallet.

3.2 Modellering av gjennomsnittstemperaturer i ranken over tid

I forsøksranken ble gjennomsnittstemperaturen modellert med høyest sannsynlig temperaturpåvirkning over tid utført i Exel. Elling Ødegaard, fabrikkssjef på Maarud, har beregnet og modellert temperaturene fra 22 sensorer i forsøksranken, data vist i Figurene 7-9.

Figur 7 viser at 68% av ranken hadde temperaturer på 60-69°C modellert i hele ranken etter dag 7. Temperaturer på 55-60°C ble målt og beregnet til 79% av ranken. Etter vending og 12 dager viste ranken temperaturer fra 60-69°C i 45% av ranken, mens 61% av ranken hadde temperaturer mellom 55 til 60°C. Etter 22 dager viste 38% av ranken temperaturer fra 60- 90°C, mens 57% viste temperaturer mellom 55 til 60 °C. I ettermodningsranken etter 23 dager viste 42% av ranken temperaturer mellom 60-69°C og 54% mellom 55-60°C.

Modelleringen viste at det i ranken oppnås tilstrekkelig høye temperaturer i lange periode. Flere vendinger sikrer dette slik at alt materialet får en ønsket varmebehandling.

I ny driftsinstruks til Maarud driftsansvarlige beskrives 2 vendinger på rød aktiv sone og 1-2 vendinger under ettermodning på gul sone.

Beregningene viser at ranken før vending etter 7 dager viste:

68 % sannsynlighet av ranken overskrider 60 °C.

79 % sannsynlighet av ranken overskrider 55 °C

83 % sannsynlighet av ranken overskrider 50°C

Etter 12 dager

45 % sannsynlighet av ranken overskrider 60 °C.

61 % sannsynlighet av ranken overskrider 55°C

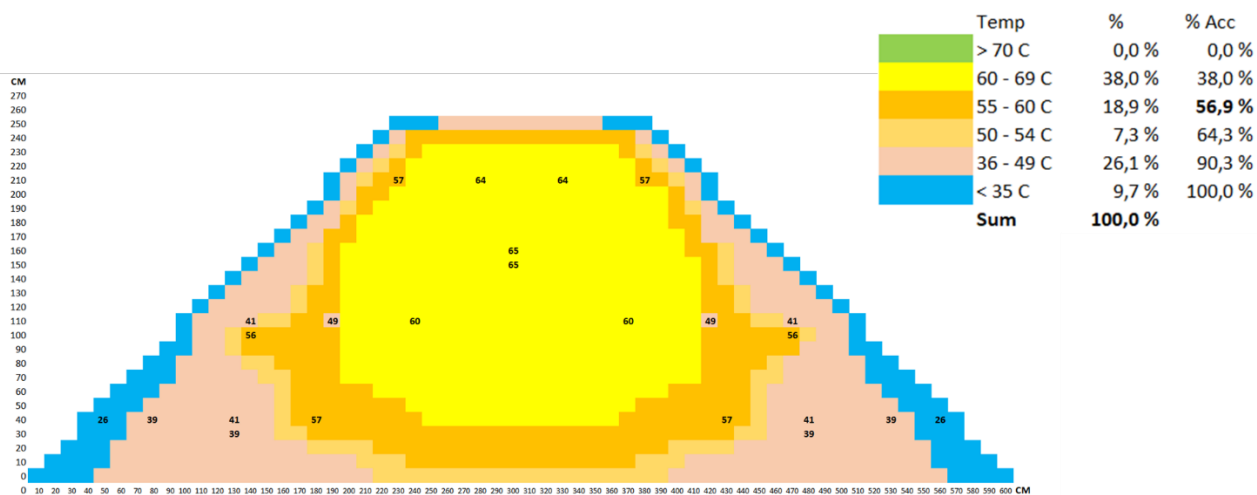
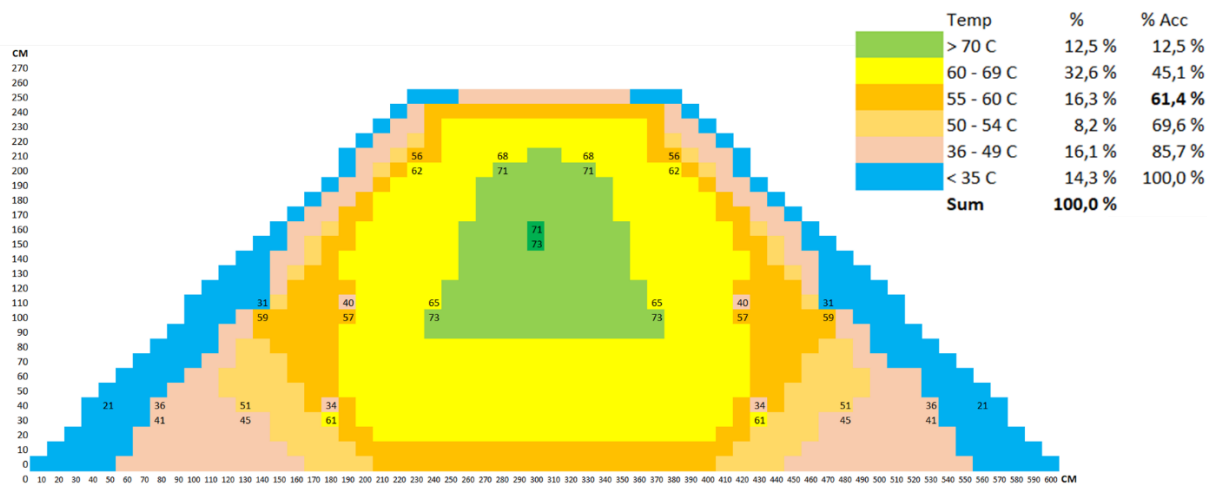
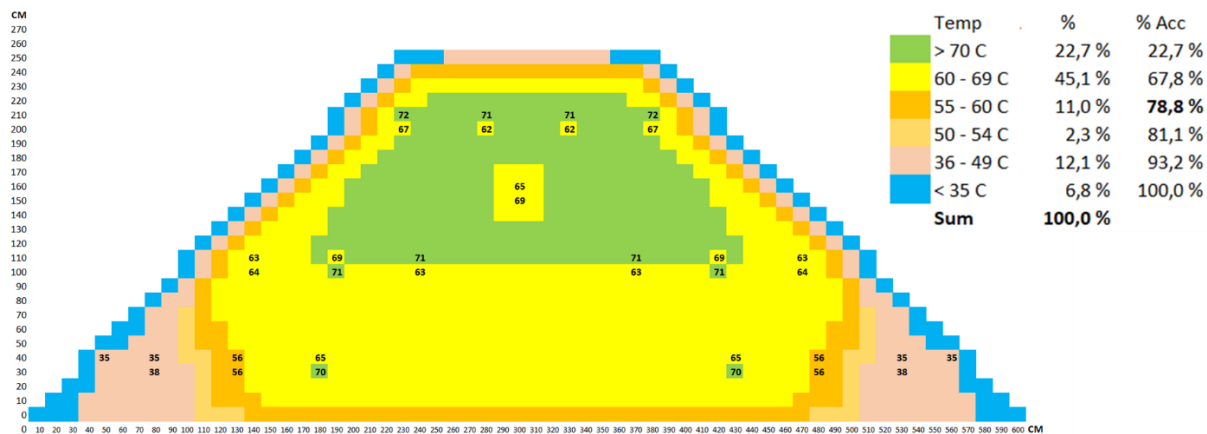
70 % sannsynlighet av ranken overskrider 50 °C

Etter 22 dager

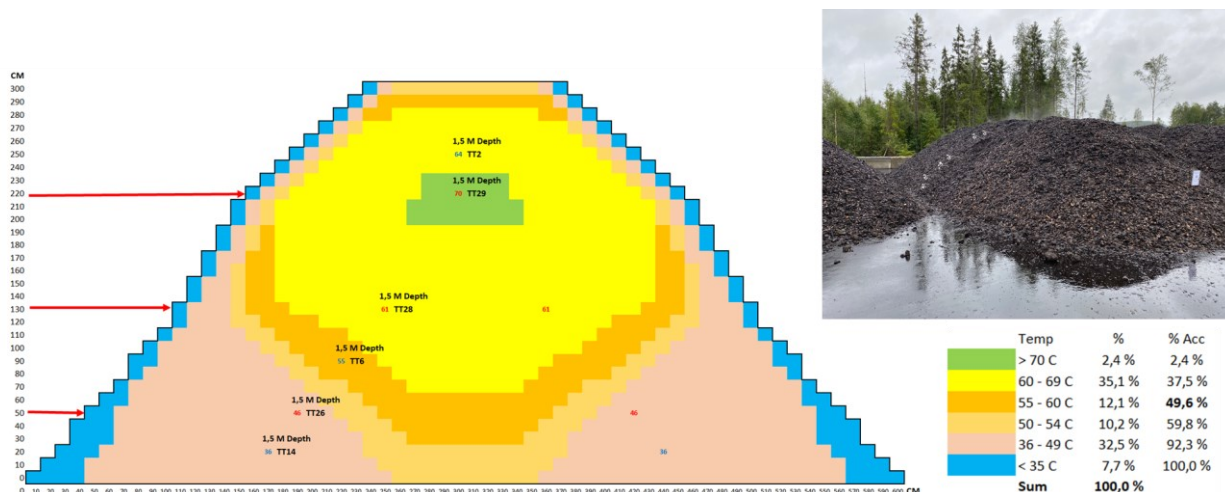
38 % sannsynlighet av ranken overskrider 60 °C

57 % sannsynlighet av ranken overskrider 55 °C

64 % sannsynlighet av ranken overskrider 50°C



Figur 7. Temperaturutvikling i testranke etter 7 dager (over), etter vending dag 12 (midten), etter 22 dager før ettermodning (nederst)



Figur 8. Temperaturutvikling i ettermodningsranke etter tre vendinger og i 33 dager. Etter 5 dager på ettermodning.

Ettermodning etter dag 33

Vi målte kjernetemperaturer over 60 °C i ranken i flere uker under første periode av etter-modning på gul sone. Målinger de første dager av ettermodningen fra 23 til 33 dager på gul sone er vist i Figurene 8 og 9.

40% sannsynlighet av ranken overskrider 60°C i 8 dager.

50% sannsynlighet av ranken overskrider 55°C i 8 dager.

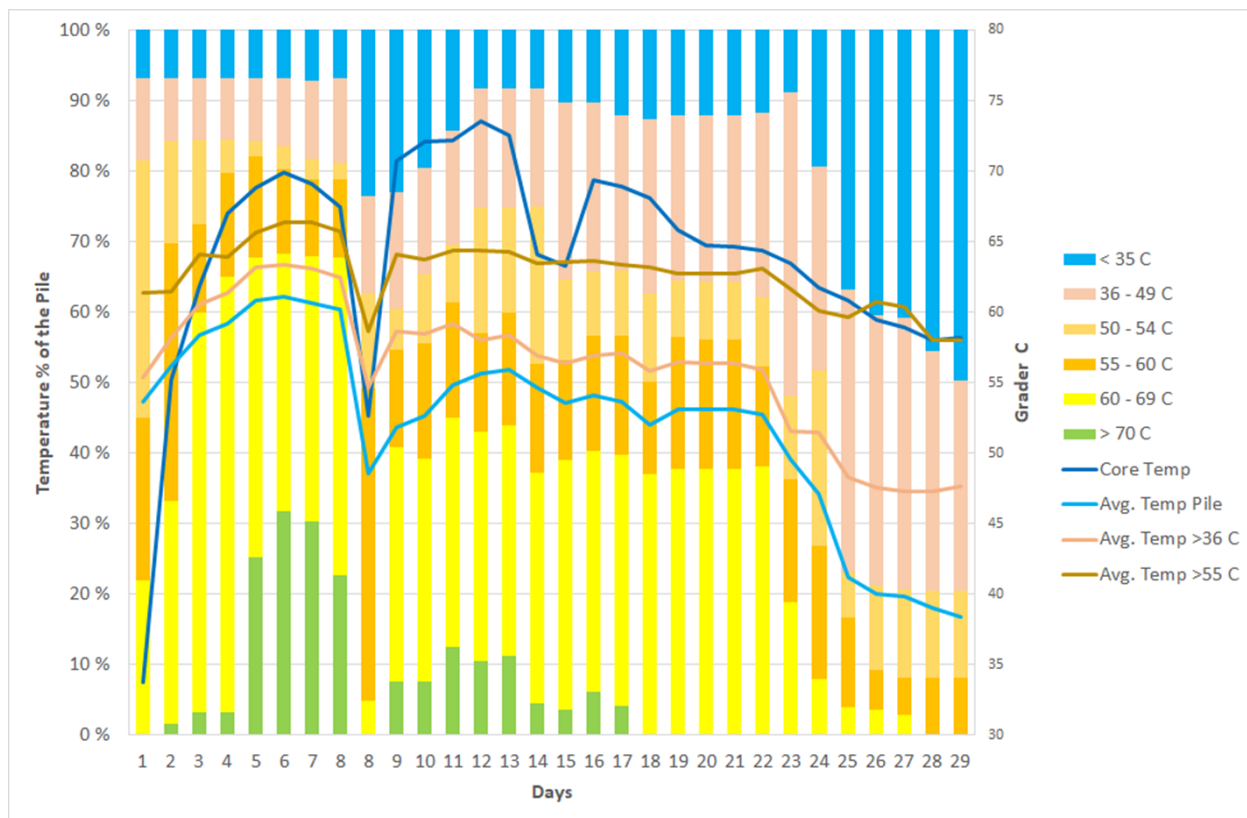
60% sannsynlighet av ranken overskrider 50°C i 8 dager.

Mulig (100% volum >55°C) = $1 - (1-79/100) * (1-56/100) * (1-45/100) = 95\%$

Mulig (100% volum >50°C) = $1 - (1-83/100) * (1-66/100) * (1-57/100) = 98\%$

Disse temperaturer vil sikre hygienisering av avfallet mot gul PCN, også vist av Bøen et al. (2006). Bøen et al. viste i sine studier at overlevelse av PCN cyster, målt ved klekking, ble redusert med 99,9% allerede etter 8 dagers kompostering og etter 29 dager ble ingen klekking av cyster påvist. PCN manglet evne til å reprodusere seg etter 8 dagers komposteringsperiode med temperaturer som nådde 50°C. Følger av dette er at 8 dagers kompostering, hvor PCN materialet var eksponert for minimum 50°C over en periode, kan foreslås å være en tilfredsstillende metode for å sanere PCN.

I en ny forsøks ranke uten vending hvor overlevelse av PCN plassert ved ulike temperatur sensorer i ulike dyp av ranken ble det oppnådd høyere temperaturer. Dette forsøk ble utført august til september 2022 og blir rapportert i egen delrapport 3. I 26 dager lå temperaturen i gjennomsnitt 60 - 69 °C ved 0,5, 1,0 og 1,5 meters dyp. Maks temperaturen ble beregnet til 69°C på 0,5 m dyp, 72-73°C 1 m inn i ranken og 72-75°C 1,5 m inn i ranken. Median temperaturen beregnet var 59-60°C ved 0,5 m dyp, 64-65 °C ved 1,0 m dyp og 66-69 °C ved 1,5 m dyp. Dette viser at riktig resept og ikke for tidlig vending avgjør hvilke temperaturer som oppnås i ulike ranker.



Figur 9. Modellerte temperaturer i forsøksranken fra start og til dag 29. Øvre og sentral del av ranken er varmest. Kjernetemperaturen viser etter flere vendinger høyest temperatur og at massen over lengre periode ligger over 55°C.

4 Konklusjoner

Undersøkelsene av kompostblandinger i storranke med 22 temperatursensorer i ulike dyp ble utført på anlegget til Maarud AS Disenå i 2020-2022. Resultatene viste at total tid med hygienisering over 55°C i ranke er forventet å være 45-50 dager for 2 vendinger. Flere perioder var temperaturen høyere en 60°C både i ytterkant og nærmere bunnen etter flere vendinger. Dette sikrer at materialet i ranken som er godt eller mindre nedbrutt får oppsving i temperaturen.

Forsøket viste at for tidlig vending kan forstyrre temperaturutviklingen i ranken og at nok struktur og varm kompost i blandet avfallet gir god effekt på temperaturutvikling og hygienisering av avfallet fra fabrikken.

I forsøksranken ble gjennomsnittstemperaturen modellert med høyest sannsynlig temperaturpåvirkning over tid. Modelleringen viste at det i ranken oppnås tilstrekkelig høye temperaturer i lange periode. Flere vendinger sikrer dette slik at alt materialet får en ønsket varmebehandling.

Riktig blandingsforhold mellom nok struktur og sure råvarer som Maarud behandler er essensielt for å lykkes i god og trygg behandling under rankekompostering sommer og vinter. Vi har erfart og gjennom sesongen 2020 og 2022 at gode resepter gir kompostranker med høye temperaturer som gir god kompostering og hygienisering av avfallet, noe som er viktig for eliminering av planteskadegjørere som Potetcystenematode (PCN).

Litteraturreferanser

Bergersen, O., Bøen, A., and Sørheim, R. (2009) Strategies to reduce short-chain organic acids and synchronously establish high-rate composting in acidic household waste. *Bioresource Technology*. 100. s 522-526

Bøen A., Hammeraas B., Magnusson C., Aasen R. (2006) Fate of the potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* during composting. *Compost science & utilization* 14:142-146.

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.