

Tiltak for å sikre rask etablering av varmkompostering ved behandling av bioavfall

Sluttrapport

Erik Norgaard, Norsk Jordforbedring AS og

Roald Sørheim, Jordforsk



Forord

Prosjektet *Tiltak for å sikre rask etablering av varmkompostering ved behandling av bioavfall*, utføres under programmet "Organiske restprodukter - ressurser i omløp" (ORIO). Prosjektet startet høsten 2001 og avsluttes høsten 2003.

Prosjektet gjennomføres som et samarbeid mellom Norsk Jordforbedring AS og Jordforsk, mens Norsk Renholdsverks Forening (NRF) har prosjektledelsen.

Prosjektet er finansiert av ORIO-programmet, NRF, de deltagende behandlingsanleggene:

- Innherred Renovasjon (IR) i Verdal
- Sør Østerdal Interkommunale Renovasjonsanlegg (SØIR) i Elverum
- Hadeland og Ringerike Avfallsselskap (HRA) på Jevnaker
- Renovasjonsselskapet for Kristiansandsregionen (RKR) i Kristiansand
- Interkommunalt renovasjonsselskap (IRS) i Flekkefjord samt Norsk Jordforbedring AS og Jordforsk.

Ved siden av å oppsummere erfaringer og resultater fra forsøkene gjennomført på anleggene i fase 3, begrunnes også en konklusjon vedrørende tiltak for å sikre rask etablering av varmkompostering ved behandling av bioavfall, i kunnskapen tilegnet gjennom prosjektet om avfallskvalitet og prosessene ved de ulike anleggene, samt de positive effekter som radikal kalking eller temperaturstyring viser å ha på komposteringsforløpet.

Det rettes en stor takk til driftsansvarlige og operatører ved de 5 deltageranleggene. Uten deres innsats hadde prosjektet ikke latt seg gjennomføre. Vi håper at rapporten betaler tilbake noe av den innsatsen som er lagt for dagen.

Grimstad / Ås
Den 24.02.04

Erik Norgaard

Roald Sørheim

Innhold

Sammendrag	5
Bakgrunn for prosjektet	5
Målet med prosjektet	5
Deltagere og arbeidsmetode	6
Erfaringer og resultater fra befaringer i anlegg og analyser av matavfallet	7
Fase 1 - Befaring	7
Fase 2 - Analyser av avfall	7
Fase 3 Gjennomføring av forsøk i stor skala	8
Justering av surhetsgrad (pH)	8
Poding	8
Bruk av et levende strukturmateriale	9
Andre studier som belyser problemstillingen og som anbefaler tiltak	9
Kalking	9
Temperaturstyring i startfasen	10
Erfaringer med kompostering av matavfall i Mellomeuropa	10
Avsluttende kommentarer	10
1. Bakgrunn	11
1.1. Deltagende anlegg	13
1.1.1. SØIR	13
1.1.2. IR	14
1.1.3. RKR	17
1.1.4. HRA	17
1.1.5. IRS	18
1.2. Klassifisering av anlegg	19
1.3. Kvaliteten i råstoffet, - kildesortert matavfall	19
1.4. Gjennomføring av prosjektet	21
2. Innledning	22
2.1. Et vellykket komposteringsforløp fra driftsoperatørens ståsted	22
2.1.1. Temperatur og energibalanser	23
2.2. Komposteringens startfase	25
2.3. Vansker med å etablere komposteringsprosessen fra matavfall, mulige årsaker og tiltak	25
3. Materialer og metoder	27
3.1. Spørreskjema ved bruk under befaringer av anlegg (Fase 1)	27
3.2. Oppfølgende prøvetaking og analyser (Fase 2)	27
3.2.1. Opparbeiding av prøvemateriale	27
3.2.2. Fysikokjemiske og fysiske analyser	27
3.2.3. Kjemiske analyser	29
3.2.4. Mikrobiologiske analyser	29
3.3. Gjennomføring av stor skala uttesting av tiltak (Fase 3)	31
3.3.1. SØIRs åpne komposteringsanlegg på Hornmoen (Elverum): Dokumentasjon av åpen konvensjonell rankekompostering	31
3.3.2. IR Statisk luftet ranke, Verdal: Dokumentasjon av kompostering i statisk lukket ranke	31
3.3.3. HRAs lukkede komposteringsanlegg på Trollmyra (Jevnaker): Inokulering med Hage Park avfall	32
3.3.4. RKR's dynamiske bingekomposteringsanlegg på Støleheia: Justering av pH ved tilsetning av lesket kalk (Ca(OH) ₂)	32
3.3.5. IRS's trommelanlegg på Erikstemmen: Poding med "tilpasset kompost"	33

4.	Resultater og Diskusjon	34
4.1.	Fase 1	34
4.1.1.	Lufteregimer i anleggene	35
4.2.	Fase 2	40
4.2.1.	Surhetsgrad, ledningstall, tørrstoff og aske	40
4.2.2.	Ammonium og sulfid	41
4.2.3.	Innhold av organiske syrer og alkoholer	41
4.2.4.	Effekt av lagring ("produksjonspotensialet" for melkesyre)	42
4.2.5.	Mikrobiologi	43
4.2.6.	Diskusjon av resultater fra Fase 2	43
4.3.	FASE 3	47
4.3.1.	SØIRs åpne komposteringsanlegg på Hornmoen (Elverum): Dokumentasjon av åpen konvensjonell rankekompostering	47
4.3.2.	IR Statisk luftet ranke, Verdal: Dokumentasjon av kompostering i statisk lukket ranke	53
4.3.3.	HRAs lukkede komposteringsanlegg på Trollmyra (Jevnaker): Inokulering med Hage Park avfall	54
4.3.4.	RKRs dynamiske bingekomposteringsanlegg på Støleheia: Justering av pH ved tilsetning av lesket kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	56
4.3.5.	IRS's trommelanlegg på Erikstemmen: Poding med "tilpasset kompost"	60
5.	Konklusjon	63
6.	Referanser	64
7.	Vedlegg	65

Sammendrag

Bakgrunn for prosjektet

Kompostering av matavfall skal i løpet av relativt kort tid (3 – 6 måneder) kunne resultere i et sluttprodukt som:

- Er mørkt av farge
- Lukter jord
- Er hygienisert
- Er svakt alkalisk
- Er stabilt

Et slikt produkt har i så fall kvaliteter i seg som kan utnyttes i vekstmedier, jordblandinger eller på bondens åker.

Grunnlaget for prosjektet var at mange anlegg hadde dårlige erfaringer med kompostering av matavfall. En gjennomgående erfaring med kompostering av matavfall var en forsinket varmgang (10-12 døgn var ikke uvanlig), særlig i lukkede anlegg.

Etablering av effektiv og forutsigbar kompostering av matavfall har således vist seg å være utfordrende. I norske anlegg er det derfor få eksempler på gode prosessforløp slik de gjerne skildres i litteraturen, nemlig gjennom relativt rask økning i temperaturen fulgt av stigende pH i massen og dernest endring i utseende fra å være typiske avfallsblandinger til å bli kompost med homogen struktur, mørk farge og en frisk og behagelig kompostlukt. Et normalt komposteringsforløp krever dessuten mye luft ikke minst for å holde temperaturen nede og å fjerne vann.

Målet med prosjektet

Hovedmålet med prosjektet var å foreslå og dokumentere effekten av relevante tiltak som skulle sikre maksimal kapasitetsutnyttelse i komposteringsanlegg ved behandling av kildesortert våtorganisk avfall.

Delmålene under beskriver en trinnvis arbeidsmetode som ble valgt i prosjektet:

- Få frem kunnskap om avfallets kvalitet ved mottak på behandlingsanlegg
- Vurdere om denne kvaliteten er avgjørende for i hvilken grad komposteringsprosessen får det ønskede forløp
- Utarbeide tiltak (rutiner) primært i forbehandling og startfase, som bidrar til raskere etablering av komposteringsprosessen
- Prøve ut tiltakene i stor skala forsøk (i avfallsbehandlingsanleggene)

Deltagere og arbeidsmetode

Undersøkelsene har i størst mulig grad vært utført ved de deltagende anlegg (tabell 1), eller på prøver hentet fra anleggene.

Prosjektet startet med en omfattende befaringsreise med intervjuer av driftsstaben på anleggene. Befaringen ble etterfulgt av en runde med prøvetakinger for omfattende analyser av avfallet. I prosjektets fase 3 ble ulike tiltak prøvet ut i stor skala.

Tabell 1: Liste med kort beskrivelse av anleggene som har deltatt i prosjektet.

Anlegg	Behandlingsform	Mengde kildesortert matavfall (tonn/år) ¹
Sør Østerdals Interkommunale Renovasjonsanlegg (SØIR)	○ Kompostering i små ranker m/hyppige vendinger ○ Etterkompostering i store ranker m/få vendinger	6 000
Innherred Renovasjon (IR)	○ Kompostering i luftet statisk storranke	12 000
Renovasjonsselskapet for Kristiansandsregionen (RKR)	○ Kompostering i luftete binger m / 15 vendinger ○ Etterkompostering i luftet statisk haug ○ Etterkompostering i store ranker m / 6 – 8 vendinger	8 500
Hadeland og Ringerike Avfallsselskap (HRA)	○ Kompostering i luftet binger m / vendinger ○ Etterkompostering i luftet statisk haug ○ Ettermodning i små til middels store ranker med få vendinger	5 000
Interkommunalt Renovasjonsselskap, Flekkefjord (IRS)	○ Kompostering trinn 1: Luftet lukket tank (formodning) ○ Kompostering trinn 2: luftet trommel ○ Kompostering trinn 3: Luftet lukket tank (ettermodning). ○ Etterkompostering i store ranker med vendinger	4 500 – 5 000 ²

¹ Oppgitt ved befaringsreise høsten 2001

² Inkludert papir som inngår som strukturmateriale i komposteringen

Erfaringer og resultater fra befaringer i anlegg og analyser av matavfallet

Fase 1 - Befaring

Konklusjonen fra befaring i anleggene var at det fantes lite dokumentert kunnskap om avfallets sammensetning og hvordan denne varierer gjennom året³.

Den generelle oppfatningen på anleggene var imidlertid at avfallet var mer vått og kaldt vinterstid – noe som ble ansett å være årsaken til et dårlig komposteringsforløp gjennom denne årstiden.

Anleggene hadde manglende kunnskap om mengder luft som ble tilført kompostmassene. Det er bl.a. mangelfull informasjon om viftekapasiteter, ytelser og direkte registrering av gjennomstrømning i massene. Siden kompostering er en biologisk behandling som er avhengig av tilførsel av luft og siden luftmengden ikke bare skal dekke bakterienes behov, men også sørge for transport av varmeenergi (kjøling) og overskuddsvann er denne kunnskapen av sentral betydning.

Fase 2 - Analyser av avfall

Resultatene fra omfattende analyser av avfallsprøver hentet fra deltageranleggene viser at:

- Avfallet er surt ved mottak
- Lav pH har sin årsak i til dels svært høye konsentrasjoner med organiske syrer, hvorav melkesyre er den dominerende⁴.
- Det ble ikke påvist sammenheng mellom avfallets lagringstid og innhold av organiske syrer. Syreproduksjonene ser derfor ut til å starte tidlig i avfallets historie, og denne undersøkelsen gir ikke grunn til å anta at tidligere start av behandlingen vil føre til raskere etablering av varmkompostering. Det er derfor heller ingen grunn til å forvente at hyppigere⁵ innsamling hos abonnentene vil gi raskere start av komposteringen.
- Avfallet inneholder store mengder bakterier (størrelsesorden 10^9 /g TS) med store innslag av melkesyreproduserende bakterier
- Avfall mottatt på IRS synes å avvike noe fra de andre kvalitetene. Årsaken er antagelig høy papirandel i avfallet

³ Et unntak er RKR som har gjennomført en undersøkelse som viser hvordan avfallet endrer seg gjennom året. Informasjonen fra det prosjektet bekreftes i denne undersøkelsen. Fra HRA forelå også enkelte analyser av avfallet, men de undersøkte parametrene ga lite informasjon som var relevant for problemstillingene i dette prosjektet.

⁴ Konsentrasjoner på mellom 0,5 % og 5,5 % (TS) ble målt i avfall mottatt for behandling i deltageranleggene. Med typiske TS verdier på 35 % representerer dette i så fall konsentrasjoner på opp mot 0,3 Molar.

⁵ Med hyppigere menes her hentefrekvenser som er realistisk gjennomførbare og neppe oftere enn hver uke hele året

Fase 3 Gjennomføring av forsøk i stor skala

Det ble besluttet å gjennomføre stor skalige tester i samtlige 5 deltageranlegg. Opplegget var ambisiøst, og erfaringene har vært at selv om personalet ved anleggene viste et stort engasjement ved gjennomføring av forsøkene, var det problemer knyttet til behovet for å møte kravet om stabile forsøksbetingelser. Ute i anleggene er fokus rettet mot å unngå opphopning av avfall og det foretas løpende justeringer og endringer med formål å få til en mest mulig tidsrasjonell håndtering. Slike endringer påvirker forsøksbetingelsene og introduserer større usikkerhet knyttet til tolkningen av resultatene.

Ved fremtidige tester i stor skala er det viktig at det praktiske grunnlaget for stabil drift gjennom forsøksperioden ligger fast, og at driften i denne tiden følges opp kontinuerlig. Dette krever at oppfølging skjer i et enda nærmere samarbeid mellom personell på anleggene og prosjektmedarbeidere utenfra. Forsøksoppfølging er gjerne arbeidskrevende og faller utenfor de normale rutiner. Det er derfor vanskelig for driftspersonalet å finne tilgjengelig tid. Forskerne må derfor selv i større grad følge opp forsøkene på anleggene. Det er viktig å forstå erfaringene med de 3 tiltakene som presenteres i etterfølgende kapitler ut i fra ovenfor stående betraktninger.

Justering av surhetsgrad (pH)

Utprøvd tiltak: Justering av pH ved inndosering av moderate mengder kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sammen med strukturmateriale.

Hensikten med dette tiltaket var å nøytralisere de organiske syrene slik at de blir mindre giftige for bakteriene i komposten.

Erfaring

Tiltaket synes å ha fordelaktig effekt.

Det ble imidlertid ikke vist at justering av pH fører til signifikant raskere start av komposteringsforløpet, men behandlet masse hadde høyere innlende pH, og det ble registrert en viss økning i stabiliteten av komposten gjennom lukket fase.

Tildelt dose med kalk må økes slik at surhetsgraden i startblandingen er høyere. Direkte innblanding av ~ 2,5 % med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (TS) ga pH verdier på rundt 5,5 i massen.

Nødvendig mengde kalk for pH justering ble bestemt gjennom undersøkelser i laboratoriet. Forsøk i anleggene viste at denne framgangsmåten underestimerte behovet for kalktilsetning. Slike forundersøkelser må derfor ses på som veiledende for praksis i fullskala.

Podning

Utprøvd tiltak: Podning av startblandingen (matavfall og struktur) med biokompost som er i en aktiv prosessfase kjennetegnet av stigende pH og høy temperatur.

Avfallet som mottas på anleggene domineres av melkesyrebakterier som har spesialisert seg på sure omgivelser dominert av større mengder melkesyre. Et podemateriale fra en aktiv kompost må forventes å inneholde bakterier som både tåler et surt miljø og høy temperatur, og som dermed kan utnytte all maten i avfallet under aerobe komposteringsbetingelser.

Erfaring

Et forsøk med innpoding av kompost ble gjennomført på IRS anlegg. Det kunne påvises effekter av innpodingen, målt som høyere pH i komposten gjennom anlegget. Det kunne imidlertid ikke dokumenteres at pH viste et signifikant stigende forløp gjennom prosessen i lukket fase. Kunnskapen om komposten som ble blandet inn var begrenset.

Resultatene gir ikke grunnlag for å anbefale innblanding av kompost som et tiltak for å oppnå rask etablering av komposteringsprosessen. Det presiseres imidlertid at denne konklusjonen kun baseres på det ene forsøket gjennomført i regi av dette prosjektet, og at lang erfaring har vist at innblanding av gode materiale vanligvis regnes som positivt.

Bruk av et levende strukturmateriale

Utprøvd tiltak: Bruk av strukturmateriale som inneholder mye mikroorganismer

På noen anlegg ble flis og høvelspon benyttet som struktur. Felles for slike strukturmateriale er fravær av den rikt sammensatte flora, som bl.a. kjennetegner hageavfall for ikke å snakke om kompost. Et alternativ til ovenfor nevnte ”sterile” strukturmateriale er nettopp hage park avfall eller kompost av hage park avfall.

Erfaring

Forsøket med bruk av hagepark kompost som en del av strukturen måtte dessverre avbrytes fordi driften av anlegget måtte tilpasses problemer knyttet til frossent avfall og oppmagasinering av tinevann i bingene.

Andre studier som belyser problemstillingen og som anbefaler tiltak

I perioden som prosjektet er gjennomført er det innhentet erfaring fra andre prosjekter og forsøk som søker å belyse og håndtere problemet knyttet til kompostering av kildesortert matavfall.

Kalking

På Lindum Ressurs og Gjenvinning er det etablert en forbehandling som baseres på at matavfallet får tilført 15 – 20 % med lesket kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Doseringen skjer direkte i matavfallet og fører til en kraftig desimering av bakteriefloraen. Etter noe tid i blanding tilsettes granbark og massen komposteres.

Erfaringene med metoden er gode (Lystad et al., 2002). Komposten stabiliseres over kort tid og prosessen avgir mindre sjenerende lukt til omgivelsene. Sluttproduktet er naturlig nok rikt på kalkstein (CaCO_3) som er med på å begrense sluttbruken.

I Lindum metoden er ikke formålet å justere pH, men heller å tilrettelegge forholdene for etablering av en komposteringsvennlig mikroflora

Temperaturstyring i startfasen

Ved Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) arbeider en forskergruppe under ledelse av Dosent Håkan Jönssons med ulike problemstillinger knyttet til kompostering av matavfall.

Resultatene fra forsøk i lab reaktor (200 liter) viser på en overbevisende måte at dersom temperaturen styres på et nivå som stimulerer aktivitet av såkalte mesofile organismer (bakterier som er aktive ved temperaturer $< 44^{\circ}\text{C}$), registreres høy omsetning målt som produksjon av CO_2 . Det kan synes som om syrene først omdannes, og pH øker i massen etter kun få dager. I forbindelse med at pH stiger, kan så temperaturen ”slippes løs” uten at den videre komposteringsprosessen hemmes. Dette kan forstås ved at de mesofile bakteriene omdanner syrene før den termofile prosessen kan fortsette omdanning og nedbrytning i massen.

Det kan imidlertid også nevnes at i gjentatte laboratorieforsøk med kompostering av matavfall på Jordforsk har man ikke observert at syreinnholdet i matavfallet har hemmet etablering av varmkompostering.

Erfaringer med kompostering av matavfall i Mellomeuropa

Matavfall i Tyskland er ikke sammenliknbart med matavfall i Norge. Dette er et utsagn som nærmest er opplest og vedtatt. Det finnes lite dokumentasjon av mengder organiske syrer (pH) og bakterieflora i avfallet. En kjensgjerning er imidlertid at andelen med det vi definerer som hage park avfall er dominerende i det tyske avfallet. Erfaringene med å kompostere denne type avfall i lukkede anlegg er gode.

Avsluttende kommentarer

Kildesortert våtorganisk avfall har gjennomgående lav pH når det tas i mot på behandlingsanleggene. Surheten i avfallet skyldes høyt innhold av organiske syrer.

I startfasen av komposteringen inneholder blandinger av matavfall og struktur store mengder anaerobe bakterier, bla. melkesyrebakterier. Disse bakteriene anses ikke som gunstige for rask etablering av varmkompostering.

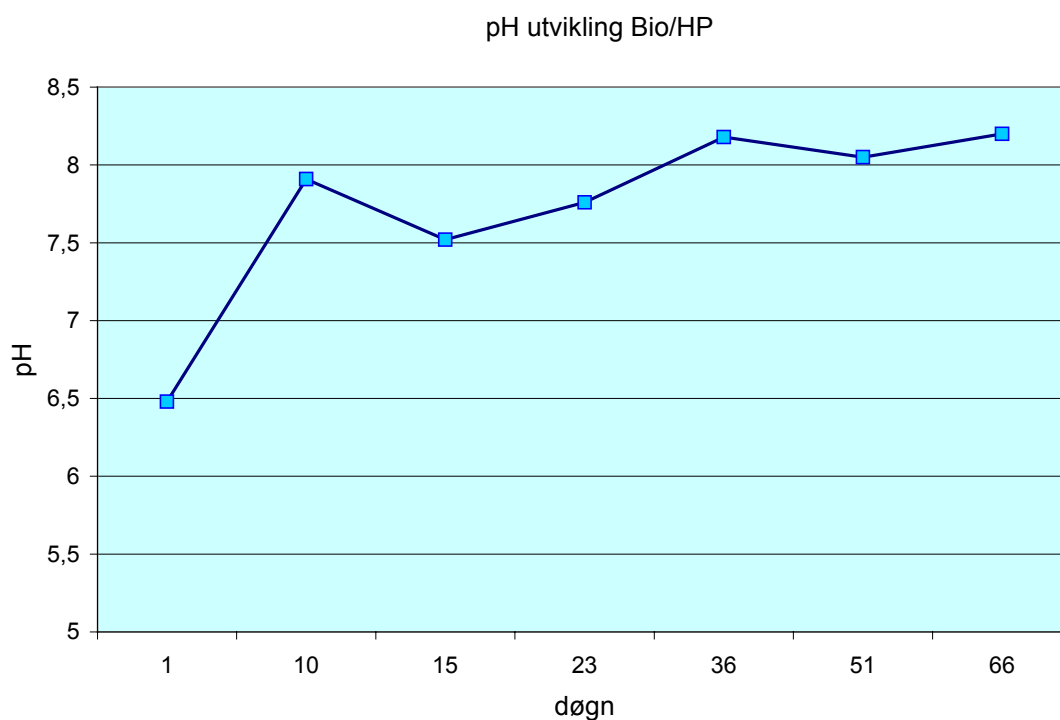
For å få i gang komposteringsprosessen må valg av forbehandling og driften i startfasen føre til at dominansen av forråtnelses bakterier brytes.

Prosjektet anbefaler anleggene å øke kunnskapen om de ulike fraksjonene som blandes til kompostering. I tillegg er det vesentlig at de enkelte anlegg har og tar i bruk nødvendig kjennskap om faktiske driftsforhold, muligheter og begrensinger ved eget anlegg

1. Bakgrunn

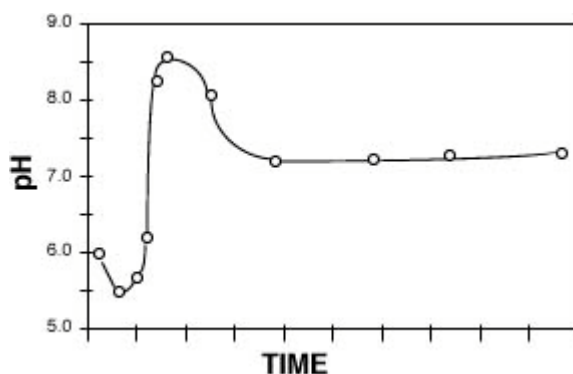
Kompostering av kildesortert matavfall har vist seg å være spesielt utfordrende.

Erfaringene fra mange norske komposteringsanlegg er at prosessen ikke følger det vanlige forløpet med hensyn til bl.a. endringer i pH (figur 1 og 2) og stabilitet (figur 3).



Figur 1. pH utvikling ved kompostering av blanding av hage park avfall og matavfall

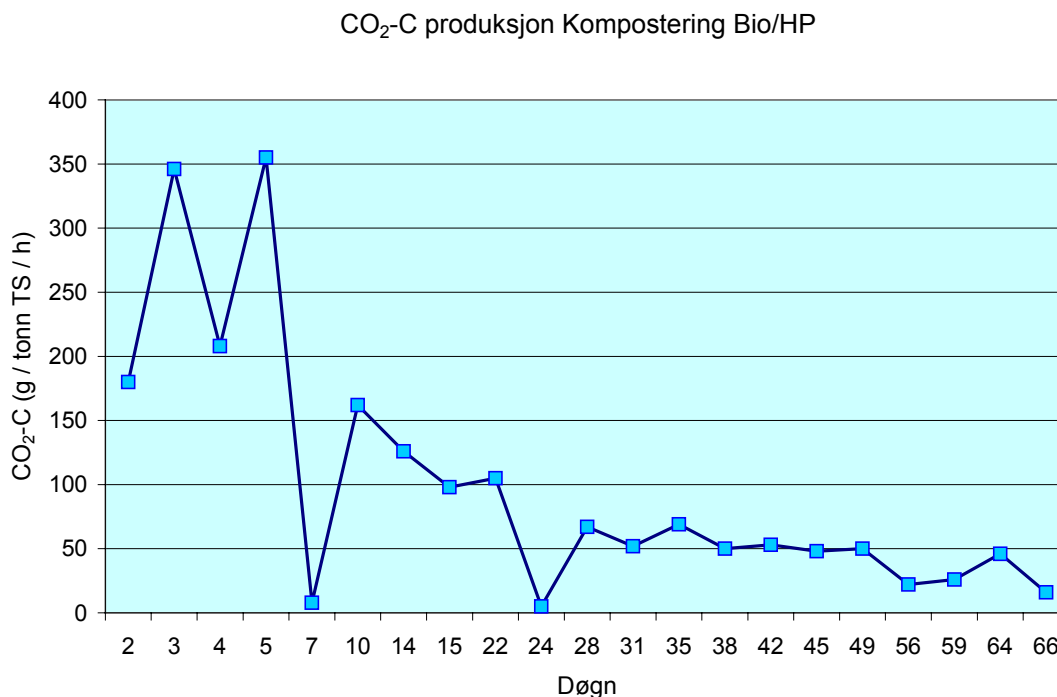
Figur 1 viser at pH stiger gjennom komposteringsforløpet. I noen tilfeller etter et karakteristisk fall helt i starten (figur 2)



Figur2. Eksempel på initialt pH fall i komposteringsprosessen

Forklaringen på dette forløpet er dels at de organiske syrene som enten er en del av avfallet eller dannes i starten (jfr. pH dropp i figur 2) brytes ned og at en og del av den kullsyren som

dannes under komposteringsforløpet reagerer med kalsium og danner kalkstein (Jacobsen, 1991).



Figur 3. Produksjon av CO₂ ved kompostering av blanding av hage park avfall og matavfall (fra Hellmann et al., 1997)

Av figur 3 fremgår at aktiviteten er høyest i de 2 - 3 første uker av komposteringsforløpet. Det er i denne fasen tilgang på lett tilgjengelige karbonkilder. Produksjonen av CO₂ avtar etter hvert til et mer stabilt nivå som reflekterer at substratet blir vanskeligere tilgjengelig og at komposten stabiliseres.

Erfaringsene med kompostering av matavfall har imidlertid vært at pH forblir lav over lang tid uten at kompostens stabilitet, målt indirekte (DEWAR test) eller direkte (SOUR) øker nevneverdig. Det er spesielt i de mer eller mindre lukkede anleggene at problemene er størst hvor det kan være vanskelig å registrere kvalitetsendringer som funksjon av komposteringstid i det hele tatt.

I ORIO-prosjektet *Tiltak for å sikre rask etablering av varmkompostering ved behandling av bioavfall* stilles spørsmålet om kunnskap om kvaliteten i råvaren, altså matavfallet, er et viktig informasjonsgrunnlag å vurdere prosessuelle tiltak fra. Dette fordi denne kunnskapen synes å være sparsom og fordi spesifikk tilrettelegging av komposteringsprosessen (d.v.s. de mikrobiologiske prosesser) kan være spesielt påkrevd for denne type avfall.

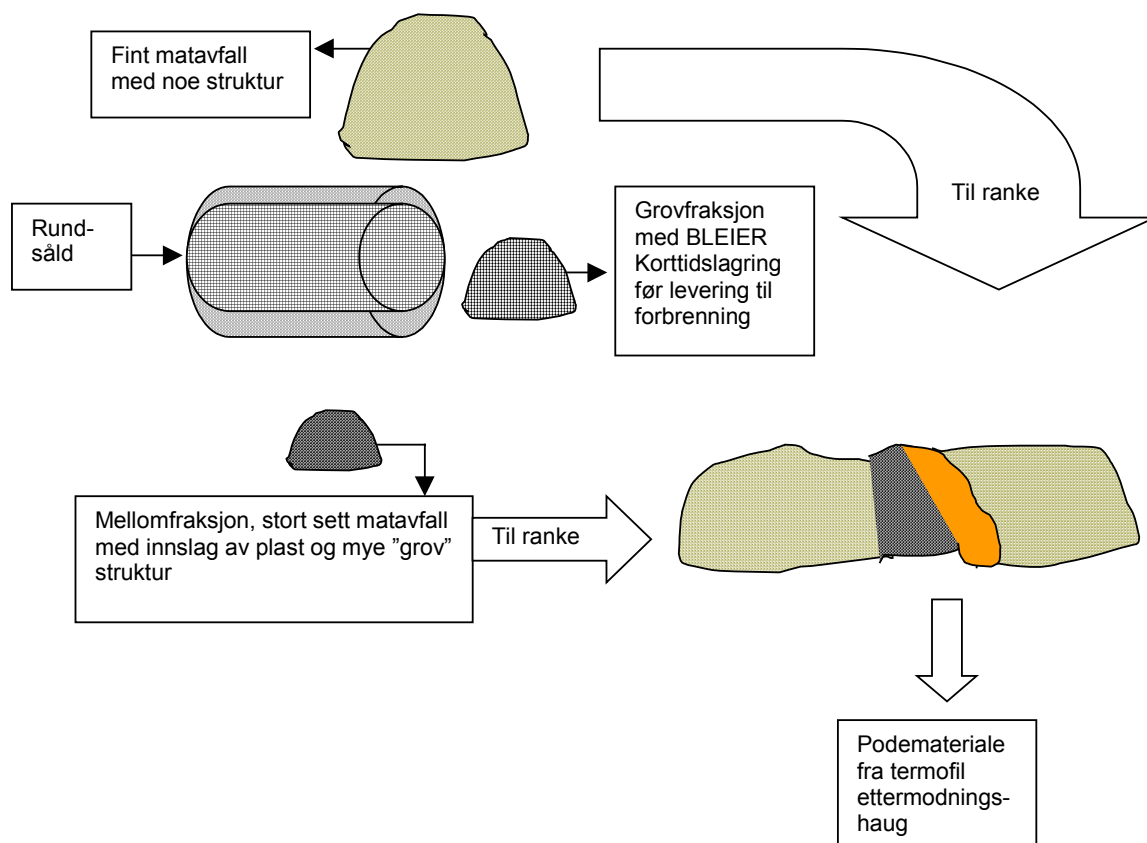
1.1. Deltagende anlegg

I prosjektet deltar 5 anlegg som representanter for lukkete og åpne løsninger samt for kontinuerlige og statiske prosesser.

1.1.1. SØIR

På Sør Østerdals Interkommunale Renovasjonsanlegg på Hornmoen utenfor Elverum komposteres matavfall i 2 etapper, først i små ranker som vendes relativt ofte med rankevender, og så i større ranker som vendes 2 – 3 ganger med hjullasterskuffe. Figur 4 nedenfor beskriver gangen i forbehandling av avfallet på Hornmoen. Avfallet losses på asfaltert plate under tak, og håndteres umiddelbart etter ankomst. Lengste interne lagringstid er 2 døgn (normalt en weekend). Strukturmateriale (skaveflis, kvernet hagepark eller reduserflis) tilføres avfallet på lagerplass eller direkte i forbindelse med kverning / homogenisering gjennom Allu-skuffe. Blandingen av matavfall og struktur lastes i dobbeltromlet såldeverk som separerer 3 fraksjoner (figur 4).

1. Finfraksjon (< 20 mm). Porøs og finfordelt masse som inneholder mye strukturmateriale
2. Mellomfraksjon (20 mm < Mellomfraksjon < 35 x 85 mm). Fraksjon med mye matavfall og lite struktur.
3. Grovfraksjon (> 35 x 80 mm). Hovedsakelig bleier og en del hele grønnsaker og gress. Sist nevnte har en tendens til å danne flak som såldes fra fraksjonene som skal komposteres.



Figur 4: Forbehandling av matavfall på Hornmoen.

Det er finfraksjonen og mellomfraksjonen som går til komposteringsanlegget, hvor disse legges opp som angitt i figur 4. Podematerialet kan enten legges som ”striper” i kompostranken eller tilføres på matavfallet sammen med struktur på lagringsplassen.

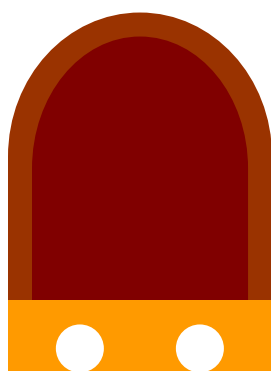
Kompostering i småranke strekker seg over 4 – 6 uker i tid, med intensiv vending i ukene 2 – 4 (6). Etter 4 – 6 uker legges 6 småranker i én storranke som vendes 3 ganger før sluttsålding. Ved sålding tas det prøver av komposten for analyse av indikatororganismer (hygiene) samt næringssalter og tungmetaller.

1.1.2. IR

På komposteringsanlegget som drives av Innherred Renovasjon komposterer matavfall i store statiske ranker, der luften tilføres massene ved undertrykk (sug).

Forbehandling og kompostering følger rutinene beskrevet nedenfor.

1. Neddeling av avfall fra mottakslager i Allu-skuffe
2. Direkte sålding på rundsåld (60 * 60 mm)
3. Utlegg i blandranke (2 volumdel matavfall + 1 volumdel struktur)
4. Blanding med rankevender
5. Etablering i storranke
6. Storranken bygges opp som følger av figur 5 nedenfor



- **Barklag (biohud) ca. 30 cm**
- **Kompostblanding, maksimal høyde = 3 m**
- **Grovflis fra rivningsvirke med lufterør (30 – 40 cm)**

Figur.5 Oppbygging av ”madrassranke” i IR’s komposteringsanlegg i Verdal

Hver storranke er ca. 30 meter lang. Rankene etableres side om side slik at de etter hvert danner en ”madrass”.

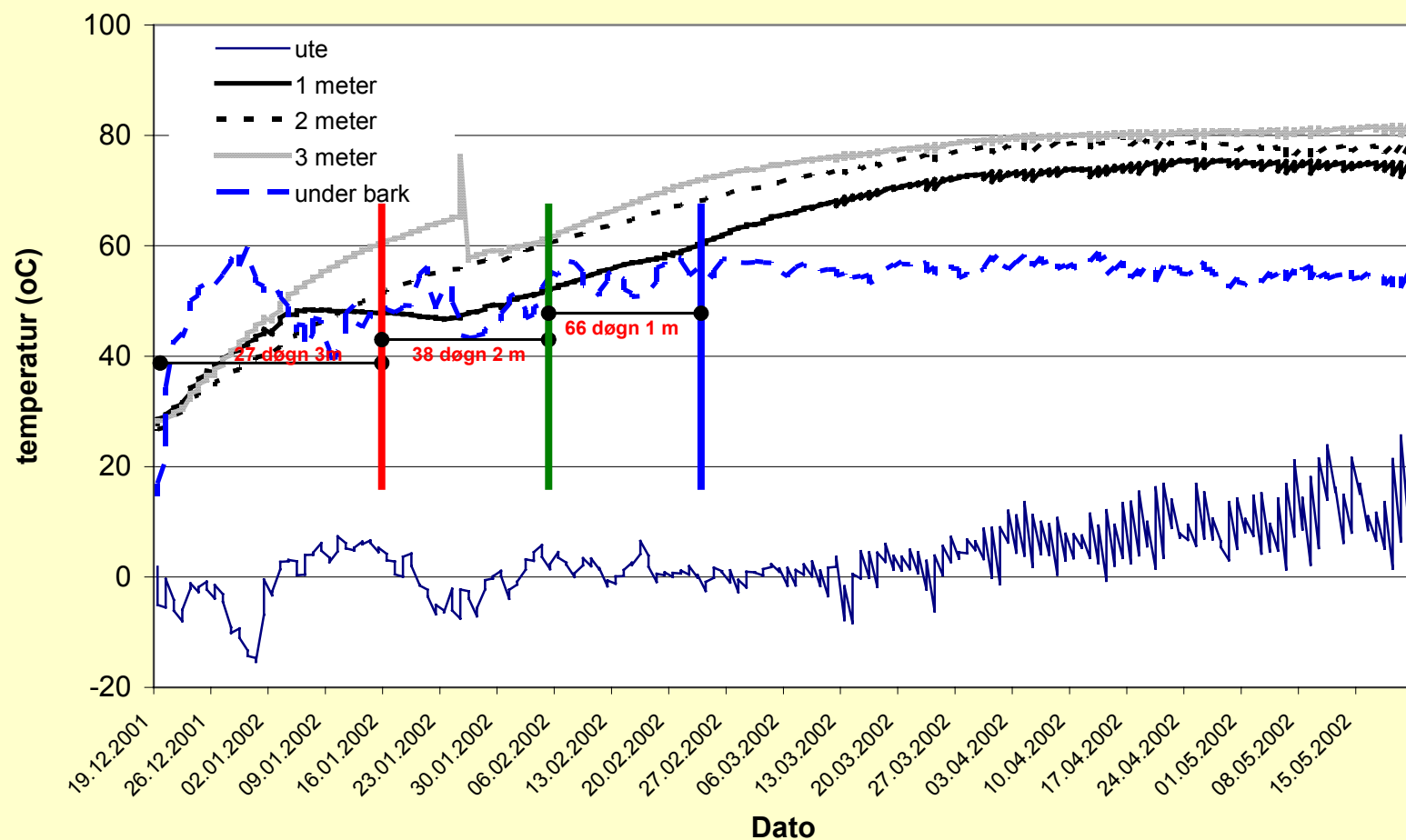
Ranken luftes normalt⁶ ved sug. Fullt utbygget er 9 vifter i drift. Viftene gir hver 3 500 m³/time. I undertrykksystemet vil imidlertid effekten være lavere. Det finnes ingen estimerer på hvor store luftmengder som går gjennom komposten.

Madrassen luftes på tidsfrekvens, typisk 2 - 4 minutter hver halvtime. Temperatur og oksygen måles 30 – 60 cm under overflaten av madrassen, minst en gang pr. uke. Det tar kort tid å oppnå temperaturer > 60°C (figur 6). Ved befaring hadde flere av madrassrankene temperaturer tett under og like over 70°C.

Oksygenmengdene i samme målesoner lå på rundt 10 %.

Komposteringen strekker seg normalt over 6 måneder.

⁶ Systemet kan veksle mellom trykk og sug



Figur 6: Temperaturutvikling i statisk luftet ranke i IR's komposteringsanlegg i Verdal. Etter ca. 10 uker har hele komposteringsmassen oppnådd minimum 60°C. Like under barklaget (biohuden) holder temperaturene seg mellom 40°C og 60°C gjennom hele komposteringsperioden (fra Aandahl, 2002)

1.1.3. RKR

Komposteringen på Støleheia utenfor Kristiansand skjer i 3 trinn:

1. Kompostering i luftede binger med kontinuerlig innmating
2. Kompostering i statiske hauger med luftinnblåsing fra bunn.
3. Etterkompostering i storranker etter sålding (10 mm). Vending 5 – 7 ganger med hjullaster i løpet av minimum ½ år.

Kompostering i binger

Hver bing har 5 temperatursoner som logges kontinuerlig med registrering i PC. Dagens system er ikke tilrettelagt for å følge endringene i temperaturforholdene i massen etter hvert som denne transporteres gjennom bingen. Imidlertid er det mulig å følge opp denne utviklingen manuelt, ved å korrelere vendefrekvenser opp mot temperaturregistreringene.

Temperaturen måles i vegg noe som kan gi falske⁷ opplysninger på grunn av kortslutninger i luftstrømmen. Det er imidlertid gjennomført forsøk som dokumenterer at det er en relativt forutsigbar temperaturgradient gjennom massen fra veggmålingen (automatisk) og til målinger i definerte soner i massen. Halvveis fra midtsone til vegg, ca. 50 cm under overflate, er temperaturene normalt på det høyeste.

Lufting reguleres i henhold til tid i de enkelte soner (A, B, C, D, E) og i henhold til temperatur (settpunkter valgt for de samme 5 soner).

En typisk driftssituasjon vil være: 3 minutter viftetid hvert kvarter og viftestart når temperaturen overstiger av 64°C.

Kapasiteten i viftene er 2 200 m³/time med maks trykkfall 1 700 Pascal. Hallen har konstant undertrykk og ventileres med 125 000 m³ / time. Det tilføres frisk luft til komposten.

De første lengdene av bingene inkluderes ikke i lufteregimet.

Rankene vannes fra sprinkler anlegg (eksklusiv sone A).

1.1.4. HRA

Komposteringen på Trollmyra ved Jevnaker skjer i 3 trinn:

1. Kompostering i luftede binger hvor massen samtidig vendes regelmessig
2. Kompostering i statiske hauger der luft tilføres med overtrykk fra bunnen (jfr. RKR).
3. Etterkompostering i små – moderat store ranker som vendes noen få ganger før sålding og anvendelse av komposten i jordblandinger

⁷ For lave temperaturer

HRA komposterer matavfallet i et såkalt BKS anlegg, hvor massen tilføres luft fra bunnen i åpne binger. Massen vendes ved å flytte ca. 20 % av bunnlaget til toppen av massen gjennom et omfattende utmatings- og transportsystem. Vending av hele bingevolumet tar normalt 1 uke.

Luft tilføres massen gjennom 4 rør i gulvet på hver binge. Gjennomstrømningen ved dagens drift er oppgitt å gi 540 m³/h per binge som rommer 200 m³ masse. Lufting slås av/på hvert tiende minutt. I følge utførte målinger fører dette til at oksygennivået i massen stort sett er høyere enn 3 %.

Temperaturen under komposteringsprosessen måles regelmessig, men den brukes ikke som styringsparameter for prosessen. Prosessen (lufttilførselen) er dermed bare styrt etter tid. Normalt er temperatur i massen under kompostering ca. 60 °C. Vinterstid er det imidlertid problemer med å oppnå temperaturer over 40 °C i massene.

Etter behandling i binger ettermodnes komposten i hauger som tilføres luft fra bunnen. Etterkomposteringstid ca. 45 dager.

1.1.5. IRS

Komposteringen på Erikstemmen utenfor Flekkefjord skjer i 4 trinn.

1. Avfallet kvernes før kompostering i en luftet formodningstank. Midlere oppholdstid er beregnet til 4 døgn (maksimum 1 uke)⁸
2. Massen komposteres i luftet trommel. Midlere oppholdstid er beregnet til 7 døgn⁹
3. Massen lastes til ettermodningstank med holdetid ca. 4 døgn.
4. Etterkompostering i store ranker med regelmessige vendinger med hjullaster.

Kvernet avfall losses i mottakstrau og skrues derfra inn i en skruheis som losses avfallet inn i formodningssilo (200 m³). Formodningssiloen tilføres luft gjennom dyser fra bunnen (700 – 800 m³/time).

I hvilken grad det oppstår driftsforstyrrelser eller opphopninger av avfall som tilsier at formodningssiloen kortsluttes er ukjent.

Avfallet skrues ut fra bunnen av formodningstanken og transporteres / heises i lukkede transportskruer til innmatingstrau som leverer til 2 stk. reaktorer levert av Bømlo aluminium.

Reaktorvolumet er 130 m³. Reaktoren er utstyrt med langsgående vinger. I to av disse (180 ° på hverandre) tilføres luft (ukjent effekt/mengde).

Total oppholdstid inklusive formodningssilo kan dermed ligge i området 2 uker.

Kompost transporteres / heises i lukkede skruer til ettermodningssilo (topplossing) hvorfra den skrues ut i bunn. Utmating av frisk kompost er den eneste styrte funksjonen i IRS-anlegget.

⁸ Oppholdstid i formodningssilo er ukjent, men dersom 4500 tonn med avfall av egenvekt 0,5 tonn/m³ losses jevnt over året (220 virkedager) tilsier det ca. 40 m³/døgn. Oppholdstider opp mot 1 uke kan ut fra ovenfor stående være realistisk.

⁹ Oppholdstiden i reaktoren er ukjent, men dersom 4000 – 5000 m³ med avfall prosesseres i en reaktor og fyllgraden ligger på 45 – 50 % bør oppholdstiden ligge i området 6 - 7 døgn.

Mottrykket på hydraulisk skruesystem regulerer utmating, noe som sikrer jevn utmating fra anlegget (30 – 40 m³/ virkedøgn).

Komposten siktes på 15 mm rundsåld og ettermodnes i hauger i 3 – 4 meter høyde.

1.2. Klassifisering av anlegg

Tabell 1 nedenfor sammenfatter prosesser og driftsform ved de 5 anleggene.

Komposteringstiden gjelder ved normal drift. Kapasitetsutnyttelsen varierer ved de ulike anleggene.

Tabell 1: Driftsformer ved deltageranleggene.

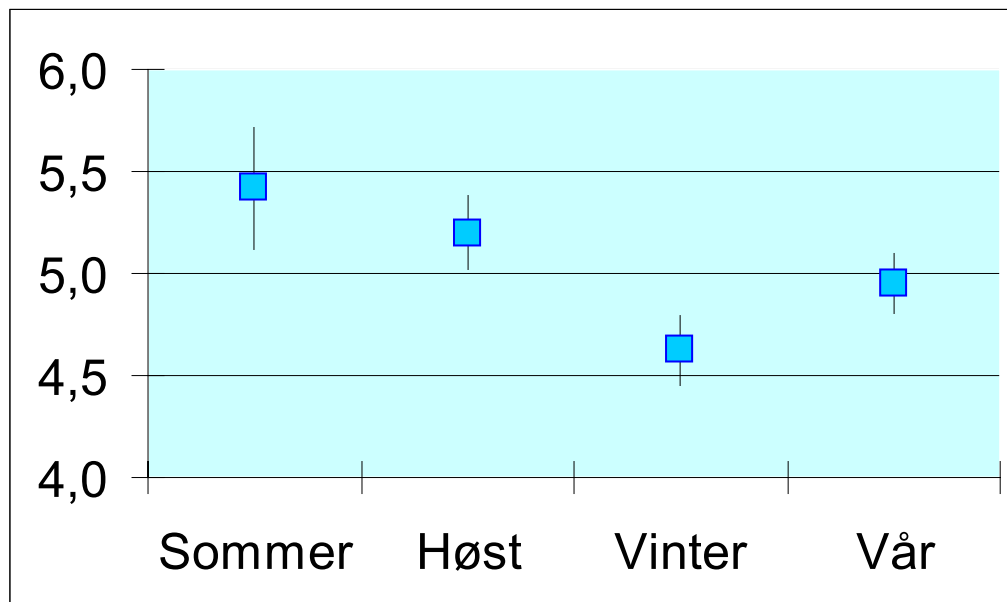
- Begrepet Batch viser til at avfallet komposteres i avgrensede volum og kan spores gjennom hele prosessen frem til ettermodning eller lagring. Avfallsblandingen holdes i en tidsperiode avgrenset i en definert lukket (for eksempel bølge) eller åpen (ranke) enhet.

	AKTIV FASE (Hygieniseringsfasen)			Lufttilførsel	Komposteringstid Aktiv Fase
Anlegg	Lukket / Åpen	Statisk / Dynamisk	Batch / Kontinuerlig	Blås / Sug / Mekanisk	Antall døgn (normal)
SØIR	Å	D	B	M	25 – 28 døgn
IR	Å	S	B	S	180 døgn
RKR	L	D	K	B / M	30 -35 døgn
HRA	L	D	B	B / M	35 døgn
IRS	L	D	K	B / M	10 – 12 døgn

1.3. Kvaliteten i råstoffet, - kildesortert matavfall

Det finnes relativt sparsomt med dokumentasjon av kvaliteten i matavfallet som skal komposteres. Normalt vil god kunnskap om råstoffet være en forutsetning for å få til en god og ikke minst forutsigbar produksjon av kompost, som altså skal utnyttes som en ressurs enten alene eller som del av jordblandinger og vekstmedier.

Renovasjonsselskapet for Kristiansandsregionen (RKR) gjennomførte i 2000 et prosjekt med formål å dokumentere kvaliteten i matavfallet og finne variasjoner som funksjon av årstid og kilde (Norgaard, 2000). En av hovedkonklusjonene var at avfallet var gjennomgående surt ved ankomst og at pH var lavest i perioder med lengst lagringstid (figur 7).



Figur 7: pH i avfall mottatt ved RKR's komposteringsanlegg på Støleheia. Gjennomsnitt for 7 ulike avfallskilder ($n=21$) (Norgaard, 2000).

I forbindelse med forsøk gjennomført av Håkan Jönssons gruppe ved Universitetet i Uppsala, ble kvaliteten i kildesortert matavfall inngående dokumentert (tabell 2).

Tabellen beskriver også et surt avfall. I tillegg påvises store mengder med de organiske syrene melkesyre og eddiksyre.

Tabell 2: Sammensetning av kildesortert matavfall (Smårs, 2002)

Komponent / Fraksjon	% av organisk stoff	% av TS
Sukker	1,60 %	1,2 %
Stivelse	13,20 %	9,9 %
Fett	15 %	11,2 %
Cellulose	15,60 %	11,7 %
Hemicellulose	3,20 %	2,4 %
Lignin	9,90 %	7,4 %
Protein	6,40 %	4,8 %
Melksyre	1,50 %	1,1 %
Eddiksyre	0,60 %	0,4 %
Etanol	0,50 %	0,4 %
Uidentifisert fraksjon	32,50 %	24,3 %
Kontroll	100,00 %	74,85 %
Aske		25,15 %

1.4. Gjennomføring av prosjektet

Det er med bakgrunn i dårlige erfaringer fra norske lukkede komposteringsanlegg og den sparsomme dokumentasjonen som foreligger at ORIO prosjektet *Tiltak for å sikre rask etablering av varmkompostering ved behandling av bioavfall* er gjennomført.

Prosjektet ble gjennomført i 3 trinn:

1. Trinn 1:

Besøk til anleggene for å klarlegge dokumentasjon og praktiske rutiner knyttet til avfallsinnsamling, forbehandling og kompostering.

Erfaringer og resultater fra besøkene skulle danne grunnlag for å vurdere behov for kompletteringer som eksempelvis prøvetaking og analyser av avfall.

2. Trinn 2:

Komplettering av dokumentasjon.

Det ble besluttet innsamling av kildesortert matavfall fra samtlige anlegg for å dokumentere pH og kjemisk sammensetning. Det ble spesielt fokusert på innholdet av organiske syrer

3. Trinn 3:

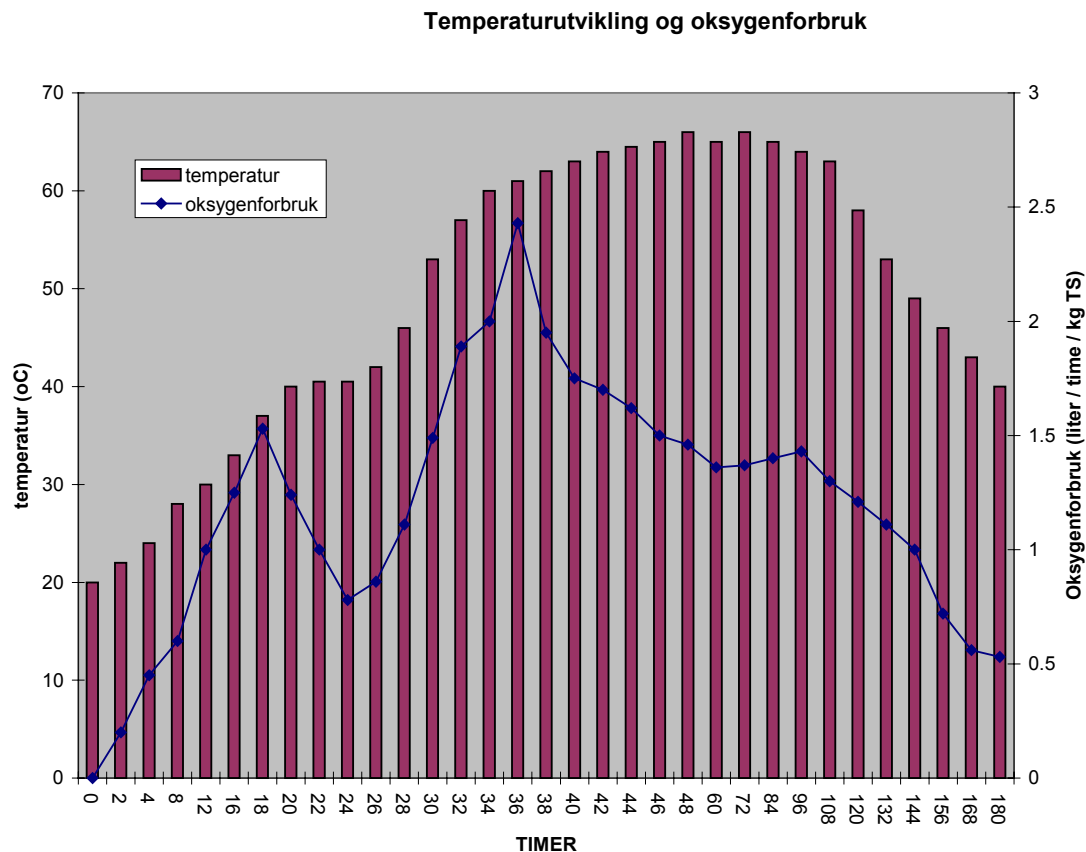
Etablering av tiltak, forbehandling og/eller prosessrettede, med grunnlag i innhentet informasjon.

Gjennomføring av forsøk i stor skala for å verifisere effekt av tiltak.

2. Innledning

2.1. Et vellykket komposteringsforløp fra driftsoperatørens ståsted

”Beviset” for et vellykket komposteringsforløp er oftest registrering av høye temperaturer i massene (figur 8).



Figur 8: Temperaturutvikling som ”funksjon av” aktiviteten ved kompostering av våtorganisk avfall (fra Viel et al., 1987)..

I tillegg til det karakteristiske temperaturforløpet er andre gode kvantitative og kvalitative indikatorer:

- raskt stigende pH, eventuelt etter en innledende nedgang
 - lukt av ammoniakk
- redusert glødetap
- mørkere farge i massen
- økning i stabiliteten

2.1.1. Temperatur og energibalanser

Den høye temperaturen alene er ikke alltid et suksesskriterium. Kompostmasser fungerer som god isolasjon og vil derfor konservere varmeenergien (høy temperatur) over lang tid. Aktiviteten som danner grunnlaget for slike temperaturbilder behøver imidlertid ikke å være særlig høy.

Det er derfor viktig å få informasjon om hvor mye tilført energi som skal til for å holde et ønsket aktivitetsnivå. I et komposteringsanlegg vil dette normalt si tilførsel av luft.

Luftingen vil i forhold til mikrobiell aktivitet ha 3 funksjoner:

- I) Den skal sikre tilstrekkelige mengder med molekylært oksygen (O_2) for aerob mikrobiell nedbrytning / omdanning av organisk materiale.
- II) Den skal fjerne varme
- III) Den skal fjerne vann

Det finnes mange modeller for å beregne luftbehov i anlegg med tvunget lufting. Modellen nedenfor er hentet fra College of Engineering, Iowa State University.

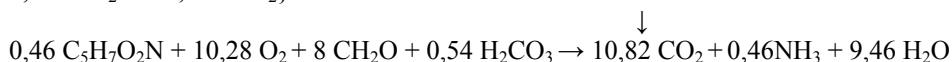
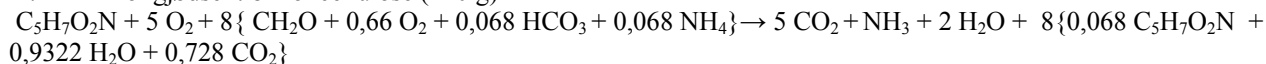
Beregning av luftbehov ved kompostering av en blanding av gjødsel og struktur (papir og flis)

Støkiometrisk grunnlag:

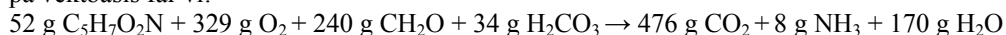
Modellmolekyl gjødsel (G):	$C_5H_7O_2N$	-	Molekylvekt: 113 g/mol
Modellmolekyl cellulose ©:	CH_2O	-	Molekylvekt: 30 g/mol
Blandforhold (vekt/vekt) G/ ©:	1:2		

Støkiometri:

1 : 2 = 1 mol gjødsel : 8 mol cellulose (240 g)



på vektbasis får vi:



I) TILFØRSEL AV MOLEKYLÆRT OKSYGEN

Av likningen over fremgår at det må tilføres 329 g O_2 per 292 g tørr avfallsblanding som brytes ned eller 1124 kg O_2 per tonn.

Luftbehovet for å bryte ned / omdanne ett tonn avfallsblanding:

$$1124 \text{ kg } O_2 / (0,232 \text{ masseenheter } O_2 / \text{masse luft} \times 1,29 \text{ kg/m}^3 \text{ ved } 0^\circ C \times 0,9 \text{ kg/m}^3 \text{ ved } 30^\circ C) = 4,2 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ luft ved } 30^\circ C.$$

II) FJERNING AV VARME

52 g slam x 6 kcal/g slam + 240 g papir x 3,7 kcal/g papir

↓
1200 kcal per 292 g avfallsblanding som brytes ned / omdannes eller $4,1 \times 10^6$ kcal per tonn eller $1,7 \times 10^7$ kJ per tonn

Psykrometriske kart eller kalkyler anvendes for å bestemme forandringer i entalpien fra luft ved 50 % relativ fuktighet ved $30^\circ C$ til 100 % relativ fuktighet ved $50^\circ C$ gir som følger:

50 % RH ved $30^\circ C$:

$$h = 65 \text{ kJ / kg tørr luft}$$

100 % RH ved $50^\circ C$:

$$h = 275 \text{ kJ / kg tørr luft}$$

Forandring i entalpi:

$$\Delta h = 210 \text{ kJ / kg tørr luft}$$

Luftmengde for å fjerne varmeenergi i massen:

$$10^7 \text{ kJ} / (210 \text{ kJ/kg tørr luft}) = 8,1 \times 10^4 \text{ kg tørr luft} = 6,9 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ luft per tonn avfallsblanding}$$

III) FJERNING AV VANN

Mål: Bevare konstant fuktighet. Alt metabolsk vann må fjernes. I tillegg må det kompenseres for tap av masse (p.g.a. mikrobiell omdanning).

Produksjon av metabolsk vann fremkommer fra reaksjonslikningen ovenfor.

→ 582 kg H_2O .

Mengden av vann som må fjernes for å kompensere massetapet er jo avhengig av TS i startøyeblikket. Dersom dette settes til 40 % (d.v.s. 60 % vann) vil det for hvert tonn avfall som omdannes være behov for å fjerne 1500 kg H_2O .

Psykrometriske kart eller regnemodeller anvendes for å bestemme forandringer i vanninnholdet fra luft ved 50 % relativ fuktighet ved $30^\circ C$ til 100 % relativ fuktighet ved $50^\circ C$:

50 % R.H. ved $30^\circ C$:

$$H_2O = 14 \text{ g } H_2O / \text{kg tørr luft}$$

100 % R.H. ved $50^\circ C$:

$$H_2O = 87 \text{ g } H_2O / \text{kg tørr luft}$$

$$\Delta H_2O = 73 \text{ g } H_2O / \text{kg tørr luft}$$

$$(582 \text{ kg } H_2O + 1500 \text{ kg } H_2O) / (0,073 \text{ kg } H_2O / \text{kg tørr luft}) = 28500 \text{ kg tørr luft} = 2,54 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ luft}$$

Mengde luft tilført ved nedbrytning av 1 tonn avfall:

I) Molekylært oksygen i luft: $4,2 \times 10^3 \text{ m}^3$ luft ved $30^\circ C$

II) Fjerne varmeenergi: $6,9 \times 10^4 \text{ m}^3$ luft

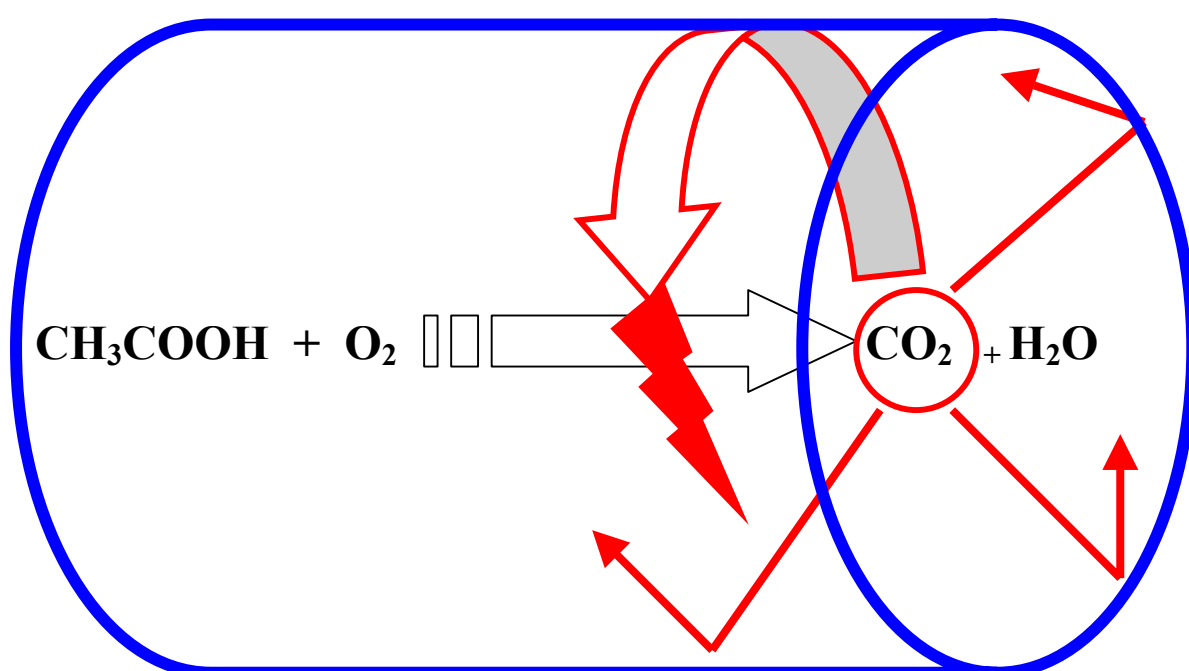
III) Opprettholde konstant fuktighet: $2,5 \times 10^4 \text{ m}^3$ luft

2.2. Komposteringens startfase

Mikroorganismene, primært bakteriene, bryter først ned de lett omsettelige organiske forbindelsene. Først de som er oppløst i vann og dernest polymerer så som stivelse, fett og proteiner.

Dersom substratet (bakteriematen) er glukose (for eksempel fra stivelse) finnes det flere muligheter (ulike gjæringer) som i en komposteringsprosess bør ende opp med en fullstendig omsetning til CO₂ og vann.

Hvordan den siste reaksjonen går avhenger av nivåene av oksygen og karbondioksid som måles i massen. Komposten skal både tilføres nok oksygen og sikres god utlufting av karbondioksid. Dersom CO₂ ikke fjernes fra komposten hemmes oksidasjonen av eddiksyre. Resultatet blir akkumulering av eddiksyre og lav pH (figur 9).



Figur 9: Skjematisk fremstilling av CO₂ som produktregulerende faktor ved oksidasjon av eddiksyre. Blåfarget sylinder (trommel) antyder at dette kan være en spesielt fremherskende situasjon i lukkede komposteringsanlegg

2.3. Vansker med å etablere komposteringsprosessen fra matavfall, mulige årsaker og tiltak

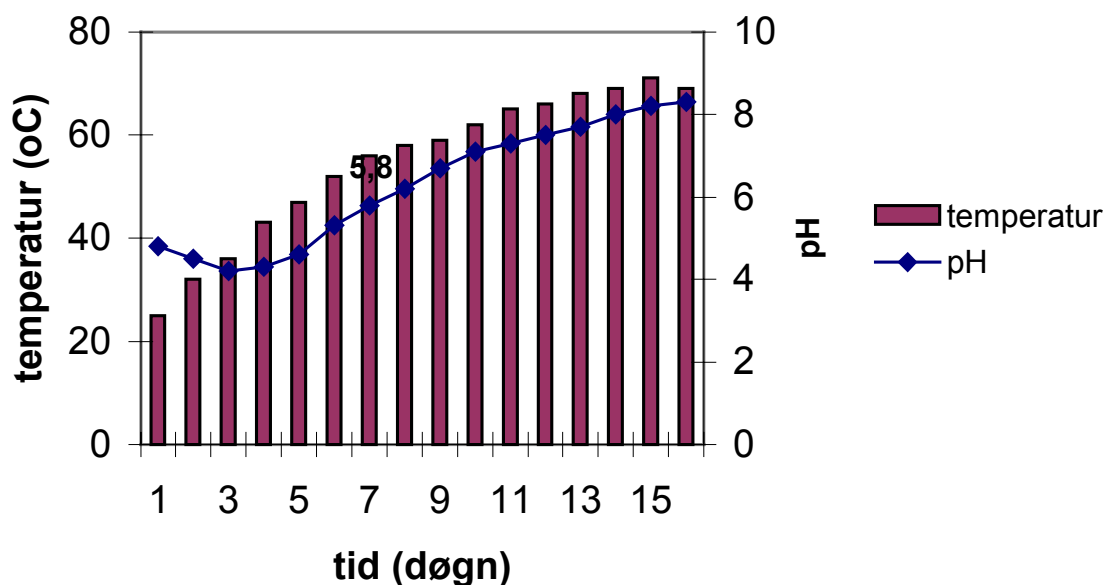
ORIO prosjektet hadde i utgangspunktet hypoteser om årsaken til at kompostering av matavfall ikke følger det normale forløpet.

2 sentrale hypoteser var:

- At en selektiv flora av anaerobe syredannende bakterier og relativt sterile strukturmateriale er lite egnet for igangsetting av kompostering
- At høye konsentrasjoner med organiske syrer, primært eddiksyre, ville virke direkte hemmende på den mikrobielle aktiviteten.

I utgangspunktet skisserte prosjektet 2 typer hovedtiltak:

1. At blandingen mellom avfall og struktur tilføres tilpassede mikroorganismer som kan oksidere fettsyrer ved lav pH og høy temperatur (figur 10); - såkalt poding.



Figur 10: Et ideelt inokulum forventes å være kompost fra aktiv fase der pH stiger i et termofilt område

2. At pH justeres opp, for eksempel ved tilsetning av kalk. Dette vil overføre protoniserte syrer til saltformen som ikke har hemmende effekt på den mikrobielle aktiviteten. Karbondioksid felles samtidig ut som kalkstein (CaCO_3).

3. Materialer og metoder

3.1. Spørreskjema ved bruk under befaringer av anlegg (Fase 1)

I forbindelse med befaringer til anleggene ble det benyttet egne skjema med relevante spørsmål for problemstillingen. Det vises til egen arbeidsrapport i denne anledning.

3.2. Oppfølgende prøvetaking og analyser (Fase 2)

3.2.1. Opparbeiding av prøvemateriale

Etter uttak, foretatt av Norsk Jordforbedring eller Jordforsk (IR tok prøvene selv etter prøvetakingsprosedyre), ble prøvene snarest mulig transportert/sendt til Jordforsk. Her ble de lukkede beholderne lagret ved + 4 °C inntil videre bearbeiding innen 48 timer etter prøvetaking.

Fra beholderne ble det tatt ut ca. 1 kg prøve som ble malt i kjøttkvern (Elektrolux Assistant) på lav hastighet. Beinsplinter, papir og lignende som hindret kverningen ble fjernet fra prøvene. På dette nykvernede materialet ble det umiddelbart utført analyser av utvalgte mikroorganismer. Resten av prøven ble frosset ved -20 °C i nye plastposer før de ble levert til Jordforsk Lab for kjemiske analyser.

Analyser av luftporevolum og vannholdeevne ble utført direkte på 10-40 L prøvemateriale fra de lukkede beholderne innen 48 timer etter prøvetaking (+4 °C).

3.2.2. Fysikokjemiske og fysiske analyser

Ledningsevne, pH, tørrstoff (TS) og glødetap (GT) ble analysert ved standard metoder ved Jordforsk Lab

Tetthet, luftporevolum (FAS) og vannholdeevne ble målt som beskrevet av Aasen og Lystad (2002).

Tetthet

Tettheten ble bestemt ved innveiling av prøvene i 12 l sylindere som ble benyttet til henholdsvis vannkapasitetsmåling og porøsitetsmåling i henhold til følgende prosedyre:

- En tom sylinder ble fylt med prøvemateriale.
- Sylindren ble dunket lett 4-5 ganger mot et hardt gulv til prøvematerialet satt seg i sylindren, og synlig innsynkning av prøven stoppet opp.

Luftporevolum

Luftporevolum defineres her som andelen luft (engelsk: Free Air Space = FAS) av totalt prøvevolum i prosent. En modifisert metode beskrevet av Kehres og Maile (1994) ble benyttet. Prinsippet for metoden er basert på gasskonstantloven hvor $pV = k$, der p er trykk, V er volum og k er en konstant. Ved å plassere en prøve i en beholder med et gitt volum og trykk og trykksette denne ved hjelp av en tilkoblet beholder nummer 2 med kjent trykk og volum, vil differansen i volum før og etter trykksetting gi volumet av ikke-komprimerbart materiale i prøven. Da totalvolumet til prøven er kjent kan luftporevolumet i prøven bestemmes. Følgende prosedyre ble benyttet:

Det ble etablert et 2 bar overtrykk ved å fylle vann direkte fra ledningsnettet inn på en trykktank. Høyden på vannspeilet ble målt og trykksatt volum ble utregnet. Trykket ble så utlignet mellom trykkbeholderen og prøvebeholderen og det utlignede trykket ble avlest. Ikke-komprimerbart materiale og luftporevolum i prøven ble så regnet ut for prøvens spesifikke tetthet.

Vannholdekapasitet

Vannholdekapasitet (eller feltkapasitet) defineres her som den vannmengden en prøve kan ta til seg under full kapillarmetning mot tyngdekraften. Da materialene i denne undersøkelsen inneholdt grovere strukturer, var det nødvendig å øke størrelsen til prøvesylinder i forhold til den beskrevne metoden (Kehres og Maile, 1994). Følgende modifiserte metode ble benyttet:

En 45 cm høy sylinder med innvendig diameter på 19 cm ble utstyrt med en perforert rist 5 cm fra bunnen. På risten ble det fylt et 5 cm tykt lag med vasket og siktet 2-4 mm singel som igjen ble dekket med et filterpapir mot prøven i sylinderen. Sylinderen med singellag og filter ble satt i vann og deretter til avrenning i 30 minutter før den ble veid ("tom") med 1 g nøyaktighet. Sylinderen ble så fylt med prøven og sylinderen ble dunket lett mot et hardt gulv til massen ikke sank sammen mer. Sylinder med prøve ble veid og fyllgraden av prøven målt ("full"). Deretter ble sylinderen plassert i et kar hvorpå karet ble fylt med vann så sakte at prøven i sylinderen fikk tid til å trekke til seg vannet fra bunnen av. Karet ble fylt til vannet dekket prøven med 1 cm. Prøvene fikk trekke vann i minst 4 timer. Vannet ble deretter tappet ut og sylinderen ble overført til en seng av et vannsugende materiale hvor prøven stod til avrenning i minst 2 timer med et lokk på toppen. Sylinderen ble veid på ny etter at alt vannet var rent av ("vannmettet"). Vannholdekapasitet (VK_{maks}) ble regnet som forholdet i prosent mellom tilbakeholdt vannmengde i prøven og prøvens volum og angitt for prøvens spesifikke tetthet. Tilbakeholdt vannmengde ble beregnet som differansen mellom masse avrent prøve og masse tørrstoff i innveid prøve. Prøvevolumet ble beregnet etter fyllgrad i sylinderen og dens diameter.

Vannavgivelse under trykkbelastning.

For å bestemme om avfall av forskjellig alder avgir ulik mengde fuktighet under trykkbelastning, ble prøvene trykksatt med et stempel tilpasset prøvesylinderen i begge de to ovenstående metodene (bestemmelse av luftporevolum og vannholdekapasitet). Mengde vann som ble avgitt under trykksetting tilsvarende 2 m vannsøyle ble registrert.

På stempelet ble det montert en vektstang med lodd som flyttes på stanga for å variere trykkbelastningen. Prøvene kan i dette oppsettet trykkbelastes tilsvarende rankehøyder fra 0-4 m av kompost med en gitt tetthet på 500 kg/m^3 (1 m rankehøyde tilsvarer 0,5 m vannsøyle). For hver ny belastning fra vektstanga ble sammenpressingen av prøven avlest etter at den stoppet opp. Trykkbelastningene i de to sylindrene gir et mål for trykkstabilitet i tørre og våte prøver fra henholdsvis luftporevolummålingen og vannholdekapasitetsmålingen.

3.2.3. Kjemiske analyser

Organiske syrer

Det ble analysert mengde av utvalgte organiske syrer av størrelse C₁-C₇. En kjent mengde fast stoff, ekstraheres med 0,1 M NaOH. Syrene overføres til ioneform og trekkes dermed ut av det faste stoffet. Vannfasen tilsettes internstandard, og konsentrert HCl som deretter ekstraheres med dietyleter. Av eterekstraktet tas det ut 500 µl som derivatiseres med N-Metyl-N-t-butyldimetylsilyl trifluoroacetamid, og ekstraktet injiseres på en gasskromatograf koblet til et massespektrometer (GC-MS), med elektron impact ionisasjon (EI). Instrumentet måler diagnostiske ioner, med selected ion monitoring (SIM). Hver syre kvantifiseres mot fire-punkts standardrekker (vedlegg 6)

Ammonium-N

Rå prøve ekstraheres med 2 M KCl. I ekstraktet måles NH₄-N. Bestemmelsen gjøres kolorimetrisk i en autoanalysator. Absorbansen måles ved 660 nm

Sulfid

Sulfidmengden i prøvene ble målt etter ISO 10530 ved SGAB Analytica ved at prøven løses opp i en syreløsning med N,N-dimetyl-p-fenyldiamin. Leucometylenblå ble oksidert med jern til metylenblå, og absorbansen målt i spektrofotometer ved 660nm.

3.2.4. Mikrobiologiske analyser

Aerobe mikroorganismer

Kimtall i prøvene ble bestemt etter at ca. 10 g prøve ble homogenisert med sterilt fysiologisk saltvann i Waring blender (hurtigmikser) i 2 minutter. Deretter ble det laget en 10 folds fortynning i samme saltløsning. Fra fortynningene ble det plattet 0,1 ml på Petrifilm AC - Totalkim. Mediet anvendes generelt for påvisning av mikroorganismer i næringsmidler. Det gir vekstgrunnlag for et vidt spekter av aerobe bakterier. De inokulerte filmene ble innkubert ved 22-25°C i 4 døgn før antall kolonier ble talt.

Anaerobe mikroorganismer

Innholdet ble bestemt på samme måte som aerobe mikroorganismer, men innkubert under anaerobe forhold. Mediet gir vekstgrunnlag for et bredt spekter av anaerobe mikroorganismer, men spesielle typer som for eksempel sulfatreduserende bakterier vil ikke vokse. Det kan ikke ses bort fra at organismer som påvises som anaerobe også kan finnes blant de aerobe fordi enkelte bakterier er i stand til å vokse både anaerobt og aerobt; såkalt fakultativt anaerobe bakterier. De anaerobe bakteriene som påvises på denne måten må forventes å være fermentative (gjærende). Inkubasjon skjer ved 22-25°C.

Gjær og muggsopp

Analysen ble utført som for aerobe mikroorganismer, men det ble benyttet Petrifilm med medium for mugg og gjær. Inkubasjon skjer ved 22-25°C.

Melkesyrebakterier

Undersøkelsen av melkesyrebakterier ble praktisk utført som for aerobe og anaerobe mikroorganismer, men det ble benyttet et fortynningsmedium (MRS) som gir bedret vekst av melkesyrebakterier. Filmene ble innkubert under anaerobe forhold ved 22-25°C.

Syreproduserende mikroorganismer

Det ble benyttet en forenklet most 'probable number technique' (MPN). Fra homogenisert suspensjon som ble benyttet til de tidligere beskrevne mikrobiologiske analysene, ble det gjort ti folds fortynninger i et glucose-fosfat medium¹⁰. Etter en ukes inkubasjon av fortynningsrørene ved 30 °C ble det tilsatt en dråpe med indikatoren Metyl Rødt (kfr. metyl rødt test). Når det er produsert nok syre i mediet til at pH senkes under 4,5 vil fargen endres fra rødt til gult. Gule rør inneholder syreproduserende bakterier. Melkesyrebakterier vil ikke vokse og gi tilstrekkelig fall i pH i dette mediet og det er derfor andre syreproduserende organismer som påvises.

Syreoksiderende bakterier

Telling av syreoksiderende mikroorganismer ble utført ved å spre 0,1 ml av passende fortynninger på agarskåler som inneholdt et mineralmedium tilsatt 0,02 % av et utvalg organiske syrer (eddiksyre, benzosyre, succinat, pyrodruesukker) og 0,2 % fenol rødt. pH 6.8.

¹⁰ Glukose-fosfat medium: 10 g pepton, 5 g glukose, 5 g K₂HPO₄ til 1 L vann. pH 7,0 Autoklaveres ved 121°C i 20 min.

3.3. Gjennomføring av stor skala uttesting av tiltak (Fase 3)

Det ble besluttet å gjennomføre oppfølgende forsøk i alle deltageranleggene.

Nedenfor gjennomgås forsøkene kort.

3.3.1. SØIRs åpne komposteringsanlegg på Hornmoen (Elverum): Dokumentasjon av åpen konvensjonell rankekompostering

Anlegget på Hornmoen er representant for et konvensjonelt rankekomposteringsanlegg. Siden det er av verdi å tilegne seg kunnskap om komposteringsforløpet i denne type ekstensive og åpne prosesser ble det lagt opp til å dokumentere prosessen ved å følge pH, temperatur, glødetap og stabilitet (målt som oksygenopptak i kompost slurry = SOUR).

Opplegget er nærmere presentert i vedlegg 1.

3.3.2. IR Statisk luftet ranke, Verdal: Dokumentasjon av kompostering i statisk lukket ranke

Anlegget i Verdal er representant for et statisk rankeanlegg med tvungen lufting (figur 11). Luften tilføres ved å suge omgivelsesluft gjennom perforerte rør plassert i bunnen av rankene. Siden det kan stilles spørsmål ved hvor effektivt tilført luft spres i massene og i hvor stor grad mer eller mindre ekstreme temperaturregimer hemmer mikrobiell aktivitet er det også av spesiell interesse å dokumentere forløpet i denne type prosess.

Prøver av blandinger mellom struktur og matavfall ble analysert for pH og glødetap.

Representative volumer av samme materiale ble så isolert i nett og lagt i ulike nivåer av kompostranken (3 nett for hvert nivå). Sluttproduktene fra ulike nivåer ble analysert for pH og glødetap etter 6 mndr.

Opplegget er nærmere presentert i vedlegg 2.



Figur 11: Kald og fuktig luft suges gjennom perforerte rør plassert i bunnen av statisk ranke

3.3.3. HRAs lukkede komposteringsanlegg på Trollmyra (Jevnaker): Inokulering med Hage Park avfall

Komposteringsanlegget på Trollmyra har tidvis hatt suksess med å blande ferdig kompost og sikterest etter sålding av hage park kompost inn i matavfallet.

I hvilken grad det er sikterest fra hage park kompost eller innslag av matavfallskompost (eller kombinasjonen) som eventuelt gir en bedret prosess er uklart, men det er rapportert litteraturen (Gattinger et al., 1997, Hellmann et al., 1997) at tilslag av hage park kompost gir et forbedret komposteringsforløp.

Det ble lagt opp forsøk for å bekrefte eventuell positive effekter som Hage Park kompost har.

Opplegget er nærmere presentert i vedlegg 3.

3.3.4. RKR's dynamiske bingekomposteringsanlegg på Støleheia: Justering av pH ved tilsetning av lesket kalk (Ca(OH)_2)

Komposteringsanlegget på Støleheia har en dynamisk prosess med lufttilførsel via vifter fra bunnen av massen og ved henhold av mekanisk vending. Det er meget gode muligheter for å følge kompostmassen gjennom aktiv fase i bingen.

Anlegget ble valgt ut som vert for gjennomføring av forsøk med formål å dokumentere effekten av å justere pH i blandmassen opp til minimum pH 6.0 ved tilsetning av moderate mengder med lesket kalk (Ca(OH)_2).



Figur 12: Bruk av Allu skuffe for å rive opp og blande matavfallet med struktur er vanlig i norske komposteringsanlegg.

Opplegget er nærmere presentert i vedlegg 4.

3.3.5. IRS's trommelanlegg på Erikstemmen: Poding med "tilpasset kompost"

Trommelkompostering av matavfall på Erikstemmen er spesiell ved å ikke inkludere innblanding av strukturmateriale utover det papir som allerede forefinnes i avfallet fra to (2) av tre leverandører.

Anlegget ble valgt som vert for gjennomføring av podingsforsøk der formålet var å dokumentere effekten av innblanding av vesentlige mengder med kompost i en idealfase ut i fra hypotesen om innhold av en tilpasset bakterieflora. Det vil si en flora som tåler høy temperatur (termofile organismer) og som oksiderer korte fettsyrer.



Figur 13: Anlegget på Erikstemmen er eksempel på en fullstendig lukket komposteringsprosess.

Opplegget er nærmere presentert i vedlegg 5.

4. Resultater og Diskusjon

Resultater og erfaringer fra prosjektets 2 innledende faser er nøye beskrevet i egne rapporter. Nedenfor gjengis hovedkonklusjoner.

4.1. Fase 1

Erfaringene som listes opp nedenfor gir grunnlag til å hevde at det bør ligge muligheter for å tilrettelegge og optimalisere rutiner og prosesser ved å heve kunnskapsnivået om avfallet.

1. Organisk avfall lagres til dels lenge før prosessering i anlegg (opp mot og over 4 uker).
 - *Når organisk avfall lagres i til dels tette beholdere er det nærliggende å anta at oksygen relativt raskt vil bli begrensende for aerob omdanning. Anaerobe og syreproduserende mikrober vil etter hvert dominere avfallet. Man kan hevde at forlenget laring tilrettelegger for utråkning snarere enn kompostering.*
2. Kildesortert våtorganisk avfall lagres og transporteres v.h.a. ulike rutiner (ulike løsninger i husholdninger og på mellomlager)
 - *Det er nærliggende å anta at det ligger et forbedringspotensial i å samordne rutiner og fremfor alt optimalisere med hensyn på etterfølgende komposteringsprosess. Slik samordning må imidlertid bygge på dokumentert effekt.*
3. Det foreligger sparsomt med dokumentasjon av kvaliteten i avfallet som mottas i anleggene. Den dokumentasjonen som finnes viser at avfallskvalitet varierer med årstider og at det gjennomgående er surt ved mottak
 - *Befaringene bekrefter et klart behov for å bedre kunnskapen om avfallet som skal komposteres. Dagens situasjon er å betrakte som industriell produksjon basert på råvarer av ukjent kvalitet.*
4. I samtlige anlegg er erfaringene at langtidslagret avfall er vått, surt og klinete.
 - *Dette underbygger antagelsen om at avfallet er anaerobt og domineres av syredannende mikroorganismer*
5. Kunnskap om kjemiske og/eller biologiske kvaliteter i avfallet hensyntas i liten grad ved design av prosessforløp
 - *Påstanden er at det ligger et potensial for optimalisering av komposteringsprosessen basert på kunnskap om avfallet*
6. Bruk av struktur skjer relativt tilfeldig i anleggene og det er sparsomt med dokumenterte effekter av endringer i strukturtype og blandforhold
 - *I flere anlegg ble det opplyst om relativt hyppige endringer av strukturmateriale. Effekter som slike endringer måtte ha på porøsitet (FAS), prosess og sluttprodukt blir imidlertid ikke dokumentert. Denne type dokumentasjon kan inkludere temperaturforløp, energibalanser, pH-utvikling og stabilitet*
7. Kompostkvaliteter ut fra lukkede prosesser har gjennomgående lav pH og er generelt ustabile
 - *Med grunnlag i dokumentasjonen og erfaringer fra kompostering i åpne rankeanlegg, bør det avgjort ligge et optimaliseringspotensial for kompostering i lukkede anlegg. Endringer i prosessene bør manifesteres gjennom et øket behov for lufting (for å fjerne varmeenergi og vann), en raskere pH økning i massen enn det som faktisk registreres samt at komposten stabiliseres i en langt større grad.*

8. Lufttilførsel er med unntak for RKR regulert på tid
 - Dersom temperaturmålinger kan gjøres representative (for status i massen) vil det være fornuftig å etablere regulering med grunnlag i slike målinger.
9. Temperaturforløp logges / registreres i alle anlegg, men plassering av sensorer og rutiner for øvrig er ikke entydig innrettet for å gi grunnlag for optimal driftsstyring
10. I lukkede anlegg er det til dels stor mangel på dokumentasjon og kunnskap vedrørende viftekapasiteter og reell lufttilførsel (se eget kapittel nedenfor)

4.1.1. Lufteregimer i anleggene

Opplysningene fra anleggene tilknyttet lufteregimer, viftekapasiteter (arbeidstrykk) og reell gjennomstrømning i definerte massevolumer, gir grunn til å tro at det foreligger til dels store kunnskapshull og at anleggene drives uten tilfredsstillende kunnskap om hvorvidt mengde luft tilført er tilstrekkelig for å møte behovet i massen som behandles.

Driften av viftene i de lukkede deltageranleggene synes ikke å stå i forehold med luftbehovet ved aereob kompostering av matavfall (jfr. kapittel 2.1.1 som omhandler temperatur og energiballanser)

I tabell 3 nedenfor oppsummeres den informasjonen som ble gitt av anleggene under befaringen.

*Tabell 3: Sammenfatning av anleggenes kunnskap om lufteregimer for komposteringsprosessen.
i.r.: Ikke relevant, -: ukjent / ikke oppgitt*

Anlegg	Metode	Aktiv Fase	Vende- frekvenser	Viftetid	Vifte- kapasitet	Vifte- effekt
		Tid (uker)		min/time	m ³ /time	arbeidstrykk
SØIR	Åpen ranke	8	Ukentlig	i.r.	i.r.	i.r.
IR	Statisk ranke	26	i.r.	6	3 500	-
RKR	Dynamisk Binge	4	3-4 pr. uke	12	2 200	1 700 Pa
HRA	Binge	5	1 pr. uke	25	540	-
IRS	Trommel	2	i.r.			
	<i>Formodning</i>	<i>4 døgn</i>		<i>60</i>	<i>800</i>	<i>-</i>
	<i>Trommel</i>	<i>7 døgn</i>		<i>60</i>	<i>~ 4,4</i>	<i>-</i>
	<i>Trommel</i>			<i>2</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
	<i>Ettermodning</i>	<i>4 døgn</i>		<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>

Dersom vi tar utgangspunkt i beregningene i modellen presentert i kapittel 2.1.1., beskriver tabellene 4 – 7 den % -vise dekning av behov ved omdanning avfall.

Tabell 4: Dekning av luftbehov ved kompostering av matavfall i statisk luftet ranke ved IRs anlegg i Verdal.

EKSEMPEL	IR
Komposteringstid	6 mndr
Avfallsblanding	390 tonn
TS	42 %
Organisk stoff	83,50 %
Kompost	165,6 tonn
TS	50 %
Organisk stoff	73 %
Modell_{bio}	270536 m³
Modell_{kjøling}	2642171 m³
Modell_{vanntransport}	1365375 m³
Vifte	
Antall	2
Kapasitet	3500 m ³ /h
Drift (snitt)	6 min/timr
Luftmengder nominelle	3066000 m ³
Temperatur inn	15 °C
RH inn	75 %
Temperatur ut	60 °C
RH ut	100 %
Over / Underkapasitet	16 %

Komposteringsanlegget i Verdal drives med undertrykk. Viftekapasiteten nedsettes ved denne driftsformen.

Som det fremgår dekker tilførte luftmengder det modellerte behovet ved 47 % omdanning over 6 måneder. I modellen er det lagt inn 2 vifter på den aktuelle mengden.

Modellen i tabell 4 tar også utgangspunkt i en ideell situasjon der luftstrømmen som tilføres dekker 100 % av overflaten i avfallsblanding. Ved kompostering i statiske og til dels mektige masser er det nærliggende å regne med at det etableres kanaler som luften transporteres gjennom. Dette betyr eventuelt at større eller mindre deler av massene ikke får tilført luft i det hele tatt.

Tabell 5: Dekning av luftbehov ved kompostering av matavfall i dynamisk bølge ved RKR's anlegg på Støleheia. .

EKSEMPEL	RKR
Komposteringstid	25 døgn
Avfallsblanding	150 tonn
TS	41 %
Organisk stoff	81,80 %
Kompost	82,6 tonn
TS	50 %
Organisk stoff	73 %
Modell_{bio}	83862 m³
Modell_{kjøling}	854182 m³
Modell_{vanntransport}	528038 m³
Vifte	
Antall	5
Kapasitet	2200 m ³ /h
Drift (snitt)	12 min/time
Luftmengde nominelle	1320000 m ³
Temperatur inn	20 °C
RH inn	90 %
Temperatur ut	60 °C
RH ut	100 %
Over / Underkapasitet	55 %

I modellen for RKR legges det opp til å oppnå 40 % omdanning av glødetapet over de 4 ukene avfallsblandingen oppholder seg i lukket (dynamisk) fase. I forhold til dette omdanningsmålet synes luftkapasiteten i anlegget å være konservativt dimensjonert. Det er for øvrig lagt inn 12 minutters lufting pr. time (normaldrift).

Tabell 6: Dekning av luftbehov ved kompostering av matavfall luftet bingene ved HRA's anlegg på Trollmyra.

EKSEMPEL	HRA
Komposteringstid	35 døgn
Avfallsblanding	175 tonn
TS	39 %
Organisk stoff	79,60 %
Kompost	93,3 tonn
TS	50 %
Organisk stoff	70 %
Modell_{bio}	91980 m³
Modell_{kjøling}	906614 m³
Modell_{vanntransport}	626289 m³
Vifte	
Antall	1
Kapasitet	540 m ³ /h
Drift (snitt)	25 min/timr
Luftmengde nominelle	189000 m ³
Temperatur inn	15 °C
RH inn	90 %
Temperatur ut	60 °C
RH ut	100 %
Over / Underkapasitet	-79 %

Det er usikkerhet knyttet til viftekapasitet og gjennomstrømning i anlegget på Trollmyra. Basert på ovenfor stående lufteregime og mål for produktet som losses fra bingene (40 % omdanning) synes beregnede luftmengder å ligge på et for lavt nivå.

Tabell 7: Dekning av luftbehov ved kompostering av matavfall trommel ved IRS's anlegg på Erikstemmen.

EKSEMPEL	IRS
Komposteringstid	4 døgn
Avfallsblanding	75 tonn
TS	41 %
Organisk stoff	84,90 %
Kompost	61 tonn
TS	45 %
Organisk stoff	83 %
Modell_{bio}	14434 m³
Modell_{kjøling}	145337 m³
Modell_{vanntransport}	112510 m³
Vifte	
Antall	1
Kapasitet	800 m ³ /h
Drift (snitt)	60 min/timr
Luftmengder nominelle	76800 m ³
Temperatur inn	20 °C
RH inn	75 %
Temperatur ut	60 °C
RH ut	100 %
Over / Underkapasitet	-47 %

På Erikstemmen er det knyttet spesielt stor usikkerhet til beregningen. Lufttilførselen baseres både på resirkulert luft, ordinær viftetilførsel og kompressor. Eksemplet over viser underkapasitet i vifte som leverer luft til formodningssilo ved ønske om høy omdanningsgrad (3 % / døgn) over midlere oppholdstid (4 døgn).

4.2. Fase 2

I fase 2 ble det gjennomført et omfattende prøvetakings- og analyseprogram med formål å dokumentere avfallskvaliteten hos alle deltageranlegg.

Resultatene (gjennomsnittsverdier) er presentert i tabellene 8 – 11 og i figur 11 nedenfor.

4.2.1. Surhetsgrad, ledningstall, tørrstoff og aske

Matavfall som losses på komposteringsanleggene regnes som surt. I tabell 9 nedenfor dokumenteres denne oppfatningen. pH verdiene som registreres ligger i området 5 – 6 med avfallet fra IRS som det minst sure avfallet. Forklaringen på at IRS avfallet ikke er like surt som de andre ligger nok i at abonnentene fra to av leverandørene tillater papir i avfallsdunkene. Det er i hovedsak avispapir som utgjør denne fraksjonen. Det synes som om innhold av papir gir helt spesielle kjemiske kvalitetstrekk ved avfallet hvorav pH verdien er en.

I forbindelse med registrering av pH er det viktig å være klar over at metoden for å opparbeide prøven høyst sannsynlig vil spille en rolle for resultatet. I prosjektet ble prøvene homogenisert til en relativt finpartikulær masse. Alternativet er å blande avfall med vann direkte uten spesiell nedknusing.

En antatt effekt av nedknusingen er at bufferkapasiteten i blandingen øker i forhold til alternativet som er en ”ren utvasking” av overflaten. Vi kan derfor snakke om en reell pH (som bakteriene eksponeres for) og en ”potensiell” pH som inkluderer avfallsets (eventuelle) nøytraliserings-/bufferevne.

Ledningstallene viser at vi har å gjøre med saltholdige produkter som i seg selv stiller krav til bakteriefloraen. Papirtilsetningen gir igjen avvikende resultater ved at ledningsevnen ligger på ca. 20 % av de øvrige kvalitetene.

En tommelfingerregel synes å være at matavfall inneholder 60 - 65 % vann og 5 – 25 % aske.

Tabell 8: Gjennomsnittsverdier av pH ledningsevne, tørrstoff og aske i avfall fra de 5 deltageranleggene.

Variabel	Enhet	STDAV	Snitt 6 kvaliteter n=18	HRA Lagret	HRA Normal	IR	IRS	RKR	SØIR
pH		0,4	5,5	5,6	5,5	5	6,2	5,2	5,4
Ledningstall	mS/m	412	1120	1113	1333	1270	276	1610	1120
TS	%	3	37	34,1	34,2	38,8	41	36,7	34,9
Aske	%	0	0	7,3 %	14,0 %	21,6 %	15,1 %	24,0 %	14,0 %

4.2.2. Ammonium og sulfid

I prosjektbeskrivelsen ble det stilt spørsmål ved om avfallets innhold av ammonium og / eller sulfid og dermed indirekte av anaerobe bakterier som Clostridier og Sulfat Reduserende Bakterier kunne virke direkte hemmende eller på annen måte vanskeliggjøre oppstart av komposteringsprosessen.

Resultatene i tabell 9 nedenfor gir ingen grunn til å konkludere positivt i forhold til dette. Vi ser at avfallet fra IR og IRS skiller seg noe ut, men verdier på $< 0,5 \text{ } \text{NH}_4^+ - \text{N}$ (TS) ligger langt under det som kan karakteriseres som høye nivåer.

Tabell 9: Gjennomsnittsverdier av $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ og S^{2-} fra de 5 deltageranleggene.

Variabel	Enhet	STDAV	Snitt 6 kvaliteter n=18	HRA Lagret	HRA Normal	IR	IRS	RKR	SØIR
$\text{NH}_4 - \text{N}$	mg/kg TS	111,1	216,4	66,3	145	368	356	209	154
S^{2-}	mg/kg TS			0,25	0,59	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

4.2.3. Innhold av organiske syrer og alkoholer

Melkesyre

Av tabell 10 fremkommer at innholdet av organiske syrer og spesielt melkesyre er svært høyt. I normal avfall (ikke lagret) er gjennomsnittlig konsentrasjonen av melkesyre målt til hele 5,48 % (av TS). Med et tørrstoff på 34,2 % representerer dette melkesyre fra 2,92 kg matavfall. Melkesyrekonsentrasjonen kan, ut fra væskemengden på 1,92 kg, beregnes til ca. 0,3 Molar.

Melkesyre dannes ved gjæring av sukker. I hvilken grad matavfall inneholder så store mengder sukker som "sluttkonsentrasjonene" med melkesyre tilsier er et spørsmål. Smårs (2002) rapporterer at kildesortert matavfall inneholder like i overkant av 11 % sukker (stivelse og sukker i % av TS).

Dersom avfallet fra HRA har samme kvalitet som det svenske referanseavfallet (Smårs, 2002) kan vi regne at 10 gram (10 %) sukker eller 0,55 mol glukose gir 1,1 mol melkesyre som er nesten 4 ganger det gjennomsnittlige nivået påvist.

Øvrige organiske syrer

Tabell 10 viser også at eddiksyre og til dels maursyre foreligger i høye konsentrasjoner.

Avfallet fra IR og IRS avviker noe ved et relativt mer komplekst "syrebilde". Innholdet av forgrenede fettsyrer og lineære C_5 (valerinsyre) og C_6 (kaproinsyre) syrer er signifikant høyere enn tilsvarende i de andre avfallskvalitetene. Dette avviket sammen med at avfallet også har et noe høyere innhold av ammonium vitner om høyere aktivitet av *Clostridier* (sporedannende anaerobe bakterier).

Tabell 10: Gjennomsnittlig innhold av organiske syrer i avfall fra de 5 deltageranleggene.

Organiske Syrer		Enhet	STDAV	Snitt 6 kvaliteter n=18	HRA Lagret	HRA Normal	IR	IRS	RKR	SØIR
Maursyre	C ₁	mg / kg TS	678	1899	2933	2457	763	1650	1830	1760
Pyruvat	C ₂	mg / kg TS	1431	1122	58	122	2520	3660	264	110
Eddiksyre	C ₂	mg / kg TS	747	5393	4227	4890	6440	5710	5050	6040
Melkesyre	C ₃	mg / kg TS	16003	22454	20533	54800	27300	5090	14300	12700
Propionsyre	C ₃	mg / kg TS	253	252	61	60	562	653	112	65
Smørsyre	C ₄	mg / kg TS	33	84	50	105	46	104	136	65
iso-Smørsyre	C ₄	mg / kg TS	71	57	0,8	14,3	94	199	19	13
Valerinsyre	C ₅	mg / kg TS	214	153	1,1	2,4	408	499	3,6	5,6
iso-Valerinsyre	C ₅	mg / kg TS	57	53	5,8	6	110	153	28	16
Kaproinsyre	C ₆	mg / kg TS	582	371	26	54	405	1640	59	44
iso-Kaproinsyre	C ₆	mg / kg TS	12	10	0,2	0,3	31	24	6	0,9
Heptansyre	C ₇	mg / kg TS	93	57	1,4	2	76	255	2,8	2,3

4.2.4. Effekt av lagring ("produksjonspotensialet" for melkesyre)

Tabell 11 viser at tett lagring i fra 4 til 7 uker resulterer i enda høyere konsentrasjoner av melkesyre. Det er grunn til å sette et stort utroppstegn ved nivåene på 22 – 25 %. Ut i fra sukkermengden i det svenske referanseavfallet er potensialet i dette oversteget med > 30 %.

En forklaring kan selvfølgelig være at avfallet på HRA har et høyere sukkerinnhold enn 11 % (TS). Holo (pers. med. 2003) opplyser om at melkesyrebakterier er i stand til å overleve > 100 g melkesyre/liter medium. Selv om en melkesyrekonsentrasjon på > 130 g / l synes svært høy er den, i følge Holo, ikke usannsynlig.

En annen effekt av lagring synes å være at maursyreinnholdet øker samtidig med at mengdene av smørsyre avtar. Begge trendene kan tyde på at avfallet konserveres, noe som ikke er usannsynlig ut i fra melkesyrenivået (> 1, 4 Molar)!

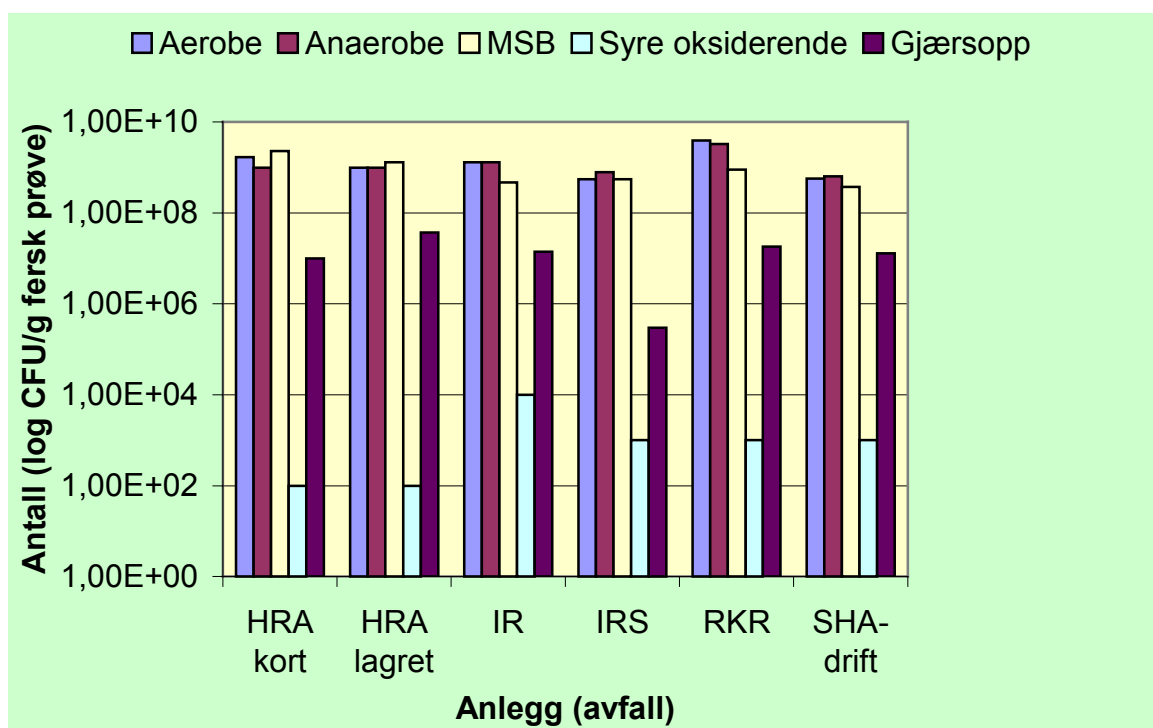
Tabell 11: Effekt av tett lagring av matavfall fra HRA

Organiske Syrer		Enhet	HRA L ₀ n=3	HRA L ₄ n=3	HRA L ₇ n=3
Maursyre	C ₁	mg / kg TS	2457	316	769
Pyruvat	C ₂	mg / kg TS	122	111	134
Eddiksyre	C ₂	mg / kg TS	4890	5493	6295
Melkesyre	C ₃	mg / kg TS	54800	218666	247000
Propionsyre	C ₃	mg / kg TS	60	33	84
Smørsyre	C ₄	mg / kg TS	105	67	< 0,5
iso-Smørsyre	C ₄	mg / kg TS	14,3	2,7	< 0,1
Valerinsyre	C ₅	mg / kg TS	2,4	1,4	1,5
iso-Valerinsyre	C ₅	mg / kg TS	6	5,5	5,6
Kaproinsyre	C ₆	mg / kg TS	54	45	58
iso-Kaproinsyre	C ₆	mg / kg TS	0,3	0,2	< 0,1
Heptansyre	C ₇	mg / kg TS	2	1,3	1

4.2.5. Mikrobiologi

Av figur 14 fremgår det at matavfallet som skal komposteres er svært rikt på mikroorganismer. Analysene som er valgt i dette prosjektet er ikke spesielt følsomme, men det kan heves over tvil at innholdene av anaerobe bakterier generelt og melkesyrebakterier spesielt er svært høye, mens nivået av syreoksidierende bakterier er neglisjerbart. Ut i fra de kjemiske analyseresultatene er dette som forventet.

Det er også av interesse at variasjonene i avfallskvaliteten er små slik de fremkommer i de aktuelle analysene. Unntaket er et lavere gjærtall i papiravfall fra IRS.



Figur14: Innhold av mikroorganismer i avfallet fra de 5 deltageranleggene

4.2.6. Diskusjon av resultater fra Fase 2

Når avfallet ankommer komposteringsanlegget har det vært lagret i minimum 1 uke. Lagringstider på opp i mot 1 måned kan forekomme. I hele denne perioden vil avfallet utsettes for ulike mikrobielle prosesser hvorav de fleste skjer uten tilgang på molekylært oksygen fra lufta.

Lave pH verdier i avfallet og innhold av melkesyre tyder på at en dominerende prosess vil være melkesyregjæring.

Melkesyrebakterier

Melkesyrebakterier er kort og skjematisk fortalt:

Oksygentolerante, anaerobe, Gram-positive, vanligvis ubevegelige ikke-sporulerende bakterier som lager melkesyre som hovedprodukt ved fermentering av sukker.

Noen arter lager i tillegg etanol og karbondioksid (CO₂).

Melkesyrebakterier er ikke nøysomme. De krever komplekse, rike voksemedier som kan møte de strenge kravene de har til forskjellige næringsstoffer som vitaminer og essensielle aminosyrer. Grunnen til denne avhengigheten er simpelthen at melkesyrebakterier ikke selv er i stand til å lage slike forbindelser.

Vi finner melkesyrebakterier i alle slags "rike miljøer", som for eksempel i munn, svelg og tarmsystemet hos mennesker og mange dyr (*Enterococcus faecalis*), på bladverk hos planter (*Lactobacillus*, *Leuconostoc*) og på vegetabilsk og animalsk avfall som er i forråtnelse eller i avføring. Mulighetene for at denne type kulturer skal kunne selekteres i matavfall som lagres tett er dermed store.

I denne forbindelse er det relevant å ta med at det i et Japansk/Kinesisk forskningsprosjekt undersøkes om det er økonomi i å etablere industriell fremstilling av melkesyre fra nettopp kjøkkenavfall (Quinhui et al., 2003).

Melkesyrebakterier utnyttes av næringsmiddelindustrien

Melkesyrebakterier har flere egenskaper som er spesielt nyttige for næringsmiddelindustrien. For det første bidrar de i fremstilling av produkter; de fungerer som startkultur for produksjon av næringsmidler som for eksempel spekepølse, yoghurt og surdeigsbrød hvor et fellestrekk er at konsentrasjonen av karbohydrater reduseres sammen med pH.

Melkesyrebakterier kan også opptre som beskyttende kulturer ved at de enten dreper eller hemmer fremveksten av kvalitetsforringende og / eller sykdomsfremkallende bakterier i matvarer. Først og fremst er dette et resultat av lave pH verdier ned mot og under 4.0, men det kan også være resultater av at noen stammer danner veksthemmende komponenter (nisin for eksempel) Lave pH verdier forandrer også teksturen i matvaren; - delvis gjennom hydrolyse og delvis gjennom at mange proteiner denaturerer (feller ut) i sure omgivelser.

En tredje egenskap ved melkesyrebakterier er evnen til å påvirke helsen vår i positiv retning ved å virke som såkalt probiotika.

Om anvendt melkesyregjæring (ensilering)

Siden husholdningsavfall synes å inneholde til dels store mengder med melkesyrebakterier og ditto høye konsentrasjoner med melkesyre, er det nærliggende å gå nærmere inn på forholdene rundt og trinnene i en typisk industriell melkesyregjæring.

Er husholdningsavfallets sammensetning fordelaktig og ligger forholdene under kjøkkenbenken, i lagringsdunker og containere til rette for at denne type prosesser må denne form for "konservering" forventes å være det normale snarere enn unntaket.

Dersom vi tar utgangspunkt i ensilering, vil et ideelt utgangsmateriale inneholde tilstrekkelige mengder med gjærbare fraksjoner; - særlig vannløslige sukkerstoffer. Et viktig tilleggspoeng er videre at sukkerstoffene lett diffunderer ut fra det faste avfallet og blandes inn i vannfasen rundt.

Tørrestoffet i utgangsmaterialet skal ligge litt i overkant av 30 % og bufferkapasiteten skal være lav.

Tørrestoffet i avfallet er 35 %.

Bufferegenskapene i ferskt avfall må regnes å være lavt.

Avfallet skal respondere raskt på syregjæringen. I tillegg settes det krav til at strukturen er tettest mulig slik at den representerer en oksygensperre.

Matavfallet utsettes for større eller mindre grad av komprimering gjennom kildesortering og mellomlagring

Ensilering av grønt gress tar omkring 3 uker og inkluderer 3 vel definerte faser.

Matavfall lagres i fra 1 til 4 uker før prosessering

Fase 1:

Det hele begynner med at gresset fortsetter respirasjonen samtidig som det skjer en fremvekst av aerobe bakterier. Begge prosessene drives av lett tilgjengelige sukkerstoffer.

Det produseres kullsyre (CO₂), vann og varme. I en god ensilasje vil denne fasen vare bare noen få timer. Normalt søkes tidsutstrekningen begrenset ved å kverne opp utgangsmaterialet mest mulig og/eller ved å etablere et ideelt tørrestoff (f.eks. gjennom vanning) og/eller å etablere ensilasjen raskest mulig.

Fase 2:

Fase nummer 2 begynner når oksygenmengden i avfallet faller til lave nivåer. Når O₂ blir begrensende for en aerob flora, ligger forholdene til rette for en hel rekke bakterier, bl.a. de koliforme bakteriene, arter av *Bacillus* og *Clostridium* samt melkesyrebakterier.

Noen av syreprofilene i matavfallet indikerer tilstedeværelse av *Bacillus* spp. og *Clostridium* spp.

Det er normalt eddiksyreproduserende bakterier som setter i gang gjæringsprosessen. Disse senker pH ned til typisk 5.0. Etter som massen blir stadig surere vil eddiksyrebakteriene dø ut fordi de simpelthen ikke tolererer surere miljø.

Fase 3:

Etter 2 – 3 dager å ligge forholdene til rette for at melkesyrebakteriene skal kunne dominere scenen.

Lagringstiden for matavfallet før kompostering er aldri mindre enn 1 uke

Mange av slektene tåler pH verdier ned mot 4 og endog lavere. Dersom pH ikke synker raskt nok kan imidlertid uønskede gjæringer overta helt eller delvis; -for eksempel clostridiegjæringer eller utvikling av vanlige gjærsopp. Slike ensilasjer beskrives som ustabile. Etter 2 – 3 uker er pH blitt så lav at all bakteriell aktivitet hemmes inklusive melkesyregjæringen.

Sluttproduktet avhenger av TS i utgangspunktet og selvfølgelig sammensetningen av materialet som skal ensileres. Melkesyrekonsentrasjonen i en godt konserverert ensilasje vil variere i området 3 – 8 % av TS. Forholdet mellom melkesyre og eddiksyre skal helst ikke overstige 3 : 1 og konsentrasjoner av sist nevnte over 4 % (av TS) er ikke ønskelige. Smørsyrenivåene skal ligge ned mot 0. Påvisning av særlige mengder med smørsyre eller isoformen av samme (> 0,05 %) er en sterk indikasjon på tilstedeværelse av aktive clostridier. Ved melkesyregjæringer vil normalt ammonium konsentrasjoner være lavere enn 7 % av proteinmengden. Høye nivåer indikerer også at clostridier har overtaket.

Melkesyrekonsentrasjon i matavfall:	0,5 % - 5,5 %
Eddiksyrekonsentrasjon i matavfall:	0,4 % - 0,6 %
Forhold (LAc/HAc):	4,4 +/- 3,3 (maks.: 11,2 / min.: 0,9)
Smørsyre:	0,007 % +/- 0,003 %
Ammonium i % av protein¹¹:	0,3 % +/- 0,17 %

Det er dette avfallet som danner råstoffet for kompostering som altså er en aerob prosess i utgangspunktet.

¹¹ Bruker Smårs (2002): protein = 6,2 %

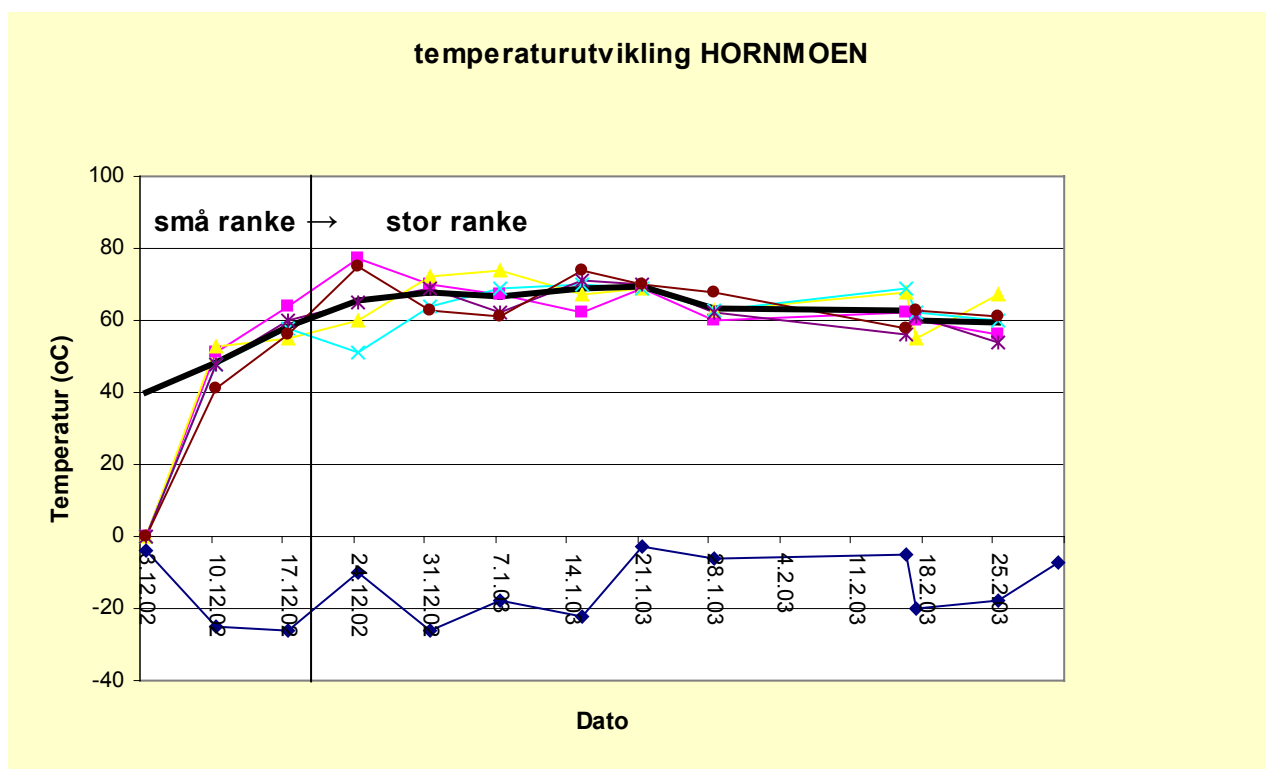
4.3. FASE 3

4.3.1. SØIRs åpne komposteringsanlegg på Hornmoen (Elverum): Dokumentasjon av åpen konvensjonell rankekompostering

Dokumentasjonen skjedde rundt årsskiftet og denne perioden var preget av stabilt kaldt inversjonsvær. På grunn av problemer med maskinpark ble rankene ikke vendt regelmessig.

Temperaturutvikling

Figur 15 nedenfor viser at temperaturen steg relativt raskt opp til og over 60°C, 50 – 80 cm inn i smårankene, til tross for et svært kaldt vær. Overflaten blir imidlertid kraftig nedkjølt og det kan stilles spørsmål ved om hygieniseringen ivaretas med et begrenset antall vendinger (4 stk.). Når massen etableres i stor ranke opprettholdes høye temperaturer gjennom hele forsøksperioden.

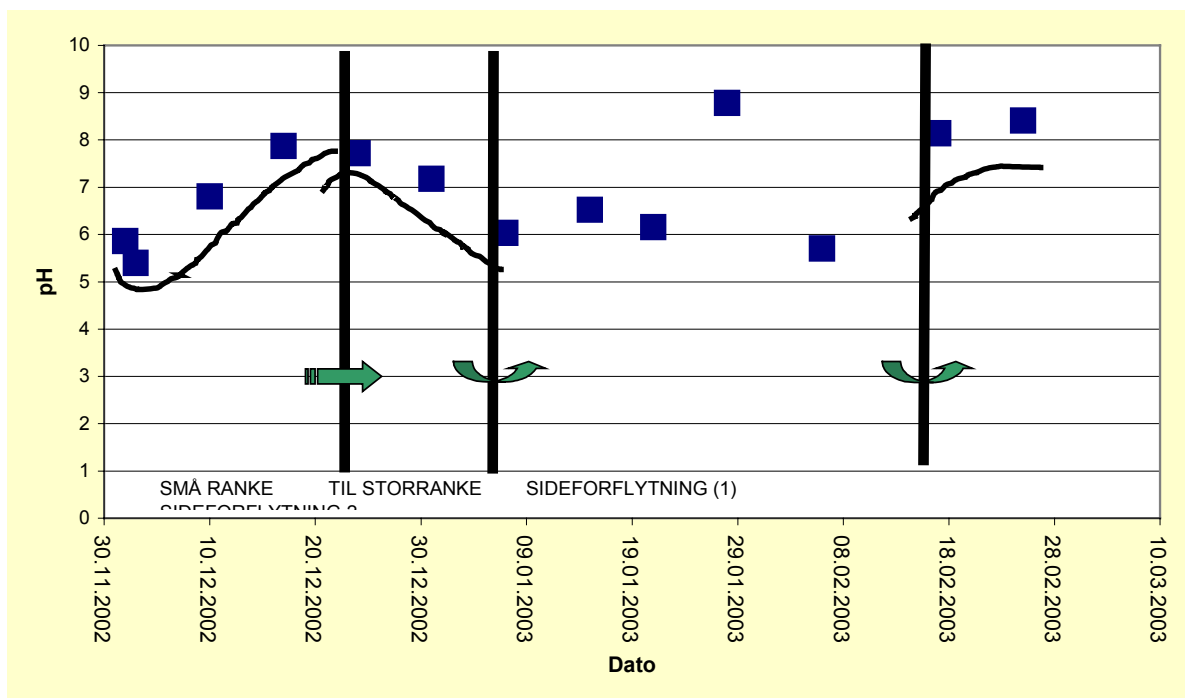


Figur 15. Temperaturutvikling i småranke på SØIR's komposteringsanlegg på Hornmoen samt utetemperatur. Loddrett linje i diagrammet viser tidspunkt for omstikking fra små ranke til stor ranke (n=4).

pH

Figur 16 viser at pH steg i massen under kompostering i små ranke etter et karakteristisk fall helt i startfasen. Med en viss grad av frihet tolkes pH utviklingen i massen under kompostering i stor ranke som følger.

- pH faller som funksjon av at anaerobe prosesser overtar p.g.a. oksygenmangel i massene.
- Etter vending skjer det en aerob omsetning i de ytre lagene og pH stiger.
- Forløpet med oksygenbegrensning gjentas imidlertid
- Avhengig av at komposteringsprosessen i små ranke er effektiv slik at stabiliteten i produktet som legges i storranke er relativt høy, vil 3 vendinger i storranke være tilstrekkelig for å sikre en godt omdannet kompost, for eksempel med stabilitet $< 0,5 \text{ g O}_2 / \text{kg VOC} / \text{time}$ og $\text{pH} > 7,5$.
 - Dersom komposteringen i små ranke er mindre effektiv eller tidsbegrenset, vil ustabile masser som legges i storranke ikke undergå en effektiv etterkompostering og stabilisering.

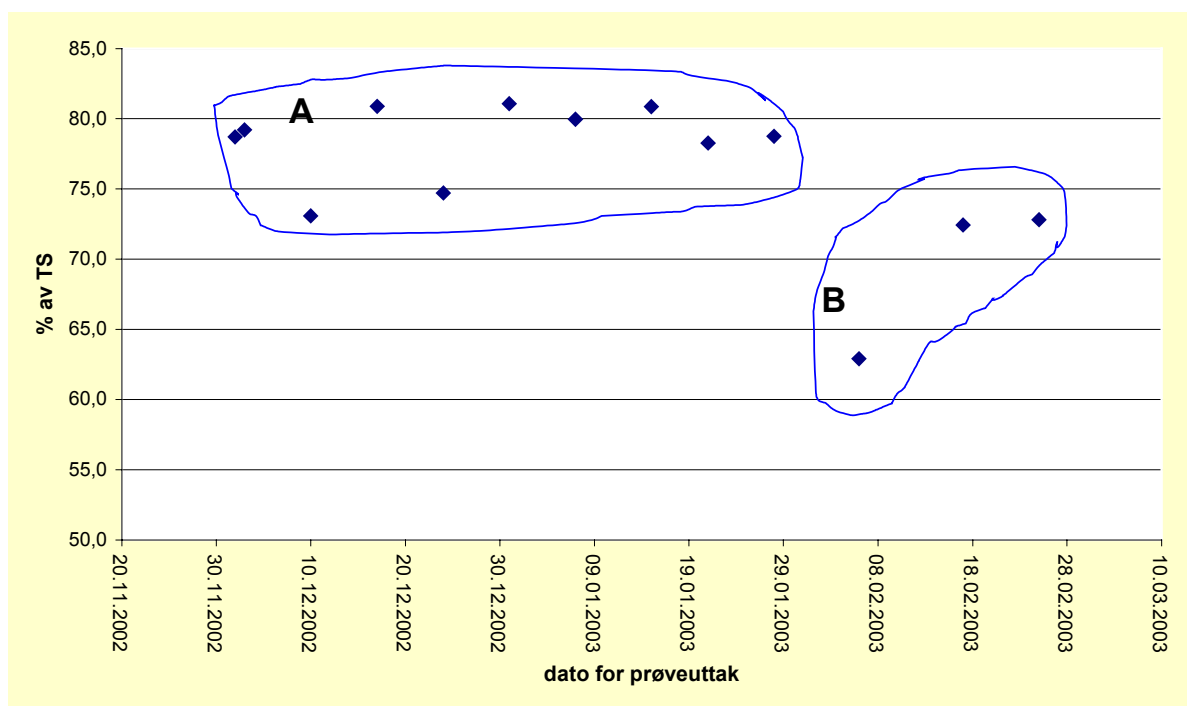


Figur 16: pH utvikling i matavfall som komposteres i konvensjonelle ranke på SØIRs komposteringsanlegg på Hornmoen. Loddrette linjer indikerer vendinger (sideforflytning) i storranke fasen.

Glødetap

I teorien vil resultatet fra glødetapsmålinger være en fornuftig måte å dokumentere mikrobiell nedbrytning av organisk materiale på. Resultater fra glødetapsmålinger av kompost vil imidlertid være beheftet med stor usikkerhet fordi det vil være vanskelig å oppnå representative prøver. Metodens praktiske verdi er derfor usikker, spesielt dersom prøvematerialet representerer en liten del av avfalls- / kompostmassen.

Resultatene i figur 17 antyder imidlertid et fallende glødetap som funksjon av tid. Dette er forventet ut i fra pH forløpet gjennom prosessen.



Snitt A	78,60 %	Snitt B	69,40 %
Stdav	(+/-) 2,5	Stdav	(+/-) 4,6
Beregnet omdanning av organisk		38,20 %	

Figur 17: Utvikling av andel glødetap i matavfall som komposteres i konvensjonelle ranker på SØIRs komposteringsanlegg på Hornmoen. Datasamlingen A (n=10) og B (n=3) deler prosessen opp i 2 tidsfaser. I innfelt tabell er %-vis omdanning av organisk stoff (=glødetap) beregnet til 38,20 %.

Stabilitet

Stabilitet i kompost kan måles på flere måter. Den kanskje vanligste metoden, Rottegrad test, angir grad av stabilitet i kompost som funksjon av selvoppvarmingen som skjer i en isolert kompostprøve. I prosjektet har vi i tillegg målt oksygenopptaket som skjer i en homogen slurry fremstilt av kompost og springvann. Prøven omrøres og tilføres luft til metning før oksygenforbruket registreres som fall i oppløst oksygen etter at lufttilførsel avbrytes. Oksygenforbruket beregnes mot tørrstoff (eller glødetap = organisk stoff) og time. Siden glødetapet varierer svært sammenliknet med TS, har vi valgt sist nevnte.

Stabilitet i kompost fra Hornmoen ble registrert i materiale fra fersk storranke (5 – 10 uker) og i fra storranke etter 3 vendinger (15 – 18 uker). Resultatene presentert i tabell 12 nedenfor viser at komposten kan oppnå en høy grad av stabilisering allerede i små ranke fasen. Grad av stabilitet vil være avhengig av tilstrekkelig tid.

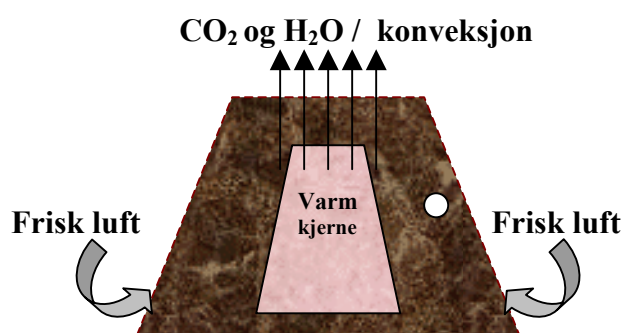
Tabell 12. Stabilitet i ulike kompostkvaliteter fra SØIR's anlegg på Hornmoen. Stabilitet oppgis som oksygenforbruk og Rottegrad.

	Fersk storranke		Storranke etter 3 vendinger	
	g O ₂ / kg TS x time	g O ₂ / kg Glødetap x time	g O ₂ / kg TS x time	g O ₂ / kg Glødetap x time
Maksimalt	0,28 (+/- 0,03)	0,41	0,23 (+/- 0,04)	0,36
Snitt ₁₀	0,20 (+/- 0,01)	0,29	0,16 (+/- 0,03)	0,25
Selvoppvarmi	ROTTEGRAD	maks. temperatur	ROTTEGRAD	maks. temperatur
	IV	31,5°C	V	27,5°C
Glødetap	% av TS 68 %		% av TS 63 %	
pH	7,5		7,3	

Diskusjon av resultater / vurdering av metode

Resultatene fra analyser og målinger i kompostmateriale / kompost fra SØIRs anlegg på Hornmoen viser at konvensjonell rankekompostering gir et komposteringsforløp slik en ”vellykket prosess” normalt fremstilles i litteraturen, med stigende pH og relativt rask temperaturøkning i massene. En stabil kompost synes videre å være oppnåelig innen 2 – 3 måneder.

Komposten synes å få tilført tilstrekkelig med oksygen så lenge den ligger i relativt små og porøse ranker. Når ranken varmes opp vil porevolumet anriket med CO₂ skiftes ut med frisk luft gjennom den såkalte skorsteinseffekten (konveksjon) (figur 18).



Figur 18: Lufting av kompostmasse i ranker skjer ved konveksjon og diffusjon

Lufting gjennom konveksjon og diffusjon inn i materialet som skal brytes ned er den viktigste luftemekanismen ved konvensjonell rankekompostering. Modellen nedenfor viser at luftmengden som ellers tilføres ved vending er marginal.

Luftbehov ved rankekompostering / Beregning av vendefrekvens for å oppnå tilstrekkelig oksygentilførsel

Beregning av maksimalt O₂ behov:

Typiske verdier for kompost: 1 – 5 mg O₂/g Glødetap x time (Haug, 1993 og Michel, 1993)

For et metrisk tonn med nedbrytbart organisk stoff regner vi (konservativt):

$$1 \text{ mg O}_2/\text{g Glødetap} \times \text{time} = 1 \text{ kg O}_2/\text{tonn Glødetap} \times \text{time}$$

Anslaget konverteres til luftvolumer:

$$1 \text{ kg O}_2/\text{tonn Glødetap} \times \text{time} / (0,232 \text{ masseenheter O}_2 / \text{masseenheter luft} \times 1,29 \text{ kg/m}^3 \text{ ved } 0^\circ\text{C} \times 0,9 \text{ kg/m}^3 \text{ ved } 30^\circ\text{C}) = 3,7 \text{ m}^3 \text{ luft} / \text{tonn glødetap} \times \text{time}.$$

Antagelser:

- Tetthet 100 % TS: 0,2 tonn / m³
- Fritt porevolum (F.A.S.): 30 %

$$(3,7 \text{ m}^3 \text{ luft} / \text{tonn glødetap} \times \text{time}) \times (0,2 \text{ tonn} / \text{m}^3) / (0,30 \text{ m}^3 \text{ F.A.S.}/\text{m}^3 \text{ bulk volum}) = 2,5 \text{ F.A.S. utskiftinger pr. time}$$

Konklusjon:

Vending av ranken tilfører oksygen for 24 minutters moderat omdanning

Vending av ranken har som funksjon å:

1. Endre strukturen slik at nye områder eksponeres for luft
2. Sikre at områder som har ligget i overflaten sikres eksponering for høyere temperaturer i rankekjernen slik at disse oppnår hygienisering

For denne type komposteringsprosesser vil det være spesielt viktig å etablere en porøs struktur innenfor relativt begrensede volumer. Dess større ranker dess vanskeligere blir det å tilføre kjernen luft. I kjernen vil det ellers lett oppstå anaerobe soner med sine ille luktende metabolitter og sluttprodukter. Problemet vil være større dess lavere stabilitet det er i komposten som legges i haug eller storranke.

I figur 19 nedenfor presenteres et statisk rankeanlegg som optimaliserer forholdene rundt skorsteineffekten.



Figur 19. Anlegg med statisk rankekompostering. Luft tilføres gjennom parallelle perforerte rør i basen av kompostmassen.

4.3.2. IR Statisk luftet ranke, Verdal: Dokumentasjon av kompostering i statisk lukket ranke

P.g.a. missforståelser gikk store deler av prøvematerialet fra forsøksranken tapt. 3 av prøvenettene ble imidlertid reddet og det er disse som danner grunnlaget for vurderingene videre.

Temperatur

Det ble ikke gjennomført temperaturmålinger i hele kompostmassen (jfr. figur 6), men målinger i øvre meter av ranken viste en rask temperaturstigning til opp mot og over 70°C gjennom størstedelen av forsøksperioden.

pH

Tabell 13 nedenfor viser at matavfallet er bemerkelsesverdig lite surt i dette tilfellet. Dog synes det som om komposteringsmetoden sikrer forhold som er vel egnet for anaerobe gjæringsprosesser. Det kunne ikke påvises forskjeller mellom nivåene og pH i prøvene var gjennomgående svært sure.

Tabell 13.: pH i råstoff og ferdig kompost fra luftet statisk ranke i IRs anlegg i Verdal

Prøve	pH
Matavfall 1	6,3
Matavfall 2	5,72
Struktur 1	6,11
Struktur 2	6,12
Kompost Øvre	4,23
Kompost Midt	4,28
Kompost Nedre	4,29

Glødetap

Tabell 14 nedenfor viser at det ikke kan påvises endringer i glødetap i det hele tatt. Dette må karakteriseres som ekstraordinært etter som massen er drevet med tvunget lufting i 6 måneder.

Tabell 14: Glødetap i råstoff og ferdig kompost fra luftet statisk ranke i IRs anlegg i Verdal

Prøve	Glødetap
Matavfall 1	85,9
Matavfall 2	88,8
Struktur 1	87,6
Struktur 2	86,5
Kompost Øvre	89,9
Kompost Midt	89,0
Kompost Nedre	87,9

Stabilitet

Med grunnlag i svært høye glødetapsverdier i ”ferdig kompost” ble det besluttet å ikke måle stabilitet i produktet. Det poengteres at produktet ut fra storranke i Verdal blandes med sand og gjennomgår en effektiv etterkompostering før produktet anvendes som innsatsfaktor i jordblandinger (etter ½ - 1 år).

Diskusjon av resultater / vurdering av metode

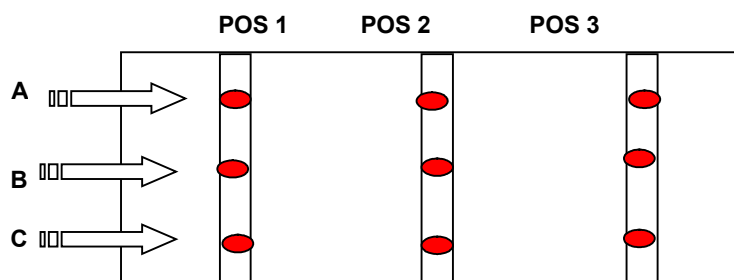
Kompostering i statisk luftet ranke i Innherred Renovasjons anlegg i Verdal drives med undertrykk. Luften suges gjennom relativt massive ranker. Ut i fra at pH i komposten er svært lav etter ca. 6 måneder i ranke og at den faktisk har falt opp mot 2 log-enheter fra utgangsnivået, er det nærliggende å hevde at forholdene har vært fordelaktige for de syredannende prosessene som synes å prege avfallet som skal behandles. Lufttilførselen sikrer en aerob aktivitet som er tilstrekkelig til å forklare de til dels høye temperaturene som registreres (> 70°C).

4.3.3. HRAs lukkede komposteringsanlegg på Trollmyra (Jevnaker): Inokulering med Hage Park avfall

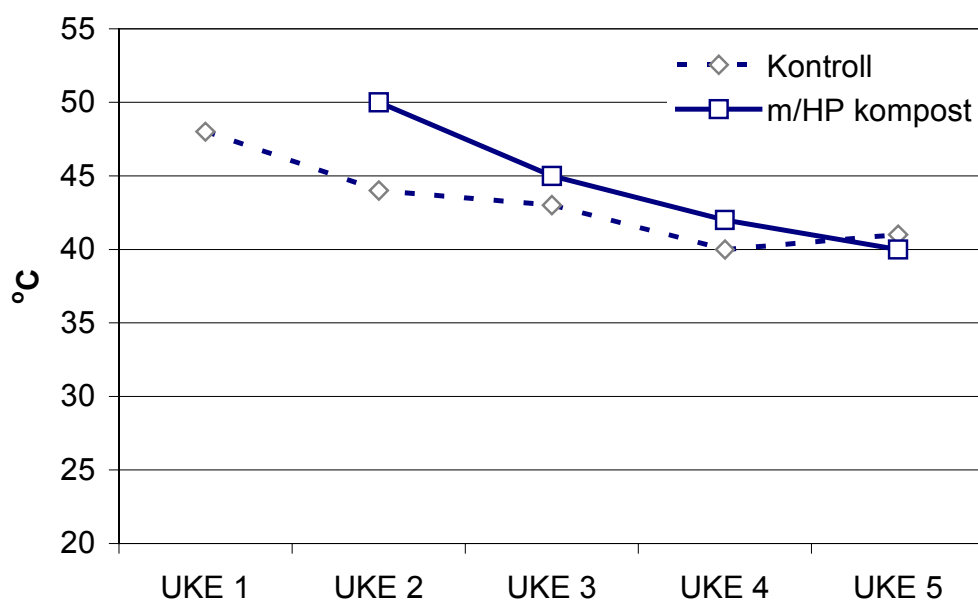
Forsøket gjennomført på Trollmyra hadde som formål å teste hagepark kompost som eneste strukturgiver i massene. Avfallet var i forsøksperioden svært nedkjølt og til dels frossent, noe som påvirket driften i perioden med opptining og mye sivevann. Denne problemstillingen er kjent og medfører bl.a. at luftingen må tilpasses dreneringsbehovet i anlegget og ikke prosessen som sådan.

Temperatur

Figur 20 under beskriver målepunktene i bingen. For hver posisjon ble det målt temperatur i og tatt prøver fra 3 punkt, 50 – 80 cm ned i massen. Figur 21 viser at temperaturutviklingen i massene er moderat, og at den avtar med tid. Finstoff andelen i massene var relativt høy, spesielt i blandingen som inneholder hagepark kompost. Det ble i tillegg anmerket at frossent avfall ga stor avrenning og problemer med driften av viftene. Dersom massene blir for kompakte vil luftingen være mindre effektiv noe som igjen legger forholdene til rette for anaerobe prosesser.



Figur 20: Prøvepunkter i komposteringsbingene i HRAs anlegg på Trollmyra.



Figur 21: Temperaturutviklingen i kontrollblanding (Strukturdel: 50 % sålderest fra hage parkavfall + 50 % kompost av udefinert kvalitet) og blanding med struktur basert 100 % kompost av hage park avfall.

Diskusjon av resultater / vurdering av metode

Forsøkene i HRAs anlegg på Trollmyra ble mislykket. Årsaken til et gjennomgående atypisk forløp er høyst sannsynlig at frossent avfall gir problemer med å lufte i henhold til spesifikasjon. Bl.a. ble det registrert fravær av lufttilførsel gjennom weekend.

Finstoffandelen i massene (spesielt i testblandingen) var også høy, noe som antagelig bevirker at massenes eksponering for luft har vært spesielt mangelfull.

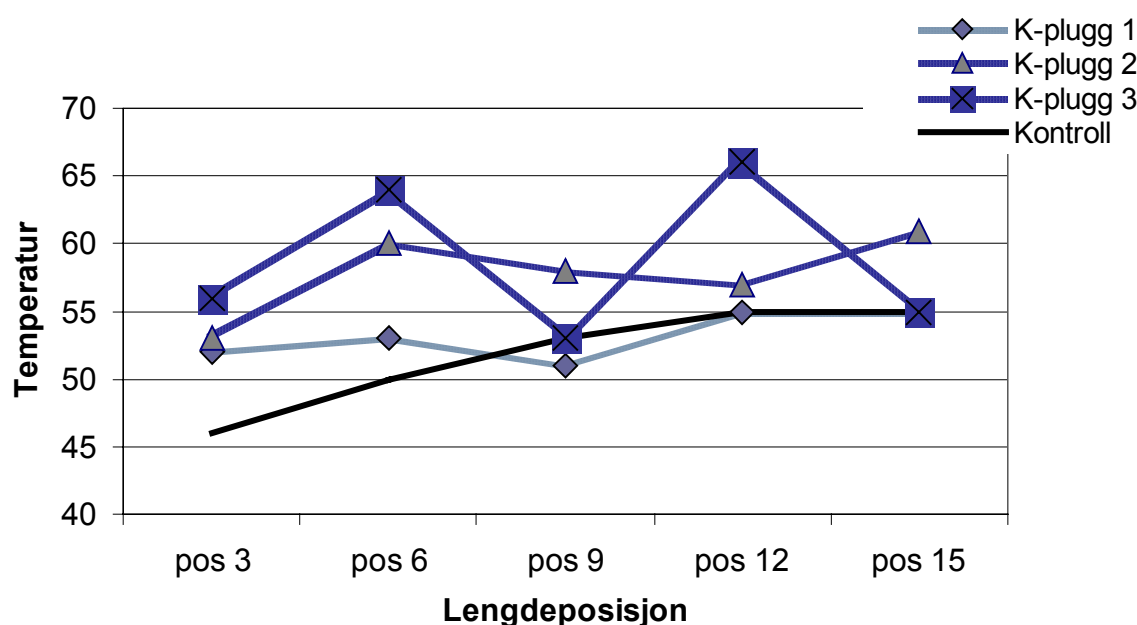
4.3.4. RKR's dynamiske bingekomposteringsanlegg på Støleheia: Justering av pH ved tilsetning av lesket kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Forsøket ble gjennomført etter planen. Doseringen (2,5 % TS) skulle i henhold til resultater fra laboratoriet sikre pH verdier i blandingen på mellom 6 og 7. Det viste seg at pH ble liggende ca. 1 log-enhet lavere. Se for øvrig Jeris og Regan (1973).

Temperaturutvikling

Figur 22 viser temperaturutviklingen i 4 kompostblandinger ("plugg") gjennom forsøksbinge i RKR's anlegg på Støleheia. 3 av blandingene er tilsatt kalk som $\text{Ca}(\text{OH})_2$, mens en fungerer som kontroll. Lengdeposisjonen gir informasjon om kompostens alder. Temperaturen stiger relativt raskt til 50°C for kalkblandingene og fluktuerer siden mellom 50 og 60°C. Kontrollen tar noe lengre tid på å oppnå 50°C, og stiger så til 55°C.

Resultatene tyder på at det er forskjell mellom kalket og ukalket blanding.

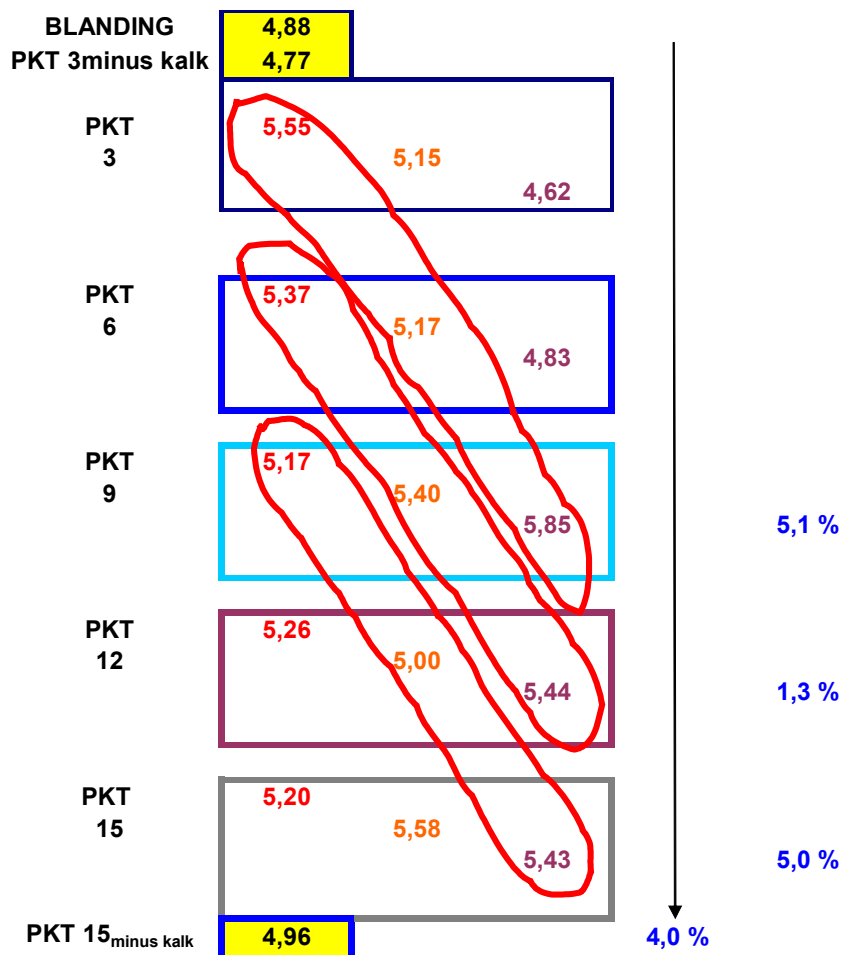


Figur 22. Temperaturutvikling i kalket og ukalket blanding i RKR's komposteringsanlegg på Støleheia.

pH

Figur 23 viser at pH i kalkede blandinger legger seg på et noe høyere nivå enn i kontrollen, men også at utslaget var noe mindre enn ønsket ($6 < \text{pH} < 7$).

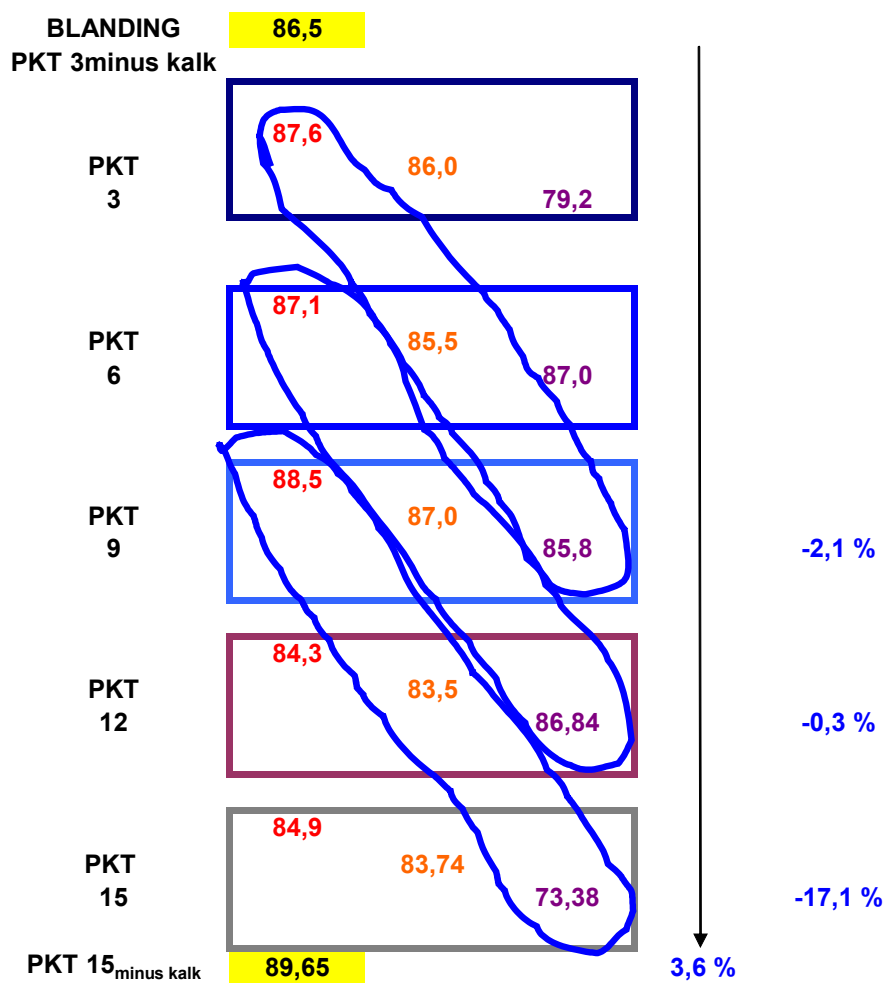
Selv om trenden gjennom komposteringsforløpet synes å være en stigende pH, er resultatene ikke overbevisende. Det kan dermed ikke trekkes noen entydig konklusjon vedrørende kalkingens effekt på prosessen målt som endringer i pH.



Figur 23: pH utvikling gjennom komposteringsbinge i RKR's anlegg på Støleheia. Prøvens posisjon i bingen fremgår av rødmerket ramme.

Glødetap

Resultatene som fremgår av figur 24 tyder på at glødetapet i kalket kompostblanding synker som funksjon av tiden, altså at det skjer en omdanning (mineralisering) av organisk stoff i blandingen. Utslagene er svært små og har stor spredning.



Figur 24: Utvikling av andel glødetap i matavfall som komposteres i dynamisk bingeanlegg på Støleheia.

Stabilitet

Utviklingen av stabiliteten i kalket kompost fra Støleheia viser at behandlingen synes å ha en positiv effekt (tabell 14). Oksygenforbruket i posisjon 15 (ved utmating etter ca. 35 døgn) er 56 % lavere enn tilsvarende i fersk prøve.

Tabell 14. Endringer i stabilitetsom funksjon av oppholdstid i RKR's dynamiske bingeanlegg på Støleheia. Stabilitet oppgis som oksygenforbruk ($\text{g O}_2/\text{kg TS} \times \text{time}$).

		S3	S6	S9	S12	S15	
Normaldrift	SOUR _{maks.}	14,36					
	SOUR _{maks.}	13,91					
	SOUR _{maks.}	14,135	15,36	17,25	13,5	15,66	
	SOUR _{snitt10}	10,49					
	SOUR _{snitt10}	9,55					
	SOUR _{snitt10}	10,02	9,67	10,02	9,42	9,12	Endring S9-S15
Kalking	SOUR _{maks.}			13,23	8,15	7,56	43 %
	SOUR _{snitt10}			9,72	6,32	6,16	37 %

Diskusjon av resultater / vurdering av metode

Resultatene fra kalkingsforsøket i RKR's anlegg på Støleheia tyder på at justering av pH i matavfallet har en positiv effekt. Det skal imidlertid tilføyes at trendene er svake, og at de ikke gir grunnlag for å trekke en entydig klar konklusjon.

Forsøket bør således gjentas med noe høyere inndosering av kalk, for eksempel 5 % TS.

På Lindum Ressurs og Gjenvinning i Drammen er erfaringene fra kalking, at doser på 15 – 20 % (av TS i matavfallet) gir svært fordelaktige effekter på komposteringsprosessen. Metoden baseres på at kalken tilføres avfallet og at innblandingen av struktur (delvis omsatt bark av gran) først gjøres etter en viss reaksjonstid for kalk-matavfallsblandingen (typisk 30 - 60 minutter). Denne behandlingen er senere gjentatt ved IVARs komposteringsanlegg på Hogstad utenfor Sandnes. Ved IVAR er det også gjennomført tester med alternativ struktur, ulike kalkkonsentrasjoner og direkte innblanding sammen med struktur. Erfaringene så langt tilsier at bark gir desidert best resultater målt som stabilitet i sluttproduktet, men at kalkdosen kan reduseres ned mot og under 10 %. Det synes som om direkte innblanding ikke gir et like ideelt komposteringsforløp. En mulig forklaring på kalkingseffekten (i tillegg til at de organiske syrene nøytraliseres) er at melkesyrefloraen drepes slik at matavfallet mer blir å regne som en næringspakke ved kompostering av bark. Godt omdannet bark representerer store overflater som befolkes av en rik mikroflora. Når matavfallet tilføres bark, gjødsles sist nevnte og forholdene for barkkompostering legges vel til rette. Alternative strukturmateriale som friskt hagepark avfall, flis og rejekt fra (sur kompost) representerer ikke samme areal og flora. Det er også beskrevet at kompostering av bark stimuleres vesentlig ved tilførsel av kalk (Erikson, 1972).

4.3.5. IRS's trommelanlegg på Erikstemmen: Poding med "tilpasset kompost"

Forsøket ble teknisk sett gjennomført etter planen.

Et avvik var at podematerialet ble hentet fra en alkalisk og godt moden kompost og ikke fra en kompost i termofil fase med stigende pH fra surt område.

Inndosering av podemateriale skjedde enten direkte i avfallet (innblanding med hjullasterskuffe) eller i utlastet masse fra formodningssilo. I siste tilfelle ble podemateriale kun tilført en av reaktorene. På den måten hadde forsøket en kontroll linje uten tilførsel av kompost.

Mengde podemateriale ble beregnet til å være ca. 10 % (vol/vol) over døgn og en reaktor. Poding skjedde arbeidstiden (8 timer).

Hvert forsøk strakk seg over en tidsperiode som gjorde det mulig å følge utviklingen i massen i sann tid, typisk 2 – 3 uker.

Temperaturutvikling

Det ble ikke funnet effekter på temperaturutviklingen som funksjon av podematerialet. Det vil si at temperaturen i formodningssilo steg til $> 50^{\circ}\text{C}$ i løpet av kort tid, mens temperaturen i trommelreaktorene holdt seg i området $40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Når det gjelder temperaturen i kompostmassen som oppholder seg trommel anmerkes:

- At overflaten er stor i forhold til volumet (fyllingsgraden oppgis til maksimalt 50 %)
- At massen beveges svært ofte (ved hver innmating)

Begge disse momentene gir grunnlag for å forklare de relativt lave temperaturene.

pH

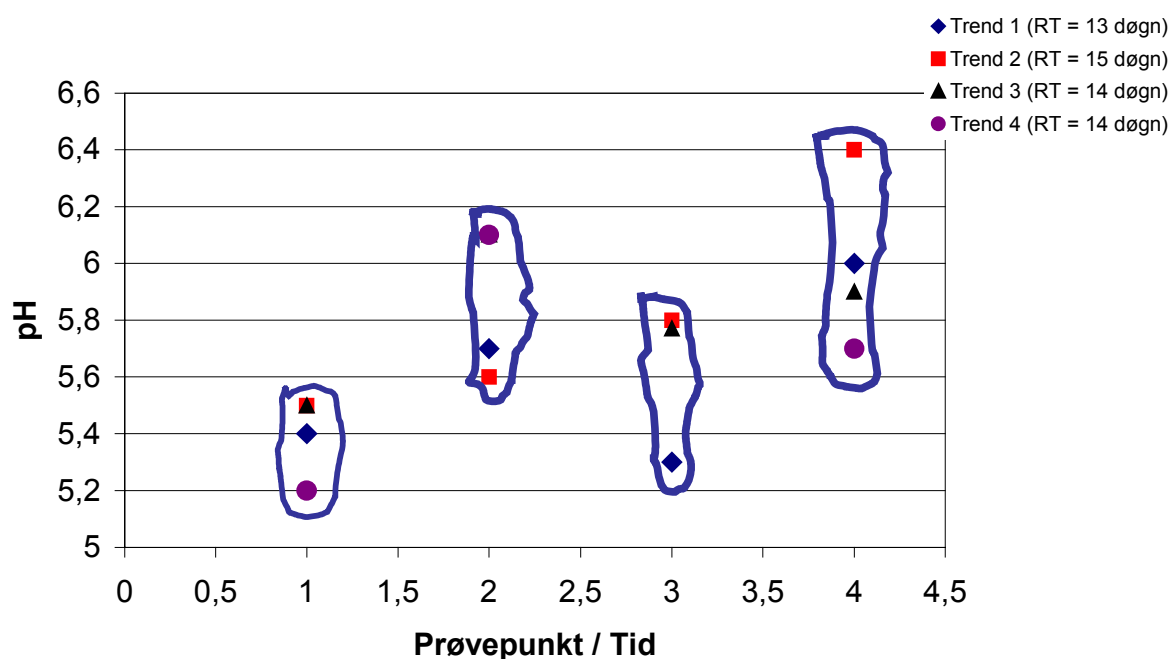
Siden valgt podemateriale (komposten) hadde en pH i overkant av 8,5 kunne det forventes en viss pH-justerende effekt av selve innblandingen. Resultatene fra prøver innhentet over arbeidstiden tyder imidlertid ikke på at en slik effekt er målbar.

Resultatene som fremkommer i figur 25 kan vise at poding av matavfallet har en effekt som kan forklares prosessuelt (stigende pH etter FM og EM).

pH utviklingen gjennom trommelreaktor kan imidlertid tyde på at massene i denne fasen ikke får tilført tilstrekkelig med oksygen eller at forholdene på annen måte er suboptimale for aerob aktivitet.

Utslagene på pH er imidlertid små, og det må tas forbehold vedrørende konklusjonen ovenfor.

Når det gjelder effekter av poding etter FM gir resultatene ikke grunnlag for entydige konklusjoner.

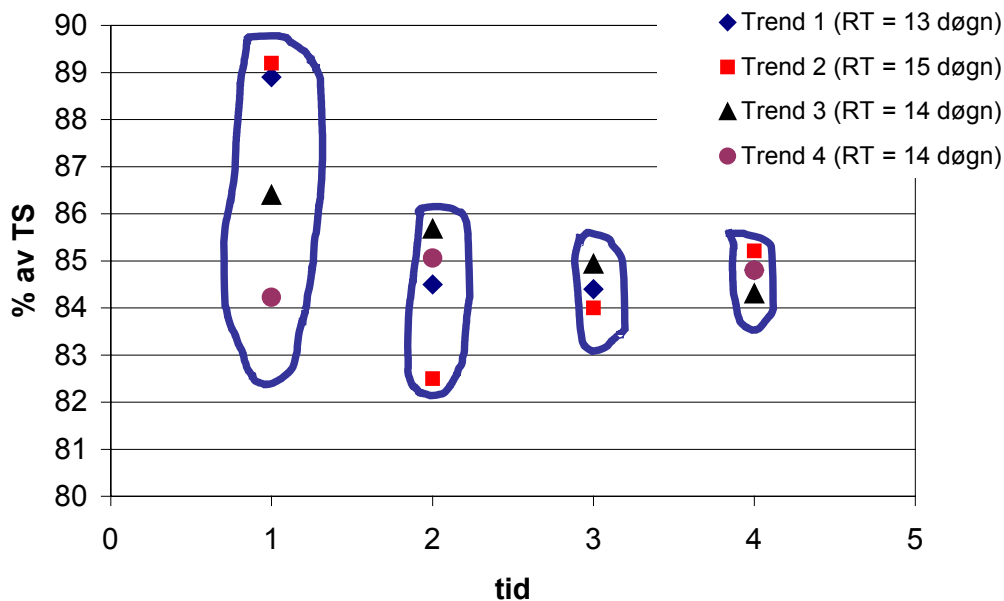


Figur 25: pH utvikling i massen gjennom IRS' trommelkomposteringsanlegg på Erikstemmen

Glødetap

Erfaringene fra prosjektet er at glødetapsanalyser er lite følsomme og derfor vanskelige å tolke. Spesielt er det vanskelig å lage representative prøver av avfallsblandingene (store spredninger).

Papirkomposten som lastes ut av trommelanlegget i Flekkefjord er et unntak, da resultatene fra glødetapsanalyser etter reaktor og etter EM har relativt små standard avvik. På grunn av stor spredning i inngående masser er det imidlertid vanskelig å trekke bastante konklusjoner. Dog kan det se ut som om det er en nedadgående trend i glødetapstallene i kompost fra avfall som er podet før innlasting i anlegget. For materiale som er podet etter formodningstank gir resultatene ikke grunnlag for å konkludere.



Figur 26: Utvikling av andel glødetap i podet matavfall som komposteres i trommelreaktoranlegg på Erikstemmen.

Diskusjon av resultater / vurdering av metode

Trommelkomposteringsanlegget på Erikstemmen er lukket og drives med korte oppholdstider. Konsistensen i avfallsblandingen som skal komposteres er svært porøs p.g.a. at papir inngår som eneste strukturgiver. Erfaringene fra ekstensiv etterkompostering (vending med hjullaster) viser at denne kvaliteten komposterer svært lett, bl.a. stiger pH etter bare få vendinger i åpen storranke. Utfordringen blir å trekke en langt større del av denne komposteringsprosessen inn i lukkede siloer og trommelreaktorer.

Poding av avfallet ved innlasting kan synes å være et alternativt tiltak, men effektene som ble registrert i forsøket er i beste fall marginale og det er mulig at forholdene for mikrobene er suboptimale.

Ved siden av startpoding bør det også gjøres tilpasninger / justeringer av driften som bl.a. kan inkludere endringer i lufteregimet.

5. Konklusjon

Etablering av forutsigbar kompostering av matavfall i lukkede anlegg er utfordrende.

Avfallet er surt, forårsaket av høye konsentrasjoner av organiske syrer, hvorav melkesyre er den dominerende.

I prosjektet ble følgende tiltak testet for å optimalisere komposteringsprosessen:

- Justering av pH ved inndosering av moderate mengder kalsiumhydroksid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sammen med strukturmateriale.
- Poding med kompost i en fase med stigende pH og høy temperatur
- Bruk av et rikt (mikrobiologisk) strukturmateriale som alternativ til flis

Konklusjonene basert på resultater og erfaringer fra stor skalige forsøk kan oppsummeres som følger:

- Prosjektet har ikke kunnet påvise at enkeltstående tiltak har vesentlig innvirkning på komposteringsforløpet
- Justering av pH synes å ha en fordelaktig effekt. Tildelt dose med kalk bør være tilstrekkelig for å sikre at pH i innmatingsmassen blir høyere enn 6,0.
- Poding av avfallsmassen som en del av forbehandlingen synes å være fordelaktig. Dette er i overensstemmelse med tidligere etablert kunnskap. Likevel er det viktig at tiltaket ikke fører til redusert porevolum eller andre kvalitetsendringer som reduserer mulighetene for å tilføre luft til massene
- Bruk av Hage Park kompost som struktur ga ikke forventede positive resultater. Forsøket ble imidlertid gjennomført under særdeles ugunstige forhold som bl.a. førte til mangelfull lufting.
- Konvensjonell kompostering av matavfall i småranker kan gjennomføres på en måte som gir en ønsket prosess med typiske økninger av så vel pH som stabilitet som funksjon av tid. Viktige forutsetninger er a) tilstrekkelig tid og areal, b) vendingsregime som sikrer eksponering (varme, luft, fjerning av avgass og vann) og hygienisering, og c) ranker med moderat volum
- Kompostering i statisk luftede ranker viste høye temperatur, men moderat aerob omdanning.
- Kunnskap om luftmengder som tilføres komposteringsmassen er mangelfull. Det må bestrebes å etablere drift som gir muligheter for å registre reell tilførsel
- Ingen av tiltakene over ga overbevisende / entydige effekter. Dette tyder på at ingen av tiltakene var i seg selv tilstrekkelig for å påvirke komposteringsforløpet. På den annen side er det heller ingen grunn for at tiltakene ikke skal gi positiv innvirkning på komposteringsforløp

Prosjektet anbefaler anleggene å øke kunnskapen om de ulike fraksjonene som blandes til kompostering. I tillegg er det vesentlig at de enkelte anlegg har og tar i bruk nødvendig kjennskap om faktiske driftsforhold, muligheter og begrensinger ved eget anlegg.

6. Referanser

Eriksson, K. E. 1972. Barkens mikrobiella nedbrytning. I Barkens Anvendning. Kompendium fra SPCI-symposium. November 1972: 8-14

Gattinger, A., Bruns, C. og Schöler, C. 1997. Microbial Biomass and Activity in composts differing in type of input material and age. I Organic Recovery & Biological Treatment into the next millennium (Stentiford, E. I. Ed.), 289-293. ISBN 0 9522270 3 7

Hellmann, B., Zelles, L., Palojarvi, A. og Bai, O. 1997. Emission of Climate-Relevant Trace Gases and Suppression of Microbial communities during Open Windrow Composting. Applied and Environmental Microbiology, 63 (No.3): 1011-1018

Jacobsen, T. 1991. Kompostering og anvendelse af kompost. Miljø & Teknologi, 1/1991: 9-12

Jeris, J. S. Og Regan, R. W. 1973. Controlling environmental parameters for optimum composting. Part I: Experimental procedures and temperature. Compost Science, 14: 10-15.

Kehres, B. og Maile, A. 1994. Methods Book for the Analysis of Compost
Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln, Tyskland. 125 sider

Lystad, H., Hammer, J. P., Sørheim, R., Molland, O., Bergersen, O. og Smits, P. 2002. Using Lime to reduce odours from biowaste composting. BioCycle, 43 (No.9): 38-42

Norgaard, E. 2001. Utviklingsprosjekt innen prosess-styring ved Støleheia avfallsanlegg. Karakterisering av Bioavfall og struktur. Rapport NJ-RKR-01. 33 sider

Smårs, S. 2002. Influence of Different Temperature and Aeration Regulation strategies on respiration in composting of organic household waste. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala 2002. ISBN 91-576-6158-8.

Viel, M, Sayag, D., Peyre, A. og André, L., 1987. Optimization of In-Vessel Co-composting through heat recovery. Biological Wastes, 20: 167 – 185.

Andahl, T. J. 2002. Kompostering i Storranke – erfaringer fra Orio prosjektet kompostering i storranke. Jordforsk rapport 80/02. 42 sider

Aasen, R. og Lystad, H., 2002. Bruk av strukturmateriale i kompostering av våtorganisk avfall. Jordforsk rapport 26/02, 45 sider.

Quinhui, W., Jun-ya, N., Nanqi, R., Toshifumi, F., Yukihide, O., Kohji, K., Yoshihito, S. og Hiroaki, O., 2003. Effect of pH adjustment on preservation of Kitchen waste for producing lactic acid. Water, Air, and Soil Pollution, 144: 405-418.

7. Vedlegg

Oversikt over vedlegg

Nr	Emne
1	Opplegg oppfølging SØIR (Hornmoen komposteringsanlegg)
2	Opplegg oppfølging IR (Skjördalen komposteringsanlegg)
3	Opplegg forsøk HRA (Trollmyra)
4	Opplegg forsøk RKR (Støleheia)
5	Opplegg forsøk IRS (Erikstemmen)
6	Prøveopparbeidelse for analyse av organiske syrer

Vedlegg 1

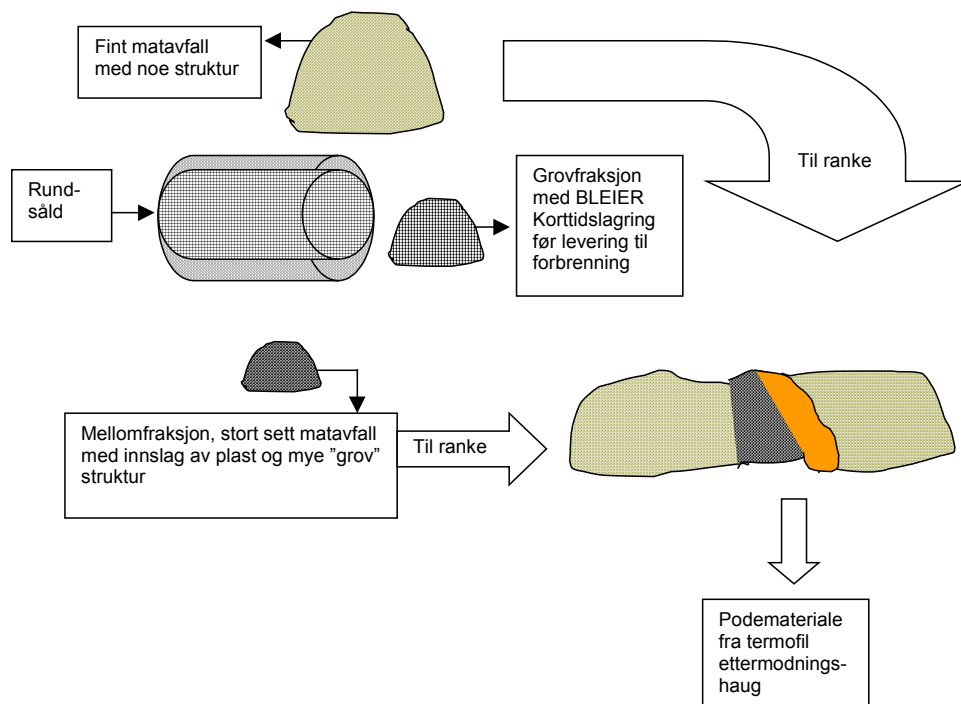
Hornmoen komposteringsanlegg Konvensjonell rankekompostering

Nedenfor gis en kort beskrivelse av prosessen slik den drives ved Hornmoen komposteringsanlegg (FASE 1 rapport)

Avfallet håndteres normalt direkte etter lossing på platen (under tak).

Etter lossing blandes avfallet med struktur på plate og deles ned i ALLU-skuff for frasålding av bleier og plast. Frasåldingen skjer i rundsåld hvor to såld (inner- og yttersåld) gir 3 avfallsfraksjoner:

- * Bleiefraksjon frasåldes på 80 * 35 mm.
- * Mellomfraksjon som i stor del inneholder matavfall og struktur som frasåldes på 20 mm
- * Finfraksjon som i det store og hele er en ren matavfallsfraksjon med noe struktur i



Skjematisk beskrivelse av sortering og logistikken rundt fraksjonene, samt etterfølgende opplegg i ranke

Dokumentasjon av avfallet finnes kun i interne avviksskjema, og en rapport Geir Goffeng utarbeidet i 1998 (rapportert 10/6 1998). Rapporten omhandler en undersøkelse av usåldet råkompost (2 uker gammel) og kompost (10 uker gammel). Det anføres at prosjektet ble gjennomført i en periode med bleier til stede i komposteringsfasen.

Av Goffengs konklusjoner trekkes følgende frem:

- Det yngste kompostmateriale var surere enn det eldre (fra 6,6 – 7,1 til 8,0 – 8,6). Dette representerer en normal og gunstig utvikling i komposteringsprosessen
- Finfraksjon ($\leq 1\text{ mm}$) er mer mineralrik enn de grovere fraksjoner (1-4 mm og $> 4\text{ mm}$). I 10 ukers kompost var karboninnholdet så lavt som 5 % (vekt) i de fineste fraksjoner.

- c) Innholdet av nitrogen synker fra grovt til finere materiale. Tilsvarende for fosfor og kalium (0,3 – 0,1 % for P / 0,7 – 0,3 % for K)
- d) Det ble anmerket at prøvene inneholdt forhøyede mengder med sink (Zn)

Rapporten sier ingen ting om avfallet, men spesielt pH utviklingen fra 2 til 10 uker forteller at den robuste åpne rankekomposteringen gir muligheter for å etablere en normal komposteringsprosess innen et relativt kort tidsperiode.

Om struktur

Strukturen som anvendes i matavfallskomposten på SØIR er av 3 typer:

- * Reduserflis, av rå stokk. Relativt fin og (naturlig nok) fuktig
- * Skaveflis av noe grovere karakter (opp til 50 – 70 mm). Skaveflisen er ellers atskillig tørrere enn reducerflisen
- * Knust avfallsvirke

Det er klart at variasjonen i strukturkvalitet kan være med å gi ulike effekter i komposteringsprosessen, f.eks. må det forventes at rå flis (reducerflis) inneholder komponenter som reduserer pH og/eller som virker direkte hemmende på komposteringsprosessene. Det blir opplyst av at dess finere flis i matavfallskomposten dess bedre.

Om prosess

Umiddelbart etter at rankene er lagt opp kjøres de over med rankevender. Dette gjør at blandingen homogeniseres og eventuelt også at podemateriale innarbeides i massene. Driften av rankene baseres på ”lang erfaring og meteorologi”. D.v.s. at vending skjer når rankenes karakter og været tillater det. Normalt vendes rankene en gang pr. uke og arbeidet tilpasses så langt mulig vindretning for å unngå klager fra naboer.

Proessen følges opp ”minst ukentlig” med hensyn til temperatur.

Nyinnkjøpt utstyr gir også muligheter for å måle gass sammensetning (CO_2 / O_2), eventuelt CH_4 i ulike sjikt i rankene.

Komposteringsfasen (det vil si periode med aktiv vending) skjer p.t. over en periode på minimum 8 uker. Nedstrøms legges denne perioden rankene i store hauger som vendes 2 – 3 ganger over en periode på 2 – 3 måneder.

STORSKALA FORSØK VED SØIR’S KOMPOSTERINGSANLEGG PÅ HORNMOEN

Anlegget på Hornmoen er representant for et konvensjonelt rankekomposteringsanlegg. Det legges derfor opp til å dokumentere prosessen slik den foregår ved normal drift.

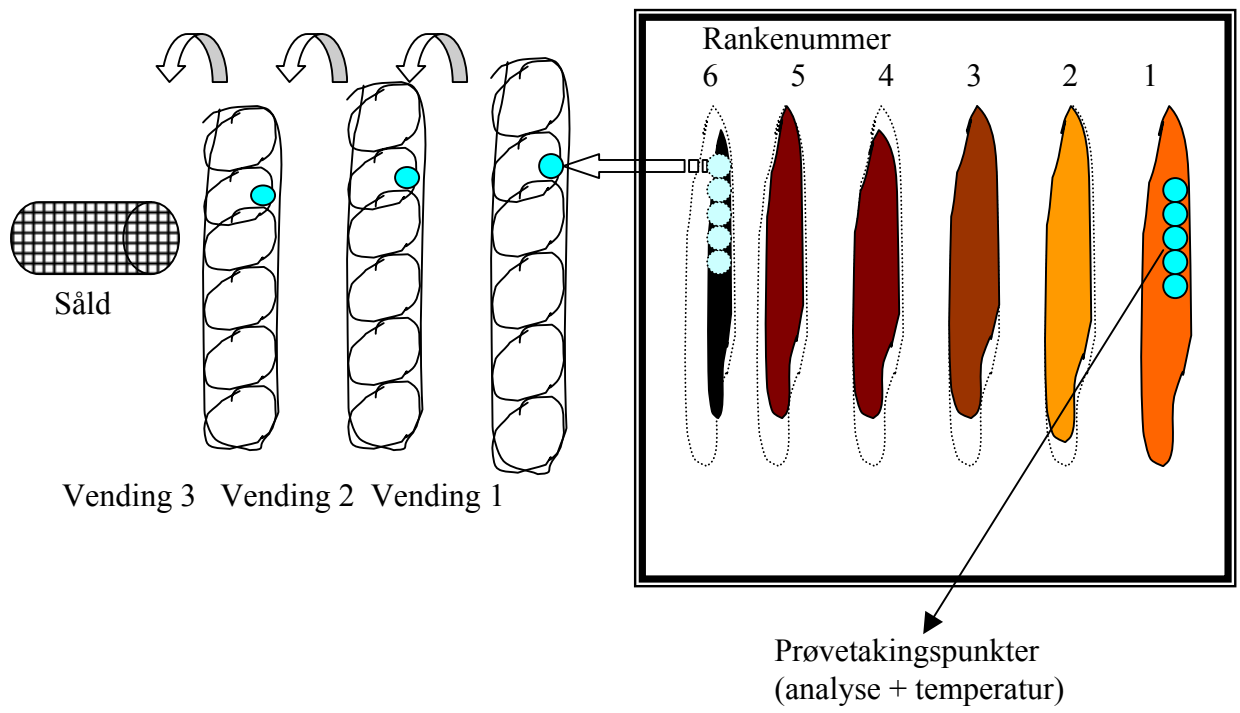
Komposteringsprosessen ved Hornmoen deles inn i en aktiv komposteringsfase i små ranker under tak som etterfølges av kompostering i storranke før sålding, kvalitetssikring og lagring.

Proessen følges som beskrevet nedenfor

Aktiv kompostering undertak.

En del av småranken avgrenses for dokumentasjon; - som vil si temperaturregistreringer og prøvetaking for analyser.

Området i småranke plasseres i storranke slik at denne kan følges gjennom vendinger og sålding. Det tas ut prøver i forbindelse med hver arbeidsoppgave (vending eller sålding).



Vedlegg 2

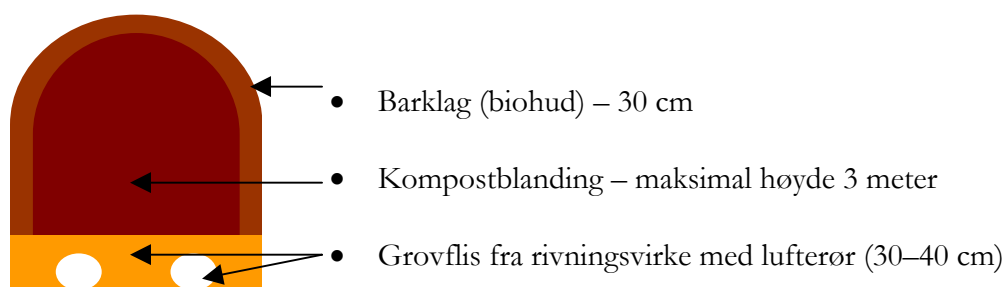
SKJØRDALEN KOMPOSTERINGSANLEGG

Referanseanlegg for prosess Statisk Luftet Ranke

Nedenfor gis en kort beskrivelse av prosessen slik den drives ved Skjørdalen komposteringsanlegg i Verdal (FASE 1 rapport)

Avfallet håndteres i dag som følger:

- Neddeling av avfall fra mottakslager i ALLU skuff
- Direkte sålding på rundsåld (60 * 60 mm)
- Utlegg i blandranke (2 volumdeler matavfall + 1 volumdel struktur)
- Blanding med rankevender
- Etablering i storranke
- Storranken bygges opp som følger



Figur: Oppbygging av madrass

Hver storranke er 30 meter lang. Rankene etableres side om side slik at de etter hvert danner en ”madrass”. Det ble anmerket at barkhuden ble lagt helt ned til bakkenivå, noe som medfører introduksjon av barklag inn i madrassen.

Om struktur

Innherred driver selv med oppkverning av rivningsmateriale. Det er grovfraksjonen (> 20 mm; opp til og over 160 mm) som i dag anvendes som strukturmasse i komposten.

Barken som dekker storranke / madrass er av type fersk granbark, enten en relativt findelt kvalitet fra Norske Skog på Skogn eller en typisk grovbark fra stedlig sagbruk.

Om prosess

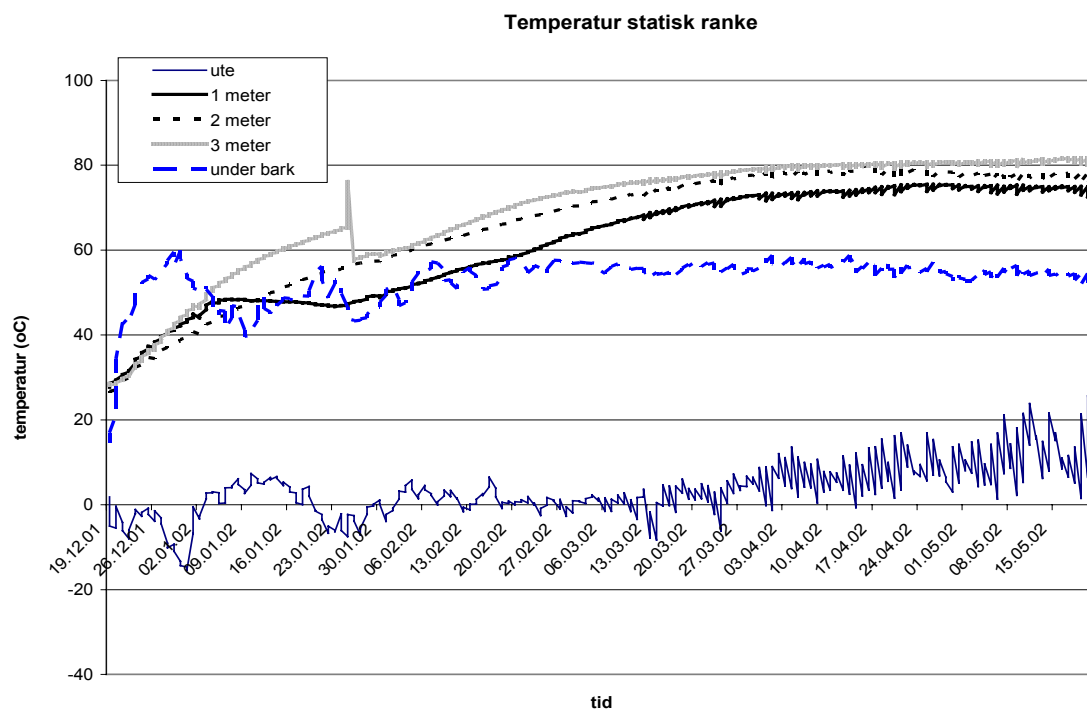
Madrassen luftes stort sett ved sug. Fullt utbygget er 9 vifter i drift. Viftene gir hver 3 500 m³/time. I undertrykkssystemet vil imidlertid effekten være lavere. Det finnes ingen estimater på hvor store luftmengder som går gjennom komposten.

Madrassen luftes på tidsfrekvens, typisk 2-4 minutter hver halvtime. Temperatur og oksygen måles 30 – 60 cm under overflaten av madrassen, minst en gang pr. uke. Det tar kort tid å oppnå temperaturer > 60°C. Ved befaring hadde flere av madrassrankene temperaturer tett under og like over 70°C. Oksygenmengden i samme målesoner lå på rundt 10 %.

Komposteringstiden er ca. 6 måneder.

Dokumentasjonen som gjennomføres på Skjørdalen komposteringsanlegg har som formål å beskrive utviklingen av utvalgte parametere gjennom prosessforløpet som strekker seg over 6 måneder. Har vi å gjøre med en komposteringsprosess slik den beskrives gjennom litteraturen; med en gradvis pH økning og stabilisering eller er det overveiende syredannende og/eller metandannende prosesser som får dominere i massene?

Jordforsk har i ORIO-prosjektet **Kompostering i storranke** dokumentert at temperaturutviklingen i store deler av massene følger samme forløp med jevn stigning for så å stabilisere seg rundt 80°C etter 2 – 3 måneder. Unntaket er ustabile og lavere temperaturer i laget like under barkedekket (biohuden). Figuren under viser gjennomsnittlig temperaturforløp i ulike sjikt i kompostranke på Skjördalen komposteringsanlegg (Aandahl, 2002).



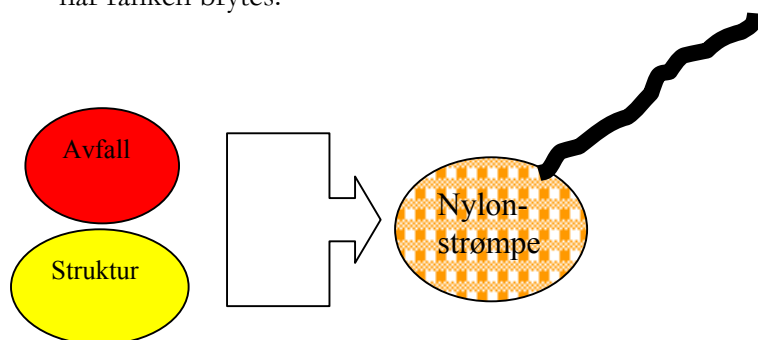
Volumene i rankene (madrassen) gir nok en meget god konservering av varmeenergien, men avdampningen og lufteregimet synes å gi en tilstrekkelig nedkjøling til å holde forholdene i et ”biologisk temperaturområde”.

Opplegg dokumentasjon Luftet Statisk Ranke

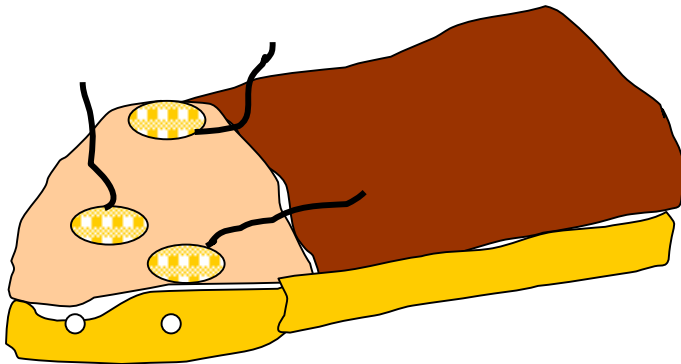
Dokumentasjonsforsøket legges opp som følger.

Det tas ut et homogent og representativt volum for avfallsstrukturblandingen slik den foreligger ved etablering av ranke. Følgende informasjon og prøvetyper / analyser skal sikres (se vedlagte journal):

1. Strukturtype
 - Det gis en beskrivelse av strukturmateriale som henspeiler på opphav, såldstørrelse og eventuelt andre karakteregenskaper. Det tas ut en representativ prøve på 5 – 10 liter for lagring.
2. Blandforhold
 - Blandforholdet mellom struktur og avfall
3. Prøver av avfall og avfall/strukturblending
 - Det tas ut homogene blandprøver (1 – 2 liter) av forbehandlet avfall, d.v.s. etter Allu skuff og såld samt ferdig blandet avfall/struktur. Prøvene skal analyseres for pH, TS, glødetap og melkesyre. Prøvene forsegles og oversendes Jordforsk umiddelbart. Prøvene kan alternativt fryses ned.
4. 9 prøver av 30 - 50 liter legges i nettingstrømpe av plast. Strømpene knytes sammen med nylontau. Enden på tauet legges i overflaten av ranken slik at det er mulig å gjenfinne prøvene når ranken brytes.



5. Nettingstrømpeprøver utplasseres i manuelt i 3 ulike nivåer (dyp):
- Nivå 1: like over såle med lufterør
 - Nivå 2: Midt i ranken
 - Nivå 3: Like under barklaget



6. Driftsoppfølging
- Temperatur og eventuelt $O_2/(CO_2)$ i henhold til egne driftsrutiner
7. Lufting
- I henhold til driftsrutinene
8. Når ranken brytes samles nettingposene inn for følgende analyser av komposten
- ♦ pH
 - ♦ TS og glødetap
 - ♦ Organiske syrer (primært melkesyre)
 - ♦ Stabilitet som SOUR
 - ♦ Bakteriologi

Oppfølging: Statisk luftet Ranke – Skjørdalen komposteringsanlegg

Dato:	Temperatur °C
Struktur type:	Struktur såld: mm
Avfall: matavfall	Avfall alder: Min: dgn. Max: dgn.
Blandforhold: avfall / struktur	/ (vol/vol)

Prøver / analyser oppstart

Avfall (Jordforsk)		Avfall (Intern - Fryser)		Avfall/Struktur (Jordforsk)		Avfall/Struktur (Intern - Fryser)		Struktur (Intern lagring)	
pH		<i>Back-up</i>		pH TS Glødetap Melkesyre		<i>Back-up</i>		<i>Back-up</i>	

Oppfølging prosess: temperatur (vedlegger log)

Prøver / Analyser kompost

Kompost nedre 3 * 30-50 liter		Kompost senter 3 * 30-50 liter		Kompost øvre 3 * 30-50 liter	
pH TS Glødetap Melkesyre Flora		pH TS Glødetap Melkesyre Flora		pH TS Glødetap Melkesyre Flora	

Prøvene sendes til nedenfor stående adresse

Roald Sørheim
Jordforsk
Frederik A. Dahls vei 20
1432 Ås
Tlf. 64 94 81 86;

Vedlegg 3

Trollmyra komposteringsanlegg (HRA)

Lukket anlegg 1.

Nedenfor gis en kort beskrivelse av prosessen slik den drives ved Trollmyra komposteringsanlegg (FASE 1 rapport)

Om avfallet

HRA eies av kommunene Gran, Lunner, Jevnaker, Ringerike og Hole. I tillegg mottas avfall fra Valdres regionen (VKR), med kommunene Nord-Aurdal, Sør-Aurdal, Vestre Slidre, Øystre Slidre, Vang og Etnedal. Antall personer: 78.000, hvorav Valdresregionen har ca. 18.000. Mengde avfall: totalt 5.000 tonn per år. Hver husstand sorterer avfall i tre fraksjoner: Matavfall, papir og restavfall. I Ringerike samles matavfallet i bioposer som er basert på potetstivelse. I de andre eierkommunene samles avfallet i papirposer. Avfallet fra Valdres oppbevares i bioposer som legges i papirsekker utendørs. De angitte sorteringsrutinene i husholdningene gjør at matavfallet vil inneholde en del papir (for eksempel tørkepapir og matemballasje). Bleier sorteres til restavfall og leveres dermed ikke som matavfall fra husholdningene. I følge Reistad kan det virke som om avfall i bioposer er noe fuktigere enn når det kastes i papirposer. På HRA mottas ingen nevneverdige avfallsmengder fra industri. I Valdres husholdningene legges posene i papirsekker som henger i stativ (plast med lokk, men fri lufttilgang), mens de andre husholdningene har lukkede plastdunker (140 L) uten lufting. I eierkommunene hentes matavfall fra abonnentene hver 14.dag gjennom hele året. I Valdres hentes matavfallet annen hver uke om vinteren og hver uke om sommeren. Avfallssekkene plasseres i konteiner og leveres HRA ukentlig. Forventet tid fra avfallet kastes hos abonnentene til det går inn i komposteringsanlegget på Trollmyra er opptil 3 uker. Midlere lagringstid anslås til 2 uker. Avfallet fra Valdres oppfattes ofte som fuktig, men har mindre fremmedlegemer. Det synes klart at eldre avfall som er lagret i konteiner er fuktigere enn ferskere avfall.

Om håndtering i anlegg

Avfall ankommer anlegget fordelt over alle hverdager. Ved ankomst Trollmyra tømmes avfallet direkte i mottaksbinge for videre behandling. I noen tilfeller vil avfallet bli lagret her over natten evt. over helgen for prosessering. Lagring etter mottak på Trollmyra er særlig aktuelt for avfall fra Valdres. Det har sammenheng med at hver leveranse kan utgjøre omkring 30 tonn, noe som er for mye å ta inn i komposteringsanlegget samtidig. Vha. skrapegulv i mottaksbingen og skruer transporteres avfallet til poseåpner (17 kniver med 40 mm mellomrom). Deretter passerer avfallet skruesikt med maskevidde 45/90mm (oval). Omkring 10 % siktes fra og går til deponi. Deretter blandes avfallet med strukturmateriale før det legges i binger.

Om struktur

Det tilsiktes å benytte strukturmateriale som inneholder 30 % bark, 50 % hage/park og 20 % returkompost. Ved besøket ble det også observert noe innblanding av flis/malt trevirke. Dette er malt hunved som bare er tilgjengelig i en liten periode om høsten, og blandes inn som del av hage/park andelen slik at strukturblandingen består av 30 % bark, 30 % hage/park, 20 % flis og 20 % returkompost. Returkomposten som benyttes i strukturblandingen er varm sikterest etter kompostering og kan dermed anses som podemateriale. Anlegget har mye hageavfall, som nå skal lagres under tak. Det har tidligere i en lang periode vært benyttet strukturmateriale som beskrevet over, men i annet mengdeforhold (Bark 50 %: hage/park (evt. flis) 30 %: returkompost 20 %).

Om prosess

HRA benytter BKS komposteringsanlegg hvor massen legges i luftete binger. Massen vendes ved å legge bunnlaget på toppen av massen. Luft tilføres massen gjennom 4 rør i gulvet på hver binge, totalt 300 m³/h per binge som rommer 200 m³ masse. Lufting slås av/på hvert tiende minutt. I følge utførte målinger fører dette til at oksygennivået i massen stort sett er høyere enn 3 %. I tillegg vendes massen hver natt ved at ca 0,5 m tas ut i bunnen av massen og legges jevnt fordelt på toppen. Oppholdstiden i bingene er 5 uker. Massen som går inn i bingene har stort sett en surhetsgrad på rundt 4,5. Gjennom prosessen øker pH svakt, slik at komposten ut av bingene har pH omkring 5. Temperaturen under komposteringsprosessen måles regelmessig, men den brukes ikke som styringsparameter for videre behandling. Prosessen er dermed bare styrt etter tid. Vanlig temperatur i massen under kompostering er ca. 60 °C, men har i en periode nå i høst hatt ned mot 50 °C. Etter behandling i binger ettermodnes komposten med tilførsel av luft i ca 45 dager.

STORSKALA FORSØK VED HRA's KOMPOSTERINGSANLEGG PÅ TROLLMYRA

Komposteringsprosessen ved HRA's komposteringsanlegg på Trollmyra er lagt opp som følger:

Avfallet blandes med hagepark kompost og tilfeldig (i forhold til kvalitet) matavfallskompost-kvalitet etter følgende oppskrift.

Avfall:	4 deler
Hage Park kompost:	2 deler
Matavfallskompost:	2 deler

Oppholdstiden i BKS cellen er ca. 5 uker fordelt i følgende faser:

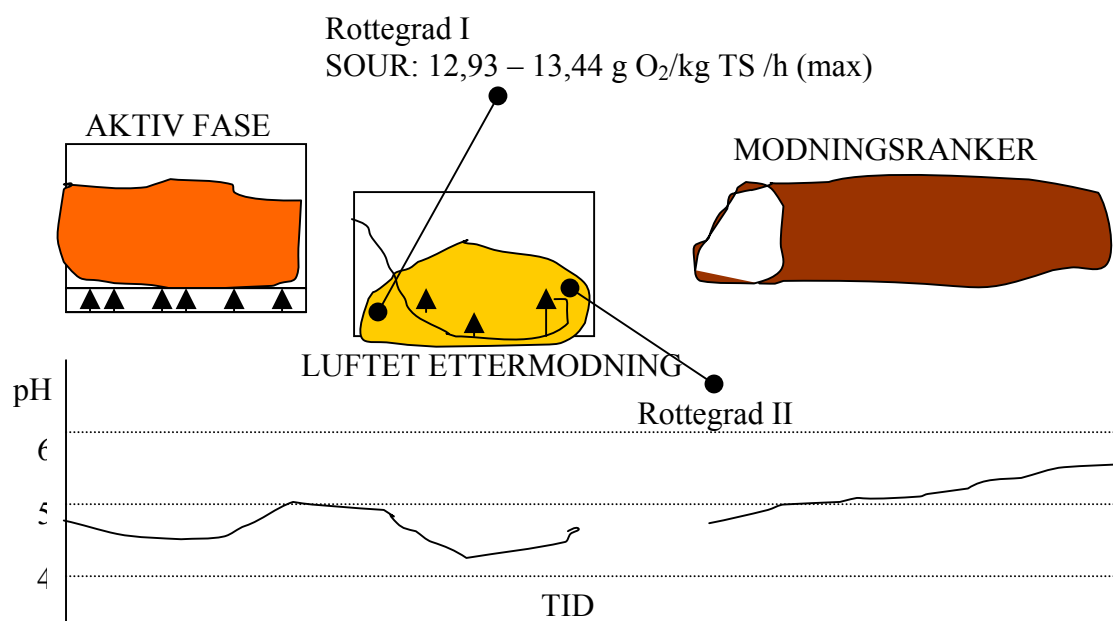
1. Lasting: 200 m³: 1 uke
2. Aktiv Kompostering: 3 uker
3. Lossing: 1 uke

Gjennom den aktive komposteringsfasen vendes kompostmassen en gang pr. uke gjennom daglige vendinger av ca. 20 % (av totalvolumet). Massen luftes i tillegg gjennom innblåsing fra vifte. Viftekapasiteten er oppgitt til 9 m³/min (eller 540 m³/min).

Viften leverer pr. dato typisk 20 – 30 minutter i timen gjennom store deler av aktiv komposteringsfase. Driftsinstruksen (Lystad, 2000) anbefaler at lufting igangsettes etter en lengre kondisjoneringsfase der mikrobielle konsortier etableres og de ulike komposteringsprosessene kommer i gang. I denne fasen vil temperaturen stige. Luftmengden som leveres fra viften er innstilt (ut fra erfaringer / resultater fra tester) slik at oksygennivået i massen ikke understiger 3 %.

I etterkant av aktiv kompostering legges råkomposten i luftede binger der oppholdstiden er 5 – 7 uker.

Figuren nedenfor beskriver et prosessforløp slik det kan rekonstrueres basert på resultater fra stikkprøver tatt av materiale fra ulike stadier i komposteringsprosessen. pH i kompost som losses fra BKS anlegget hadde en pH litt i overkant av 5,1, mens produktene som hadde ligget i luftet ettermodning hadde lavere pH-verdier så nær som den eldste (alder: 12 – 14 uker) der pH ble målt til 5,2.



Figur 2: Viser pH utvikling gjennom aktiv fase, luftet ettermodning og åpne ranker. Stabiliteten i fersk råkompost og kompost ut fra luftet ettermodning er også tegnet inn, som henholdsvis Rottegrad og SOUR.

Forsøk på Trollmyra komposteringsanlegg: Inokulering med Hage Park kompost

Komposteringsanlegget på Trollmyra har i de siste månedene blandet kompost og sikterest etter sålding av hage park kompost inn i matavfallet. Driften er i denne perioden rapport å ha vært tilfredsstillende ut i fra mer kvalitative kriterier. pH-verdier i stikkprøver fra ulike faser (se figur 1) kan tyde på en svakt stigende trend ved lossing fra aktiv fase. Dette vil normalt anses som en god prosessindikator.

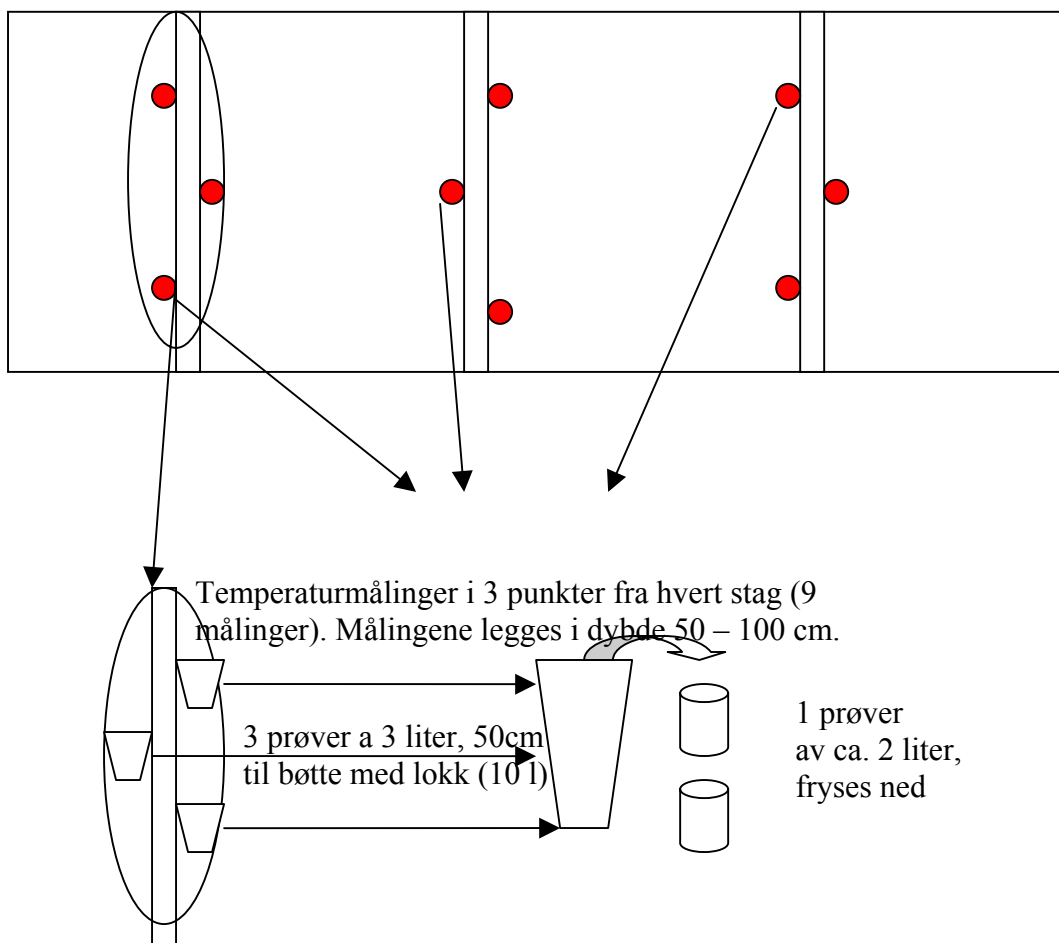
I hvilken grad det er sikterest fra hage park kompost eller innslag av matavfallskompost (eller kombinasjonen) som gir en bedret prosess er uklart, men det er rapportert fra andre anlegg (Zeben Putnam, personlig meddelelse) og i litteraturen (Gattinger et al., 1997) at tilslag av hage park kompost gir et forbedret komposteringsforløp.

Vi legger opp til en serie forsøk for å bekrefte en eventuell rolle som Hage Park kompost måtte ha. Forsøksserien er beskrevet i tabellen under.

Forsøk	Avfall	HP sikterest	Kompost	HP finstoff	Driftsforhold
Kontroll	4	1	1		➤ Lufting: 10' på / 15' av ➤ Vendefrekvens som nå
Forsøk 1	4	1	1		➤ Lufting: 5' på / 25' av ➤ Vendefrekvens som nå
Forsøk 2	4	1		1	➤ Lufting: 10' på / 15' av ➤ Vendefrekvens som nå
Forsøk 3	4	1		1	➤ Lufting: 5' på / 25' av ➤ Vendefrekvens som nå

Temperaturmålinger og prøvetakinger for analyser gjennomføres fra / under ”midtstag” i forsøksbingen som vist i figuren nedenfor.

I tillegg tas en komposittprøve av avfall/struktur blanding som tidligere beskrevet i rapport fra Fase 2.



Figur 3: Punkter for temperaturregistrering / prøvetaking inklusiv beskrivelse av metode

Vedlegg 4

Støleheia komposteringsanlegg (RKR) Lukket anlegg 1.

Nedenfor gis en kort beskrivelse av prosessen slik den drives ved Støleheia komposteringsanlegg (FASE 1 rapport)

Om Avfallet

Avfallet som kommer inn til RKR håndteres umiddelbart. Anlegget skal fra og med januar 2002 gå over til forsikting av avfallet på 90 mm duk, før innblanding av struktur. Dette kan representere en logistisk barriere (=kapasitetsproblem) og resultere i hyppigere behov for kortere internlagringsperioder.

Det ble opplyst at avvik i fuktighet ble justert ved tilsetning av flis. Avfallskvaliteten ble av driftsoperatør Thorlaug Rabbersvik karakterisert som årstidsavhengig, for eksempel er høstavfall ofte bløtt.

RKR har gjennomført et større dokumentasjonsarbeid på innkommende avfall. ORIO-Prosjektet kan anvende stoff fra rapporten utarbeidet av Norsk Jordforbedring: *Utviklingsprosjekt innen prosessstyring ved Støleheia avfallsanlegg / Karakterisering av Bio-Avfall*. Rapporten som sådan er lukket og dermed ikke direkte tilgjengelig.

Forbehandlingen av avfallet er endret ved RKR (høst 2001). Nå foregår blandingen med ALLU-skuff (ca. 4 m³) mot tidligere i egen neddeler. Matavfallet harves først gjennom ALLU-skuff.

Dernest etableres en seng som følger:

- * Først en skuffe "resirk" etter sålding på 10 med mer.
- * 4 – 5 skuffer med matavfall, oppå resirkulert materiale
- * 1 skuffe med knust, rent trevirke

Etter utlegg i seng blir massene blandet sammen med ALLU tre til fem ganger (behov vurderes ut fra konsistens og grad av oppnådd homogenitet). Så lastes blandmassen i skruetfordeler som kjøres (på skinner) inn i anlegget for lossing i riktig bing. Når det gjelder oppholdstider i anlegg ble det opplyst at 21 dager er teoretisk mulig ved vending hver ukedag. Det ble imidlertid informert om at oppholdstiden normalt er lengre enn 21 døgner.¹²

Om struktur

Strukturmaterialiet som brukes på RKR er knust trevirke (ren fraksjon som for eksempel paller). Strukturen er relativt grov med varierende tørrstoff. Høvelflis brukes periodisk for å justere TS i blandmassen.

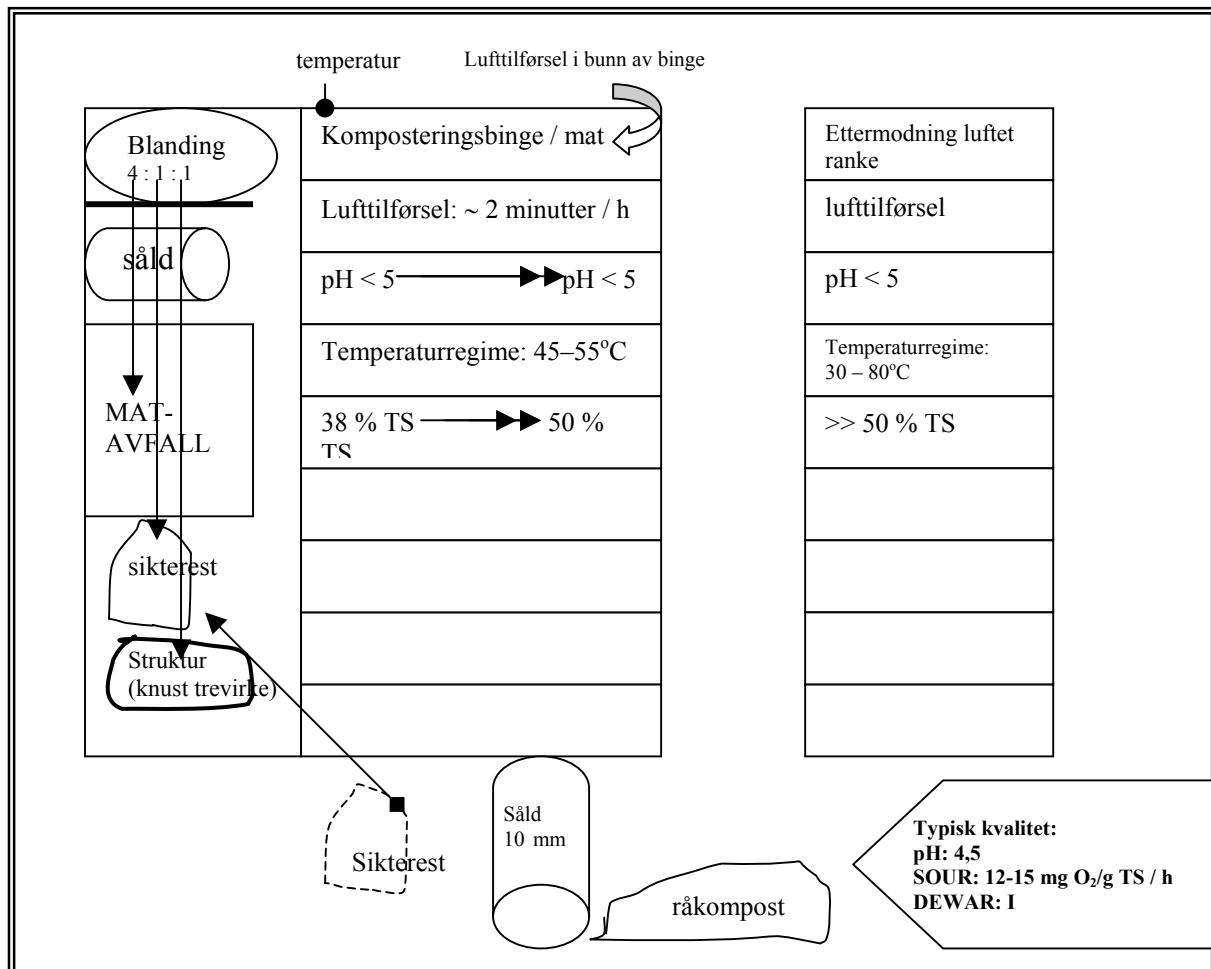
Om prosess

Anlegget har 5 temperatursoner som logges og temperatur registreres i PC. Dagens system er ikke tilrettelagt for å registrere temperaturforhold automatisk i ett punkt i massen gjennom hele oppholdstiden i bing. Imidlertid er temperaturutviklingen mulig å følge opp manuelt, ved å logge vendefrekvens opp mot temperaturregistreringer. Temperaturen måles i vegg noe som kan gi falske opplysninger på grunn av kortslutninger i luftstrømmen. Det er gjennomført forsøk som dokumenterer at det er en temperaturgradient gjennom massen fra veggmålingen (automatisk) og til målinger i definerte soner i massen; halvveis fra midtsone til vegg, ca. 50 cm under overflate, er temperaturen høyest. Lufting reguleres i henhold til tid i det enkelte reaksjonsfelt (A, B, C, D, E) og i henhold til settpunkter (satt forskjellig i de samme 5 felt). Kapasiteten i viftene er ikke kjent. Hallen har imidlertid konstant undertrykk og ventileres med 125 000 m³/time. Det tilføres frisk luft til komposten; - ikke resirkulering av luft. De første lengdene av bingene inkluderes ikke i lufteregimet. Rankene vannes fra sprinkler anlegg (eksklusiv sone A).

¹² Med bakgrunn i at oppholdstiden per bing for blandeverket kun er 1 time og 20 minutter, ble det hevdet at en blanding per døgn er mulig. I ettertid er oppholdstiden for matavfallet anslått til 30 døgner.

STORSKALA FORSØK VED RKR's KOMPOSTERINGSANLEGG PÅ STØLEHEIA

Skissen nedenfor beskriver dagens driftsrutiner og noen typiske driftsparametere ved komposteringsprosessen ved RKR's anlegg på Støleheia.



Som indikert av figuren over følger komposteringsforløpet ikke et ideelt forløp. pH stiger ikke gjennom aktiv, lukket fase og stabiliteten i kompost ut fra ettermodningsfase målt som oksygenforbruk i løsning ligger i området 15 mg / g TS/time, hvilket må sies å være svært høyt. Temperaturen i kompostmassene når bare unntaksvis 60°C og da i forbindelse med at massene får ligge i ro (over weekend for eksempel). Gjennom ukedagene fluktuierer temperaturen i området 40 – 60°C.

I utgangspunktet anvender et podemateriale gjennom innblanding av sikterest (fra 10 mm såld). Siden pH i sikterest og ferdig såldet råkompost måles til ned mot og under 5.0 er det mulig at denne type podemateriale ikke er optimalt. Det er også naturlig å anta at størsteparten av mikroorganismene foreligger i komposten.

Det ble tatt ut prøver av relativt ferske ranker med temperaturer > 60°C for å finne et egnet inokulum. Ideen var å lage en forblending mellom ideelt podemateriale (kompostranke med temperatur ca. 60°C og stigende pH i området 5,5 – 6,5) og strukturmateriale som så skulle blandes inn i avfallet. Forhold rundt lav bemanning, lite plass og press på kapasiteten gjorde stor

skala forsøk med inokulering fra termofil kompost vanskelig å gjennomføre. I stedet for vil et forsøk med kalktilsetning prioriteres ved dette anlegget.

I tillegg kjøres en av bingene med lavere vendefrekvens. Dette for å dokumentere tidlige erfaringer med høyere temperaturer i kompostmasser som får ligge i ro over perioder på 2 – 3 døgn.

Forsøkene og dokumentasjonen legges opp som beskrevet nedenfor:

Kalkingsforsøk

Bakgrunn

Ved kompostering i henhold til den såkalte Lindummetoden blandes først store mengder med kalk som kalsiumhydroksid inn i matavfallet (opp til 20 % av TS i matavfallet; se figur 2 under). Etter innblanding får massen ligge i 2 – 3 timer før granbark blandes inn.

Både pH og temperatur stiger umiddelbart i startblandingen. Når massen entrer BKS anlegget (lukket bingekomposteringsanlegg) ligger pH i overkant av 12, mens temperaturen fluktuerer i området 60 – 75°C.

Etter 1-2 døgn i anlegget synker imidlertid pH relativt raskt ned til verdier under 9, mens temperaturen holder seg i området rundt 70°C. I Lindummetoden dokumenteres rask etablering av en effektiv mineralisering målt som respirasjon (CO₂ produksjon pr. masse' og tidsenhet).

Forklaringen på at den røffe kalkbehandlingen ikke forårsaker kollaps i / av komposteringsfloraen kan skyldes at hydroksidionene spises raskt opp av organiske syrer, hydrolytiske reaksjoner og komponenter i granbarken. Sist nevnte tilfører muligens en effektiv komposteringsflora (podemateriale) i en fase der pH er på retur. Matavfallet gjøres enda bedre tilgjengelig gjennom lutbehandlingen. Dette kan være med å forklare den effektive respirasjonen som registreres når massen er etablert i lukket fase.

Tabell 2: Beregning av inndoseringsmengder med Ca(OH)₂ i matavfallet i henhold til Lindummetoden

Lindummetoden				
	TS	Mengde tonn	Mengde tonn TS	Ønsket kalkandel som % av TS (matavfall)
Avfall	35%	100	35	
Kalk	100%		7,00	20%

Tilpasset kalkingsforsøk RKR

Hver dag legges det inn ca. 6 tonn med avfall i hver bing.

Ny blanding (avfall struktur + inokulum) utgjør et volum på ca. 8 - 10 m³ av bingen eller et areal på 4 m² (1,5 meter innover i bingen).

Kalk (Ca(OH)₂) tilføres avfallsblandingen som et overdekke.

Kalken får virke i 2 – 3 timer før blandtrommel mikser kalken inn i restvolumet. Mengde kalk som anvendes skal gi en slutt pH i hele blandvolumet i området 6 – 8. Resultater fra forsøk i

laboratorie-skala har gitt grunnlag for å benytte inndoseringsmengder med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ på 2,5 % (vekt/vekt TS).

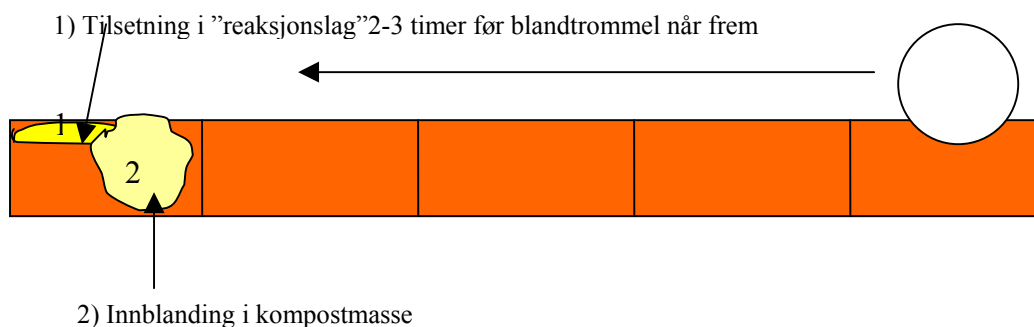
Tabellen nedenfor viser resultatene fra doseringsforsøket:

- 0 Mål : hvor mye kalk må tilføres oppå en gitt avfallsmengde for at pH skal bli 6-7 etter et par timer?
- 1 Ta ts mål pH
- 2 vei inn 1 kg masse for hver behandling (mulig dette må justeres ned for å få nok materiale til alle prøvene)
- 3 strø $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oppå i ulike mengder
- 4 La stå på benken i 2 h
- 5 bland alt godt sammen (kan gjøres med hendene, men grundig **obs** hansker!)
- 6 mål pH nå og neste dag..

Kalkmengde	pH	pH
% av TS	2 timer	24 timer
0	4,45	4,44
1	5,12	5,15
2,5	9,05	6,32
5	11,81	8,73
10	12,44	11,83

Denne ”start pH” verdien skal kunne måles i blandmassen 12 – 24 timer etter at blandtrommelen har arbeidet.

Formålet er at en mer beskjeden overflatekalking skal gi en starteffekt som vil si at den delen av floraen som er syreoksidierende / komposterende får mer ”optimale komposterings-betingelser”, bl.a. vil en høyere pH resultere i at størstedelen av syrene foreligger på saltform. Denne ”komposteringsfloraen vil da ha fortrinn og dermed også dele seg raskere. Selv om en relativt stor del av bingen ”går med” til å justere pH og tilrettelegge for mikrobiell aktivitet vil det kanskje være tilstrekkelig med reaksjonsmeter igjen til å få til en god prosess? En eventuell suksess kan vanskelig dokumenteres som stigende pH fra 4,5. Kanskje bedre som økning i stabilitet (sammenliknet med dagens nivå ut fra bingen som er $> 15 \text{ kg O}^2/\text{tonn TS} / \text{time}$).



Figur 3: Skisse som beskriver kalktilsetning som gjennomføres i en av bingene ved RKR

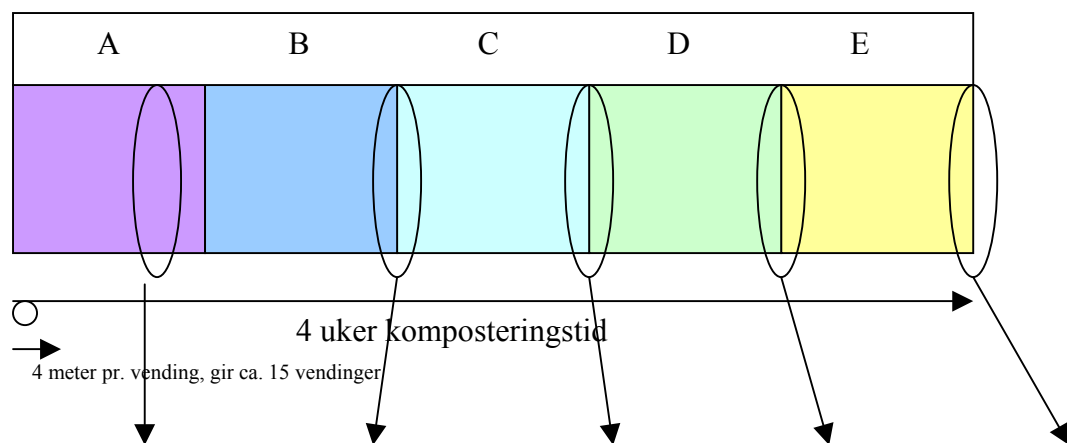
Fremdrift og dokumentasjon

Kalkforsøket settes i gang umiddelbart etter at korrekte doseringsmengder er fastslått. Testen gjennomføres i en utvalgt binge og med de vendefrekvenser som anvendes i henhold til dagens rutiner.

Kalkdosering skjer ved innlasting over en periode på 2 uker. Dersom uforutsette forhold skulle oppstå avsluttes kalkingen umiddelbart. Slike forhold kan dreie seg om at konsistensen i kompostblandingen vanskeliggjør vending / forflytning eller at temperatur avviker stort fra et ønsket forløp; - for eksempel ved å legge seg på et svært høyt nivå eller dersom temperaturen ikke stiger i det hele tatt.

Det legges opp til følgende dokumentasjon:

- Temperatur: kontinuerlig / automatisk registrering
 Manuell registrering i forbindelse med prøvetaking for analyser
 (se figur 3 vedrørende aktuelle ”soner” for prøvetaking)
- Glødetap: I blandprøver etter 3, 6, 9, 12 og 15 vendinger (jfr. Figur 3)
- pH: I blandprøver etter 3, 6, 9, 12 og 15 vendinger (jfr. Figur 3)
- Stabilitet I 4 prøver hentet ved utlastning fra binge. 2 av prøvene skal beskrive oksygenopptaket i kompost som ikke er startkalket.



Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1			-			-			-			-			-
3			X			-			-			-			-
6			X			X			-			-			-
9			X			X			X			-			-
12			-			X			X			X			-
15			-			-			X			X			X
18			-			-			-			X			X
21			-			-			-			-			X

**Prøvetakingsjournal Kalkingsforsøk:
Dynamisk bingekompostering med tvungen lufting
RKR - Støleheia**

Dato:	Vending nr.
Kalking Ca(OH) ₂ :	Mengde:
Avfall: Matavfall	Type / kilde:
Blandforhold: avfall/struktur/resirk	/ / (vol/vol)

Prøver / analyser

Vending Nr	Temperatur ("soner")					pH ("soner")					Glødetap ("soner")					Stabilitet ("soner")				
	3	6	9	12	15	3	6	9	12	15	3	6	9	12	15	3	6	9	12	15
3	*	*	*	*	*	*					*				*	*				*
6	*	*	*	*	*	*	*				*	*			*	*				*
9	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*			*				
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*			*	
15	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*			*	*
18	*	*	*	*	*	*			*	*	*			*	*	*			*	*
21	*	*	*	*	*	*			*	*	*			*	*	*			*	*

Prøvene sendes til nedenfor stående adresse

Roald Sørheim
Jordforsk
Frederik A. Dahls vei 20
1432 Ås
Tlf. 64 94 81 86;
e-mail: roald.sorheim@jordforsk.no

Drift med redusert vendefrekvens

Erfaringen fra kompostering av matavfall I dynamisk binge på Støleheia er at temperaturen kun stiger til opp mot og over 60°C ved fravær av daglige vendinger av massen (inntreffer normalt i weekender).

Fra komposteringslitteraturen finner vi teorier om at masser som skal komposteres har behov for en innledende fase der mikrofloraen får lov til å etablere seg uforstyrret; - en slags kondisjoneringsfase. I denne fasen skal massen få ligge i ro.

Med utgangspunkt i weekenderfaringer søker vi å gjennomføre en mer kontrollert kompostering med noe lavere vendefrekvens i en startfase på 2 uker; henholdsvis 2 * pr. uke sammenliknet med 4-5 * pr. uke ved dagens drift.

I tillegg til å registrer temperaturforholdene i massen skal det tas ut prøver for å registrer pH forløp, glødetap og stabilitet.

Temperaturen i de to første segmentene (A og B) skal kunne stige fritt til 68°C, mens settpunktet i resten av segmentene holdes på dagens nivåer som vil si ca. 65°C

Tidsregulert lufting settes som følger:

- A: 60" hvert 30^{de} minutt
- B: 90" hvert 30^{de} minutt
- C: 120" hvert 20^{de} minutt
- D: 150" hvert 15^{de} minutt
- E: 180" hvert 15^{de} minutt

Driftstid og frekvenser beregnet i regnearket under baseres på en viftekapasitet på 1000 m³/time.

	verdi	enhet
Oksygenforbruk (biol)	0,75	kg / tonn TS / h
Kompostvolum	50	m ³
Volumvekt	0,6	tonn / m ³
Tørrstoff (snitt)	40%	TS
Vekt	12	tonn
Oksygenforbruk pr. Time	9	kg / h
Molekylvekt (O ₂)	32	g / mol
Oksygenbehov (mol)	281	mol / h
Volumfaktor	22	l / mol
Oksygenbehov (liter)	6300	l / h
Oksygenbehov (m ³)	6	m ³ / h
Luftbehov (m ³)	32	m ³ / h
Kjølefaktor	1	
Luftbehov total	31,5	m ³ / h
Pumpekapasitet (anslag)	1000	m ³ / h
Driftstid (beregnet)	2	minutter

	verdi	enhet
Oksygenforbruk (biol)	1	kg / tonn TS / h
Kompostvolum	50	m ³
Volumvekt	0,6	tonn / m ³
Tørrstoff (snitt)	45%	TS
Vekt	13,5	tonn
Oksygenforbruk pr. Time	14	kg / h
Molekylvekt (O ₂)	32	g / mol
Oksygenbehov (mol)	422	mol / h
Volumfaktor	22	l / mol
Oksygenbehov (liter)	9450	l / h
Oksygenbehov (m ³)	9	m ³ / h
Luftbehov (m ³)	47	m ³ / h
Kjølefaktor	4	
Luftbehov total	189	m ³ / h
Pumpekapasitet (anslag)	1000	m ³ / h
Driftstid (beregnet)	11	minutter

**Prøvetakingsjournal Lav Vendefrekvens:
Dynamisk bingekompostering med tvungen lufting
RKR – Støleheia**

Dato:	Vending nr.
Avfall: Matavfall	Type / kilde:
Blandforhold: avfall/struktur/resirk	/ / (vol/vol)

Prøver / analyser

Vending Nr	Temperatur ("soner")					pH ("soner")					Glødetap ("soner")					Stabilitet ("soner")				
	2	4	9	12	15	2	4	9	12	15	2	4	9	12	15	2	4	9	12	15
2	*	*	*	*	*	*					*				*	*				*
4	*	*	*	*	*	*	*				*	*			*	*				*
9	*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*			*				
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*			*	
15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
21	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Prøvene sendes til nedenfor stående adresse

Roald Sørheim
Jordforsk
Frederik A. Dahls vei 20
1432 Ås
Tlf. 64 94 81 86;
e-mail: roald.sorheim@jordforsk.no

Vedlegg 5

Erikstemmen komposteringsanlegg (IRS) Lukket anlegg: trommel (reaktorkompostering).

Nedenfor gis en kort beskrivelse av prosessen slik den drives ved Støleheia komposteringsanlegg (FASE 1 rapport)

Om avfallet

IRS anlegg mottar avfall fra følgende områder:

- * Flekkefjord = Flekkefjord, Kvinesdal, Lund, Sirdal
- * Farsund
- * Lyngdal

I Flekkefjord inkluderer avfallet **papir** og **bleier**. Papirfraksjonene er av ulike kvaliteter og inkluderer også glanset papir (type ukeblad).

Avfallet fra region "Flekkefjord" hentes hver uke.

Avfallet lagres i papirposer under benk (i sprinkelstativ). Posene lagres videre i 100 liters papirposer som er plassert i "frontpaneldunk". Flekkefjordavfallet transporteres direkte til IRS hvor det forprosesseres sammen med avfall fra Farsund og Lyngdal. I Farsund og Lyngdal inkluderer avfallet bleier, men ikke papir. Avfallet utelagres i 70 liters papirsekker. Hentefrekvensen er hver 14. dag.

Transport skjer når containerbil er fylt opp. Denne rutinen tilsier at avfallet kan mellomlagres før transport til Erikstemmen. Gjennomsnittlig tid for lagring og transport av Farsund / Lyngdal (FA-LY) avfall ble anslått til 2.5 uker, men "lagringstider" på opp mot 4 uker kan også forekomme.

Kvaliteten i avfallet fra FA-LY bærer preg av å være langtidslagret. Lang lagring sammen med innhold av bleier og fravær av papir blir anmerket som en årsak til en tung og våt konsistens og en vond; - typisk sur lukt.

Total mengde avfall: 4500 - 5000 tonn.

Industriavfall

Avfall fra Flekkefjord inneholder rekeskall fra Finny AS samt fiskeavskjær fra andre bedrifter. Mengden industriavfall (hovedsakelig rekeskall) ble anslått til ca. 20 % av total mengden¹³. Innslag av rekeskall og for den sakens skyld fiskeavskjær kan være interessante i den forstand at det kan være med å gi komposten spesielle egenskaper. Denne type avfall vil uansett være rike på nitrogen.

Det anmerkes at mye av avfallet losses fredager, noe som kan medføre lagring på anlegget over weekend. Rekeskall råtner svært lett og lagring over noen døgn vil normalt resultere i "mykning", vond lukt og tildels meget høye temperaturer. Egnerfaring tilsier at temperaturgangen i rekeskall også må ha andre årsaker enn de rent biologiske.

Det finnes lite dokumentasjon av avfallet inn til Erikstemmen, men en rapport fra Jordforsk (2001) gir følgende data for kvernet matavfall med og uten papir:

	Kvernet matavfall	Kvernet matavfall m/papir
Tørstoff:	40,3 %	55,7 %
pH	4,9	5,9
Karbon	39,8 g/100 g	19,9 g/100 g
Kjeldahl-N	1,91 g/100 g	0,93 g/100 g
Glødetap	86,8 g/100 g	90,4 g/100 g

Det er noe usikkerhet omkring opprinnelsen til prøvene, men resultatene viser at avfallet er svakt surt og at papiret tydeligvis forårsaker høyere pH enn det som måles i rene matavfallsprøver. Tørstoffet er meget høyt (55,7 %) i papiravfall. Karboninnholdet i dette avfallet er imidlertid meget lavt, noe som synes vanskelig å forklare ut fra det faktum at glødetapet jo er høyt.

Om struktur

Det tilføres ikke ekstra strukturmateriale.

¹³ Mengden forventes redusert p.g.a. intern håndtering i Finny AS

Om avfallshåndtering i anlegg

Erfaringene med ulike dårlige kvaliteter (les bløtere og surere) i FA-LY avfallet sammenliknet med Flekkefjordsavfallet har ført til at disse fraksjonene blandes før innmating i fastmontert kvern. Denne rutinen som sikrer at FA-LY avfallet tilføres papirholdig Flekkefjordsavfall gir naturlig nok også behov for intern lagring. I slike tilfeller tilføres et lag med flis. Kvernet avfall, med typisk 2 – 4 cm partikkelstørrelse, faller ned i mottaksbunker. Kvaliteten i avfallet som ble vist ved befaringen var porøs og fin. Rekeskall utgjør en stor andel av blandingen mandag og fredag. Kvernet avfall hentes med hjullaster og losses i mottaksskrue. Det ble informert om at denne manuelle transporten til egen mottaksskrue skal erstattes av et langt transportbånd (> 100 meter) som vil losse kvernet avfall direkte til formodningssilo¹⁴.

Om prosess

Kvernet avfall losses i mottakstrau og skrues derfra inn i en skruheis som lossar avfallet inn i formodningssilo (200 m³). Formodningssiloen tilføres luft gjennom dyser fra bunnen (oppgitt Q: 700 – 800 m³/time).

Oppholdstid i formodningssilo er ukjent, men dersom 4500 tonn med avfall av egenvekt 0,5 tonn/m³ losses jevnt over året (220 virkedager) tilsier det ca. 40 m³/døgn. Oppholdstider opp mot og over 1 uke kan ut fra ovenfor stående være realistisk. I hvilken grad det oppstår driftsforstyrrelser eller opphopninger av avfall som tilsier at formodningssiloen kortsluttes er ukjent.

Avfallet skrues ut fra bunnen av formodningstanken og transporteres / heises i lukkede transportskruer til innmatingstrau som leverer til 2 stk. reaktorer levert av Bømlø aluminium.

Reaktorene er hver 130 m³. I tillegg har IRS en mindre reaktor av finsk opprinnelse ("FINNEN"). Denne er noe mindre enn Bømløreaktorene (100 m³) og prosesserer for en stor del avløpsslam.

Reaktoren har langsgående vinger. I to av disse (180 ° på hverandre) tilføres luft (ukjent effekt / mengde).

Oppholdstiden i reaktoren er ukjent, men dersom 4000 – 5000 m³ med avfall prosesseres i en reaktor og fyllgraden ligger på 45 – 50 % bør oppholdstiden ligge i området 6 døgn.

Total oppholdstid inklusive formodningssilo kan dermed ligge i området 2 uker.

Kompost transporteres / heises i lukkede skruer til ettermodningssilo (topplossing) hvorfra den skrues ut i bunn.

Utmating av frisk kompost er for øvrig den eneste styrte funksjonen i IRS-anlegget. Mottrykket på hydraulisk skruesystem regulerer utmating, noe som sikrer jevn utmating fra anlegget (30 – 40 m³/ virkedøgn).

Komposten siktes på 15 mm rundsåld og ettermodnes i hauger i 3 – 4 meter høyde.

"Papirkompost"

Flere forhold ved prosessen og kompostproduktet på Erikstemmen er verdt å kommentere på grunn av bruken av papiravfall som eneste strukturtilslag. Halvorsen / Bjelland anslår at avisepapir utgjør 60–70 % av den totale papirmengden.

Papiret kvernes effektivt inn i resten av matavfallet. Kverningen gir blandingsmassen en porøs (fiberaktig) struktur med relativt høyt TS. pH i blandingen ligger i overkant av 6 som er ca. 1 pH-enhet høyere enn det som ble målt i avfallblandinger fra de øvrige anleggene.

Konsistensen i komposten som såldes etter lossing fra ettermodningssilo er tilsvarende porøs med et "tobakksaktig preg". Interne prosjekter har vist at pH i råkomposten synker gjennom lukket prosess til ned mot og under 5.

Det ser dermed ut som om det etableres en gjæring gjennom det som skal være komposteringsfasen.

Etter at komposten er såldet drives per dato en aktiv etterkompostering i store ranker (400–500 m³) ved total omvending med hjullaster en gang i uken. I løpet av ca. 2 måneder stiger pH raskt til opp mot og over 8.

¹⁴ denne revisjonen er gjennomført pr. dato

Papiret synes å gi forhold som på en eller annen måte bevirker at pH-verdien legger seg høyere enn i ”rent” avfall. Mengdene av organiske syrer er fortsatt høye, selv om sammensetningen også avviker fra de andre anleggene, spesielt ved at melkesyren ikke lenger dominerer bildet på samme måte.

Floraen i avfallet er ikke vist å avvike mye fra den som ble påvist i de andre avfallskvalitetene. Metodene som ble brukt til beskrivelse av florasammensetning er imidlertid relativt grove, og gir små muligheter til å skille sikkert mellom kvalitetene. Spørsmålet vil derfor være om papirinnblandingen gir en annen flora som muligens også kan gi et mer optimalt utgangspunkt for direkte kompostering i aktiv fase (uten behov for innblanding av inokulum).

Lufting av kompost i lukket fase.

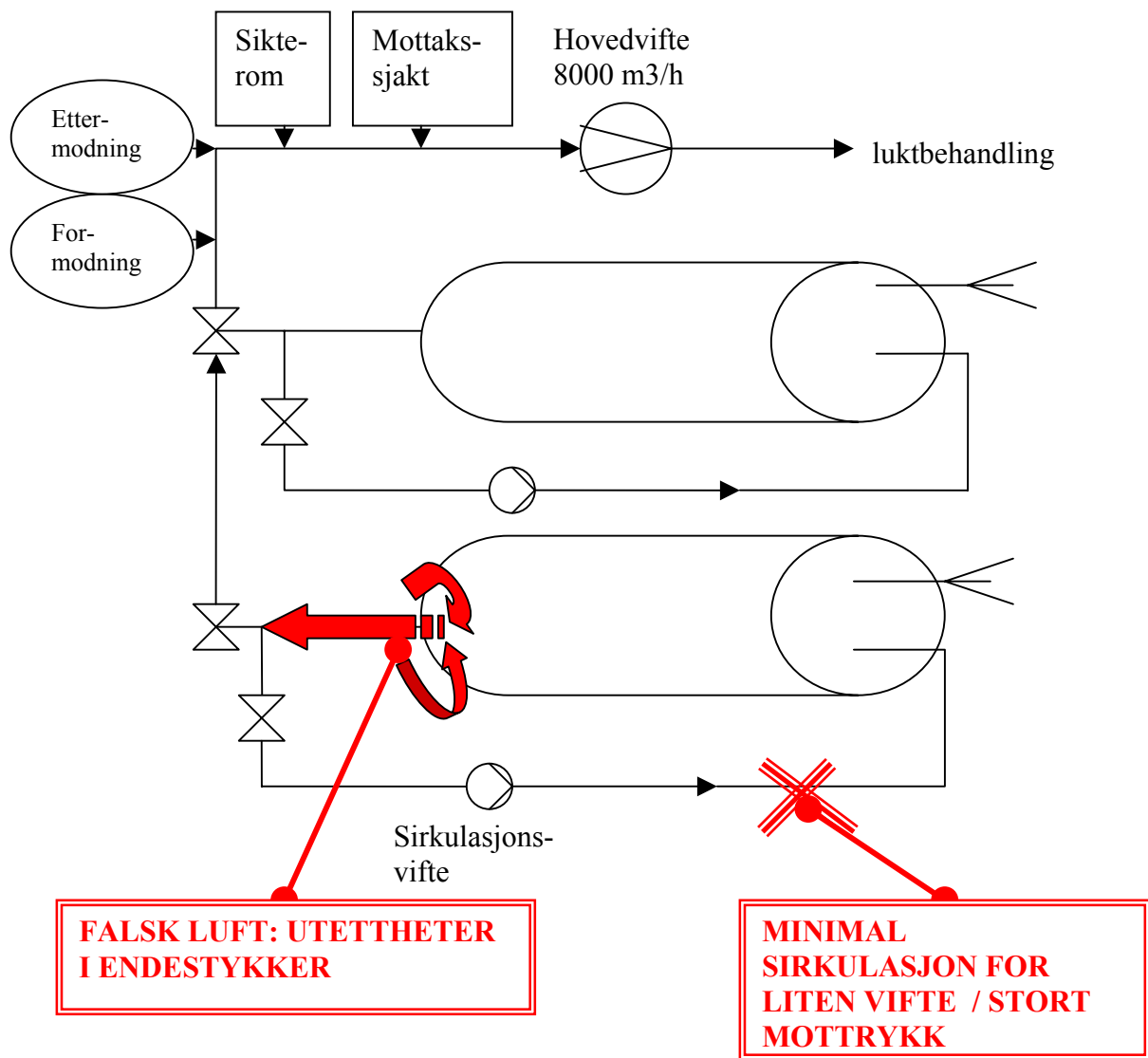
Figur 2 under gir en skjematisk beskrivelse av hvordan komposten får tilført luft i anlegget på Erikstemmen. Hele anlegget ventileres fra en stor hovedvifte. Reaktorene er i tillegg utstyrt med sirkulasjonsvifter og punktilførsler (v.h.a. kompressor) i spesielle vingekonstruksjoner internt.

I henhold til teorien skal kompressor og sirkulasjonsviftene sørge for hovedleveransen av luft til komposteringsprosessen. Denne luften vil kunne være anriket med kulldioksid fra prosessluften (naturlig antagelse). Hovedviften kan reguleres og supplere med frisk luft, slik at forholdene i reaktoren hele tiden er optimale for komposteringen.

Som figuren antyder, virker ikke ventilasjonsanlegget etter hensikten.

Det er tre forhold som sammen i verste fall kan forårsake anaerobe forhold i bingen.

1. Hovedviften trekker friskluft fra utettheter i akslingen. En mulighet kan også være at hovedviften hovedsakelig trekker luft fra øvrige stasjoner som er tilsluttet hovedsystemet.
2. Sirkulasjonsviftene er kraftig underdimensjonerte. Det opplyses fra Bjelland at disse neppe er i stand til å arbeide mot det trykket som ligger i bend i rørsystemet. Sirkulasjonsviftene skal for øvrig skiftes ut.
3. Det er usikkert i hvilken grad luftleveransen fra kompressoranlegg er effektiv med hensyn på å få til en jevn distribusjon i hele kompostmassen.



Figur 2: Ventilasjonsanlegg på lukket komposteringsanlegg ved Erikstemmen i Flekkefjord

STORSKALA FORSØK VED IRS's KOMPOSTERINGSANLEGG PÅ ERIKSTEMMEN

Det er enighet om at ventilasjonsanlegg og luftanlegg i formodningssilo og ettermodningssilo skal revideres og testes før det startes opp forsøk.

Anlegget på Erikstemmen bruker ikke inokulum (podemateriale).

En relativt rask etablering av termofil kompostering ved introduksjon av frekvent vending i etterkomposteringsfasen indikerer at det er et potensial i den floraen som er etablert i massen gjennom aktiv fase.

Spørsmålet er om en mer effektiv lufting i aktiv fase er tilstrekkelig for å få til kompostering som for eksempel kan dokumenteres gjennom stigende pH verdier.

Inokuleringsforsøk

Etter minimum 2 ukers drift med nytt lufteregime I anlegget på Erikstemmen gjennomføres en periode på ca. 3 uker med daglig tilførsel avodemateriale.

I en start periode på 8 driftsdøgn (eksklusive weekend) tilsettesodemateriale i mottaket før kvern. I en etterfølgende periode tilsettesodematerialet i kanal etter formodningssilo. Podematerialet skal som et minimum utgjøre 10 % av avfallsmengden (vol/vol) og tilsettes 2 – 3 * over driftsdøgnet (for eksempel morgen - lunch- ettermiddag). Dette er viktig for å få til en relativt god innblanding i hele massen.

Podematerialet hentes fra kompost i storranke med $\text{pH} > 7$ og en temperatur før vending på minimum 60°C .

Det gjøres faste registreringer av temperaturer i formodningssilo og i reaktorer. Videre tas det ut døgnprøver 2 – 3 ganger i uken gjennom forsøksperioden. Prøvetakingen skjer i følgende punkter:

- Etter kvern
- Etter formodningssilo
- Ut av reaktor (inn i ettermodningssilo)
- Såddet kompost

Prøvene (2 stk. av 2 liter) kan hentes som stikkprøver. En ideell prøvetaking tilsier at det hentes ut prøver av 3 – 4 liter morgen – lunch – ettermiddag som så sammenblandes til en blandprøve i egnet bølge. Ut fra denne tas det ut 2 stk prøver av 2 liter for analyser / nedfrysing.

Prøvetaking og analyser fremgår av tabellen vedlagt.

Suksesskriterier skal fremkomme som stigende pH ut av reaktor og tilsvarende synkende glødetap. Stabiliteten i råkomposten bør ligge lavere enn $1 \text{ mg O}_2 / \text{g TS} / \text{h}$.

Prøvetakings-/podejournal journal: Trommelkompostering Erikstemmen – IRS

Start dato:	Forsøk Nr.:		
Slutt dato:			
Lufttilførsel:	Poding:	Ja / Nei	Podepunkt:
Avfall: Matavfall	Type / kilde:		
Blandforhold: Avfall/Podemateriale	/ (vol/vol)		

Prøver / analyser

Prøvetaking	Etter kvern			Etter Formodning			Etter reaktor Før Ettermodning			Etter sluttsålding		
Dato	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E
	P/P T											

M: morgen / L: Lunch / E: Ettermiddag - Fylles med J (ja) eller N (nei)

☐ Fylles ut med P(= poding)/PT (= prøvetaking)

Prøvene sendes til nedenfor stående adresse

Roald Sørheim
 Jordforsk
 Frederik A. Dahls vei 20
 1432 Ås
 Tlf. 64 94 81 86;
 e-mail: roald.sorheim@jordforsk.no

Vedlegg 6

Prøveopparbeidelse

Ekstraksjon av fast materiale.

1. 5.0 til 7.0 g materiale veis inn i et 100 ml Scott-Duranflaske med tefloninnlegg i korken.
2. Med fullpipette tilsettes prøven 40.0 ml 0.1M NaOH
3. Prøven settes i varmeskap på 80 °C i 2 timer
4. Noe prøve overføres til et sentrifugerør
5. Prøven sentrifugeres ved 10 000 rpm i 30 minutter.
6. Klar supernatant overføres til et mindre rør og oppbevares kaldt ved 1-5°C.

Oppkonsentrering av syrer.

Det opparbeides blankprøve (renset vann) og kontrollprøve

7. 1.0 ml av alle standardpunkt tilsettes tilsvarende 100ul av standardpunktene for laktat og pyruvat. Ta også med 1 ml renset vann som blank og 1 ml av supernatanten fra ekstraksjonen av prøvene.
8. 100 ul krotonsyre tilsettes som internstandard, vortex 10 sek.
9. Ta på vernebriller og hansker, arbeid i avtrekk.
10. 1 ml konsentrert saltsyre tilsettes, vortex i 10 sek.
11. 2 ml dietyleter tilsettes. Rist prøven forsiktig og slipp ut overtrykk, vortex i 30 sek.
12. Eterfasen overføres med pasteurpipette til et kimble rør som er tilsatt en spatelspiss fannfri natriumsulfat.
13. Punkt 11 og 12 gjentas.
14. 0.5 ml av eterfasen overføres til et GC-glass og 50 ul av MTBSTFA tilsettes.
15. Glassene påsettes krympekapsel og prøven derivatiseres i 20 minutter ved 80°C.
16. 1 ul injiseres på GC-MS

Stabiliteten av derivatet er 24 timer ved romtemperatur, eller 72 timer ved 4°C.