

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 38 1990

Kompostering af kildesorteret
madaffald fra etageejendomme
i København

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

628.473 : 628.4.032

B48-1

ex.2

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 38/1990

Kompostering af kildesorteret madaffald
fra etageejendomme i København

Birger Lund A/S

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

INDHOLDSFORTEGNELSE

side

	Forord.....	1
<u>1.</u>	<u>Sammendrag.....</u>	<u>4</u>
<u>2.</u>	<u>Baggrund og formål.....</u>	<u>7</u>
<u>3.</u>	<u>Indsamling.....</u>	<u>10</u>
3.1	Indsamlingsmetode, kort systembeskrivelse...	10
3.2	Affaldsregistrering.....	11
	3.2.1 Affaldsmængder.....	11
<u>4.</u>	<u>Kompostering.....</u>	<u>13</u>
4.1	Beskrivelse af forsøgsanlæggets proces- opdeling og maskinelt udstyr.....	14
	4.1.1 Forkompostering.....	15
	4.1.2 Eftermodning.....	17
	4.1.3 Sigtning af kompost.....	21
	4.1.4 Prøveudtagnings- og analyseudstyr.....	21
4.2	Forsøgsplan.....	22
	4.2.1 Milekompostering.....	23
	4.2.2 Regnormekompostering.....	24
4.3	Vurdering af forsøgsanlægget.....	26
	4.3.1 Anlæg og maskiner.....	26
	4.3.2 Arbejdsmiljø.....	29
4.4	Energiberegninger for KV-anlægget.....	34
4.5	Resultater og diskussion, affald, råkompost, milekompost og perkolat.....	39
	4.5.1 Kemiske analyser af affald, råkompost og milekompost.....	39
	4.5.2 Temperatur.....	53
	4.5.3 Fysiske og mekaniske egenskaber ved affald og kompost.....	59
	4.5.4 Massebalance under komposte- ringsforløbet.....	61
	4.5.5 Kompostens modenhed.....	67
	4.5.6 Tungmetalindhold i affald og kompost.....	72
4.6	Regnormekompostering.....	81
	4.6.1 Kemiske analyser.....	81
	4.6.2 Fysiske og mekaniske egenskaber.....	83
	4.6.3 Modenhed.....	83
	4.6.4 Tungmetalindhold.....	84
	4.6.5 Antal orme og mængde færdig kompost...	84

<u>5.</u>	<u>Forslag til fremtidigt behandlingssystem for kildesorteret husholdningsaffald i Københavns og Frederiksberg kommuner.....</u>	87
5.1	Forventet data omkring affaldsmængder, indsamling og kompost.....	87
	5.1.1 Etageejendomme.....	87
	5.1.2 Potentiale.....	87
	5.1.3 Forventet indsamlet mængde.....	88
	5.1.4 Kompostmængde.....	88
5.2	Opskalering af komposteringsanlæg.....	88
5.3	Afsætning af kompost.....	89
5.4	Deklaration af kompost.....	90
	5.4.1 Myndighedernes krav.....	90
	5.4.2 Kompostdeklaration.....	91
	5.4.3 Sammenligning med andre jordforbed- ringsmidler.....	92
<u>6.</u>	<u>Dyrkningsforsøg.....</u>	95
6.1	Første dyrkningsforsøg.....	95
	6.1.1 Forsøgsplan.....	96
	6.1.2 Resultater.....	97
	6.1.3 Konklusion.....	98
6.2	Andet dyrkningsforsøg.....	99
	6.2.1 Forsøgsplan.....	99
	6.2.2 Resultater.....	101
	6.2.3 Konklusion.....	105
6.3	Tredje dyrkningsforsøg.....	105
	6.3.1 Forsøgsplan.....	105
	6.3.2 Resultater.....	107
	6.3.3 Konklusion.....	108
<u>7.</u>	<u>Konklusion.....</u>	109
<u>8.</u>	<u>Litteraturliste.....</u>	115

Bilagsliste

1. Indsamlede affaldsmængder, apr. 88 -
apr. 89.
2. Statistisk analyse af prøve- og analyse-
sikkerheden af tungmetalindholdet i affald
og kompost.
3. Oversigt over undersøgelser, prøveudtag-
ning og analyser.
4. Liste over driftsstop med KV-anlæg,
15.2.88 - 24.5.89.

5. Temperaturforløb i milerne.
6. Ionbytningskapacitet (CEC).
7. Vandretention.
8. Dyrkningsforsøg I.
9. Dyrkningsforsøg II.
10. Dyrkningsforsøg III.
11. Regnormekompost, ormeoptælling.
12. Energiberegninger for KV-anlægget.

Forord.

Miljøkontrollen i Københavns kommune har i samarbejde med Frederiksberg kommune og Renholdningsselskabet af 1898 (R98) gennemført et udviklingsprojekt vedrørende indsamling af madaffald fra husholdninger i etageejendomme med henblik på at producere en kvalitetskompost.

Rådet for genanvendelse og renere teknologi har støttet projektet, som er opdelt i en indsamlingsdel og en komposteringsdel.

For indsamlingsdelen ønskedes en belysning af indsamlingsmængde og sorteringsgrad af madaffaldet. Ordningen byggede på frivillig deltagelse af beboere i etageejendommene.

Den overordnede målsætning for projektets komposteringsdel var at foretage en proces- og produkt optimal tilpasning af komposteringsmateriel og metode med henblik på at producere en kvalitetskompost.

Formålet med projektet var at give det nødvendige data- og erfaringsgrundlag til brug for dimensionering og opbygning af større anlæg.

Der blev nedsat en følgegruppe til at sikre projektets faglige niveau samt formidling af erfaringer. Følgegruppen bestod af:

Lise Fogh Pedersen,
Miljøstyrelsen,
Strandgade 29,
1401 København K.

K. Lerch Thomsen,
Veterinærdirektoratet,
1. kontor,
Frederiksgade 21,
1265 København K.

Jørgen F. Hansen,
Statens Planteavlsvforsøg,
Askov forsøgsstation,
Vejenvej 55,
6600 Vejen.

Magnus Brinck,
Gødningstilsynet,
Lottenborgvej 24,
2800 Lyngby.

Leif Berthelsen,
Kgl. Veterinær og Landbohøjskole,
Jordbrugsteknisk Institut,
Agrovej 10,
2630 Tåstrup.

Jon Pape,
Parkteknisk Institut,
Amalievej 20,
1875 Frederiksberg C.

Torben Huus-Bruun,
Landbrugets Rådgivningscenter,
Landskontoret for planteavl,
Udkørsvej 15,
Skejby,
8200 Århus N.

Finn Knoblauch,
Havebrugscenteret,
Institut for landskabsplanter,
Grandlidevej 22,
Hornum,
9600 Års.

Jørgen Hildebrandt,
AFAV I/S,
Strandvangen 15,
3600 Frederikssund.

Jan Nielsen,
Frederiksberg Rådhus,
Smallegade 1,
2000 Frederiksberg.

Per Nilsson,
Gert Hansen,
Renholdningsselskabet af 1898,
Kraftværksvej 25,
2300 København S.

Birger Lund,
Birger Lund A/S,
Damhus Boulevard 5,
2610 Rødovre.

Nils Thorsen,
Ida Helt Poulsen,
Miljøkontrollen,
Stormgade 20,
1555 København V.

Som observatører deltog:

Ole Busck,
Thomas Fløe,
SID,
Nyrupsgade 30,
1602 København V.

Arne Nielsen,
I/S Amagerforbrænding,
Kraftværksvej 31,
2300 København S.

R98 var ansvarlig for indsamling og registrering af affald samt afrapportering af erfaringer fra indsamlingen.

Det rådgivende ingeniørfirma Birger Lund A/S stod for projektledelse, koordinering og samlet afrapportering af komposteringsdelen, som omfattede etablering af anlæg, drift og gennemførelse af forsøg, samt evaluering af komposten. Bilag til nærværende rapport (i følge bilagslisten, se indholdsfortegnelsen) kan rekvireres hos Birger Lund A/S, tlf. 31 70 28 29.

Havebrugscenteret ved Institut for Landskabsplanter i Hornum ved Års (I.f.L.) varetog de fysisk/kemiske analyser af affald og kompost, samt analyser og fortolkning af planteforsøgene.

Water Research Laboratory (WRL) ApS ved S. E. Jørgensen, Danmarks Farmaceutiske Højskole i København forestod tungmetalanalyser af affald og kompost.

SAMMENDRAG.

Der kan opridses følgende erfaringer fra indsamlingen og komposteringen af kildesorteret madaffald fra etageejendomme:

- Ca. 92% af forsøgsområdetets 1459 husstande deltog i det frivillige indsamlingsforsøg.
- Ved forsøgets start var den beregnede potentielle madaffaldsmængde 50 kg. pr person pr år. I forsøgets 13 måneder blev der indsamlet 60 tons kildesorteret madaffald svarende til 48% af den beregnede potentielle madaffaldsmængde.
- Den største indsamling fandt sted i vintermånederne oktober og november, og den laveste i sommermånederne juni-august. Denne nedgang om sommeren var ventet, idet en del af beboerne var bortrejst i sommerperioden.
- Det indsamlede madaffald havde en meget høj renhedsgrad, og en subjektiv vurdering af affaldet tyder på, at det fejlsorterede affald var under 2 vægt-procent af den indsamlede mængde.
- Den fine sortering kom også til udtryk ved det lave tungmetalindhold i affaldet, som havde følgende gennemsnitsværdier i tørstof (ppm), standardafvigelsen er angivet i % af gennemsnit:

Pb	21; 104%	Ni	6
Cd	0,1; 43%	Cu	28
Hg	0,1; 31%	Cr	14
As	0,5		

- Asken udgjorde i gennemsnit 10% af tørstof.
- Affaldets indhold af næringsstoffer var i gennemsnit (% af tørstof):

N	2,2	Mg	0,1
P	0,5	Ca	1,5
K	0,8	Na	0,3

- Nedbrydningsforløbet var opdelt i en forkompostering i et komposteringsvarmeanlæg i 1 eller 2 uger, og en efterkompostering i miler eller regnormebænke i henholdsvis 6 og 10 uger. Komposten defineres således som værende færdigmodnet efter 1-2 uger i komposteringsvarmeanlægget og 6-10 uger i miler eller regnormebænke.

- Komposteringsvarmeanlægget (KV-anlægget), der forkomposterede affaldet i 1 eller 2 uger, havde uforudset mange driftsstop. Dette skyldes dels, at anlægget ikke var bygget til kompostering af husholdningsaffald og dels, at miljøet i procesrummet var så aggressivt, at komponenter og maskindele blev kraftigt tæret.
- Der opstod arbejdsmiljøproblemer med svampesporer, endotoksiner og støv i forbindelse med indmadning af affald og ved milepladsen. Disse problemer blev særligt forstærket af, at komposteringspladsen var placeret i et telt og af de mange drifts stop med efterfølgende manuel tømning af KV-anlægget. Til bedring af arbejdsmiljøet blev opsat inddækning af og punktudsugning over indmadningen og milerne. Endvidere blev der indkøbt friskluftsforsynet åndedrætsværn til medarbejderen i teltet.
- Under forkomposteringen blev 40-50% af tørstoffet omdannet til vand og kuldioxid.
- Under efterkomposteringen i miler, blev omkring 20-30% af det oprindelige tørstof nedbrudt til vand og kuldioxid.
- Den samlede omsætning under komposteringen var ca. 75% af tørstoffet.
- Den færdige kompost udgjorde efter kompostering ca. 20 % og sigteresten (20 mm sold) 3-6% af affaldets tørstof.
- På basis af friskvægten udgjorde den færdige kompost ca. 20% af affaldsmængden, og sigteresten (20 mm sold) kun 2-3%.
- Temperaturen under forkomposteringen lå mellem 40-50°C, hvilket var 10°C under det ønskede niveau for at opnå en effektiv hygiejnisering.

Miljøstyrelsens krav til kontrolleret kompostering er, at alt materiale underkastes en temperatur på minimum 55°C i minimum 2 uger.

Årsagen til den lave temperatur i komposteringsanlægget vurderes at være et stort varmetab i anlægget. Varmetabet er en sum af energitab ved opvarmning af indtaget luft, ved transmission og ved udmadet råkompost.

- Temperaturen under efterkomposteringen var i milernes midte og top 50-60°C i 2-3 uger med et maximum på 60-70°C.
- I milernes bund var temperaturen ikke over 50°C.
- Komposten havde følgende lave indhold af tungmetaller (ppm i tørstof), standardafvigelsen er angivet i % af gennemsnittet:

Pb	23; 37%	Cr	43
Cd	0,3; 18%	Ni	10
Hg	0,2; 32%	Cu	40
As	1		

Som det ses, sker der en koncentrering af tungmetal igennem komposteringsprocessen som følge af omsætningen af organisk materiale og fordampningen af vand og kuldioxid.

Miljøstyrelsens grænseværdier for tungmetal-indholdet i kompost til jordbrugsformål er indtil 30.06.1995 (ppm i tørstof):

Pb	120	Ni	45
Cd	1,2	As	25
Hg	1,2		

Pb-værdierne er dog 80 ppm for privat havebrug. As-værdierne gælder kun privat havebrug.

- Næringsindholdet i den færdige kompost (i % af tørstof) var ca. 3 % N, ca. 1 % P og ca. 2 % K.
- Dyrkningsforsøgene med Chrysanthemum viste, at en blanding af 20% milekompost fra sorteret husholdningsaffald og 80% sphagnum havde en særdeles gunstig virkning på substrat, pH-justering, ledningstal, rodning, plantevækst, total produktion, blomstring m.m. Større kompostmængder (indtil 100%) havde mange negative påvirkninger af vækst og kvalitet ved standarddyrkning af Chrysanthemum på et højteknologisk niveau.
- Den kompost, der blev eftermodnet i regnormebænke, viste i dyrkningsforsøgene svagere pH-regulerende virkning og et lavere næringsindhold end milekomposten, men den lå stadig på niveau med gartnerens standardblanding af ler, kalk og grundgødning.
- 26% af kompostens tørstof udgjordes af aske. Det vil sige, at 74% af kompostens tørstof var organisk stof. Dette skal ses i sammenhæng med, at affaldets indhold af organisk stof i tørstoffet var 90%. Der skete altså igennem komposteringsprocessen en reduktion af det procentvise indhold af organisk stof på ca. 15%, og en reduktion af mængden af organisk stof på ca. 75%.

Affaldsplaner	I målsætningen for affaldsplanlægning i København indgår etablering af genanvendelsesordninger for blandt andet madaffald og grøntorvsaffald. Frasortering af dette organiske affald vil forbedre forbrændingen og øge energiproduktionen i affaldsforbrændingsanlæggene under forudsætning af at det organiske affald erstattes af affald med en højere brandværdi samtidig med, at emissionen af miljøskadelige stoffer fra forbrændingsanlæggene reduceres.
Etageejendomme	Særegent ved dette forsøg var, at indsamlingen gennemførtes i etageejendomme, og at det kun omfattede den del af husholdningsaffaldet, som med stor sikkerhed ville være fri for skadelige stoffer.
Affaldstype	Komposteringen omfattede alene madaffald, afskårne blomster og blomsteraffald. Denne fraktion skønnedes i København at udgøre ca. 20% af det egentlige husholdningsaffald.
Indsamlingsområde	Indsamlingsområdet, med ca. 1500 husstande udgjorde en del af et område, hvori der allerede i 1984/85 udførtes forsøg med indsamling af aviser og ugeblade. Beboerne var således gennem længere tid blevet vænnet til at frasortere aviser og ugeblade og anbringe dem i beholderne opstillet i gårdene. Endvidere havde der i 6 år været opstillet containere til glasindsamling i området, og den første genbrugs- og containerplads i Københavns kommune var planlagt indrettet på et areal ved Kløvermarksvejs udmunding i Vermlandsgade, altså i umiddelbar nærhed af forsøgsområdet. Med etablering af en separat indsamling af madaffald ville der for de 1500 husstandes vedkommende således være skabt et veludbygget system af genanvendelsestilbud, som gav mulighed for en samlet vurdering af et udbygget genanvendelsessystem for etageejendomme i en storby. Det skal nævnes, at forsøgsområdet var udvalgt, således at der var mulighed for sammenligning af indsamlingen i ejendomme med og uden affaldsskakte.

Projektet var opdelt i en indsamlingsdel og en komposteringsdel.

Indsamling

Hovedformålet med projektets indsamlingsdel var at afprøve egnede metoder til separat indsamling af madaffald i lejlighederne samt at måle indsamlingspotentialet og konstatere hvilken indsamlingseffektivitet, der kunne opnås ved en målrettet informationsindsats. Derimod ville et projekt i denne meget begrænsede størrelsesorden næppe være et tilstrækkeligt grundlag til at nå frem til en optimering af selve afhentnings- og transportopgaven. Indsamlingsdelen er afrapporteret og beskrevet i detaljer i et miljøprojekt udarbejdet af R98.

Kompostering

Hovedformålet med komposteringsdelen var at producere en kompost af høj kvalitet, d.v.s. med så lavt et indhold af tungmetaller og eventuelle andre toksiske forbindelser, at den ville kunne anvendes som dyrkningsmedium for konsumafgrøder.

Kompostdelen omfattede en afprøvning af udstyr til forkompostering efterfulgt af mile- og regnormekompostering. Formålet var at undersøge sammenhængen mellem behandling under processen og kvaliteten af den færdige kompost. Denne arbejdsrapport omhandler komposteringsdelen af projektet.

Formål

Formålet med komposteringsdelen af projektet kan sammenfattes i følgende punkter:

1. At genanvende kildesorteret madaffald fra husholdninger i form af kompost.
2. At undersøge om kompostering af kildesorteret organisk affald miljømæssigt og økonomisk er en brugbar affaldsbehandlingsmetode i (stor)byer, hvor boligerne fortrinsvis består af etagebyggeri.
3. At afprøve og tilpasse komposteringsmetoder (forkompostering i et komposteringsvarmeanlæg, milekompostering, regnormekompostering), teknisk udstyr (komposteringsvarmeanlægget, kompostvendemaskinen, diverse transportører m.m.), processtyring (halmiblanding, opholdstid i komposteringsvarmeanlæg, luftindblæsning m.m.) og analyseprogrammer i relation til substratinput og kompostkvalitet. Afprøvningsresultater kan danne basis for en model til fremtidige

miljømæssigt acceptable komposteringsanlæg til behandling af "ubelastet" kildesorteret organisk affald i byer.

4. Undersøge mulighederne for at producere en kompost af så god kvalitet, at den på længere sigt kan gøres til genstand for et egentligt salg til dyrkningsformål.

I forhold til ansøgningen er det opgivet, at medtage vegetabilsk grønttorvsaffald.

Ligeledes er det opgivet at lave en økonomisk vurdering af denne behandlingsform, idet indsamlings-, transport- og behandlingsomkostningerne pr. ton må forventes at være uden sammenhæng med de omkostninger, der vil være forbundet med et eventuelt fuldt udbygget og gennemrationaliseret system.

3.

INDSAMLING.

3.1.

Indsamlingsmetode, kort systembeskrivelse.

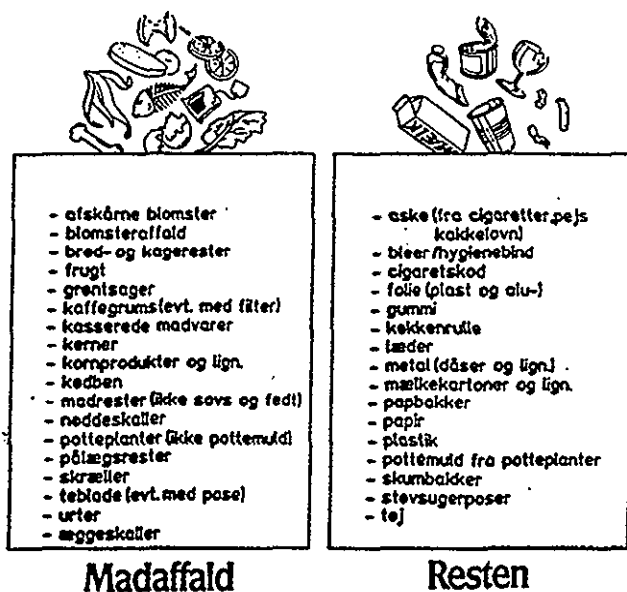
Som noget nyt i Danmark omfatter dette projekt kildesortering af husholdningsaffald udelukkende i etageboliger.

Derfor er problemstillingen ny med hensyn til indsamlingsmateriel, udstyr og informationsmateriale. R98 har været ansvarlig for udførelsen og afrapporteringen af denne del af projektet i et såkaldt miljøprojekt, hvortil der henvises.

Papirposer

I forsøget blev det rene madaffald (se definition i figur 3.1) indsamlet i en papirpose, der var anbragt i et separat stativ i køkkenet. Herfra bar beboerne i området det kildesorterede affald til spande, der var opstillet i gårdene.

Madaffaldet blev kørt til komposteringspladsen, hvor det inden en uge blev behandlet i komposteringsvarmeanlægget.



Figur 3.1.

Vejledning til opdeling af affaldet i madaffald og i resten.

3.2. Affaldsregistrering.

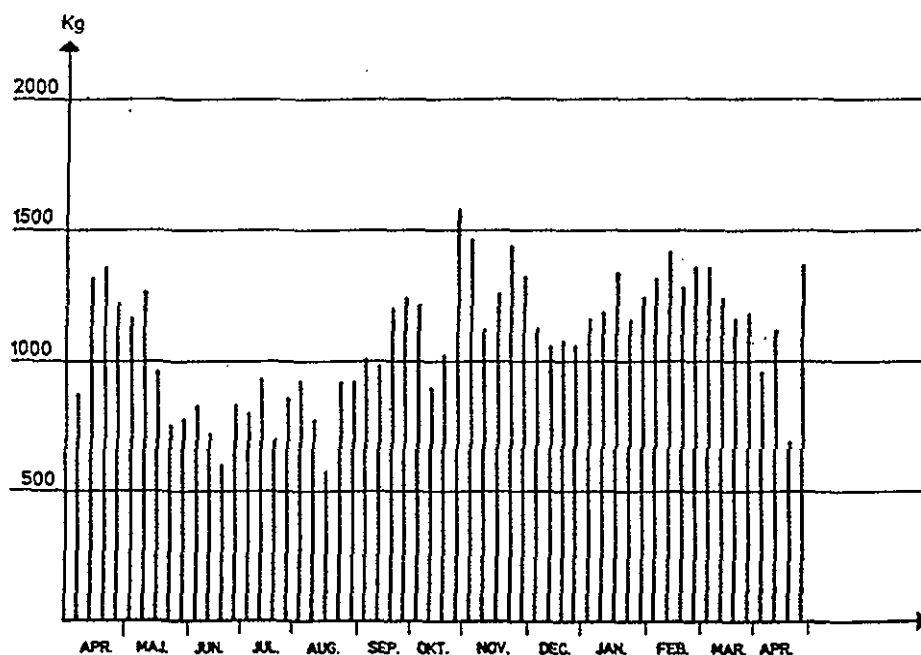
3.2.1 Affaldsmængder.

Potentielle madaffaldsmængder Før indsamlingen startede, var det beregnet, at 20% af husholdningsaffaldet var madaffald, hvilket svarer til 50 kg madaffald pr. person pr. år.

Forventedeaffaldsmængder I kommunen var der gennemsnitligt 1,64 personer/husstand. Potentialet for områdets 1459 husstande var således 120.000 kg/år.

Det var forventet, at deltagelsen ville være 60%, hvilket gav et potentiale på 72.000 kg/år eller 1400 kg/uge.

Aktuelle madaffaldsmængder Siden starten den 5. april 1988 blev de ugentligt indsamlede mængder fra husstandene i etageejendomme opgjort. Se figur 3.2.



Figur 3.2.
Affaldsmængder fra forsøgsområdet på Amagerbro, april 88 - april 89.

Ialt blev der indsamlet 60.000 kg over 55 uger, hvilket svarer til 48% af den potentielle madaffaldsmængde, og ca. 10% af det samlede husholdningsaffald.

Den gennemsnitlige ugentlige mængde var 1100 kg.

Sæsonvariation	Der ses en sæsonvariation, idet mængden var mindst i sommerperioden medio maj - medio august. Dette forhold skyldtes formentlig, at mange beboere var bortrejst i sommerperioden. Det var iøvrigt i overensstemmelse med R98's erfaringer fra andre indsamlingssystemer.
Renhedsgrad	Renhedsgraden af det indsamlede madaffald var meget høj, hvilket også afspejler sig i affaldets lave tungmetalindhold. Fejlsorteringen var under 2% (friskvægt). Den har hovedsageligt bestået af plastikposer, foliebakker, mælkekartoner og aviser.
Fluelarver	I sommerperioden blev der konstateret fluelarver, som udklækkedes i affaldet og levede i kondenszonen på indersiden af beholderne. Dette kombineret med lugtgener nødvendiggjorde, at beholderne blev vasket indvendig hver/hver anden uge, mod normalt ca. hver 3. uge.

Prototypeanlæg

Der var til projektet valgt et anlæg, hvor affaldet blev forkomposteret i et komposterings varmeanlæg (KV-anlæg), hvorefter råkomposten eftermodnes på en mileplads. I en mindre del af forsøget foregik eftermodningen i regnormebænke.

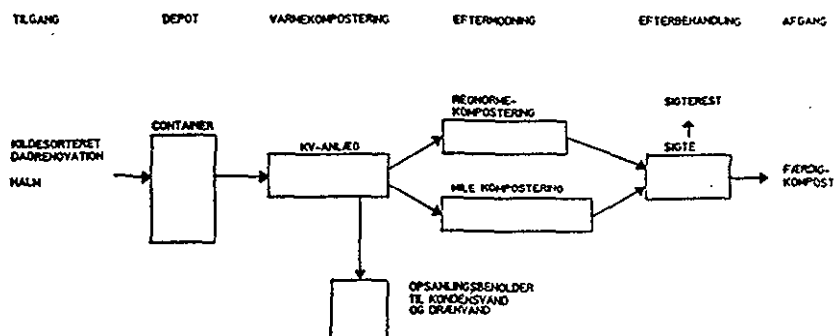
Det anvendte anlæg var en prototype og var derfor ikke færdigudviklet til formålet.

Forventningerne til KV-anlægget var, at affaldet under forkomposteringen blev blandet og delvist omdannet i løbet af 1-2 uger ved 50-60°C. Temperaturen skulle sikre en hygiejnisering af materialet. Disse forventninger var baseret på erfaringer med husdyrgødning i anlægget.

Det var første gang i Danmark, at kildesorteret husholdningsaffald blev behandlet efter denne metode med forkompostering i et lukket system. I USA findes der i forskellige udformninger 196 lukkede komposteringsanlæg og i Vesteuropa 132 (Thostrup 1988). I Europa anvendes anlæggene i stor udstrækning til kompostering af usorteret affald, mens de i USA mest anvendes til slamkompostering.

Opbygning

Forsøgsanlæggets opbygning og materialestrømmen igennem det er skematisk vist i figur 4.1.



Figur 4.1

Forsøgsanlæggets opbygning, skematisk oversigt.

Anlægsdesignet var ikke tænkt at skulle overføres til opskalerede forhold, men var netop et forsøgsanlæg, som skulle give de data, der kan danne grundlag for et fuldskalaanlæg.

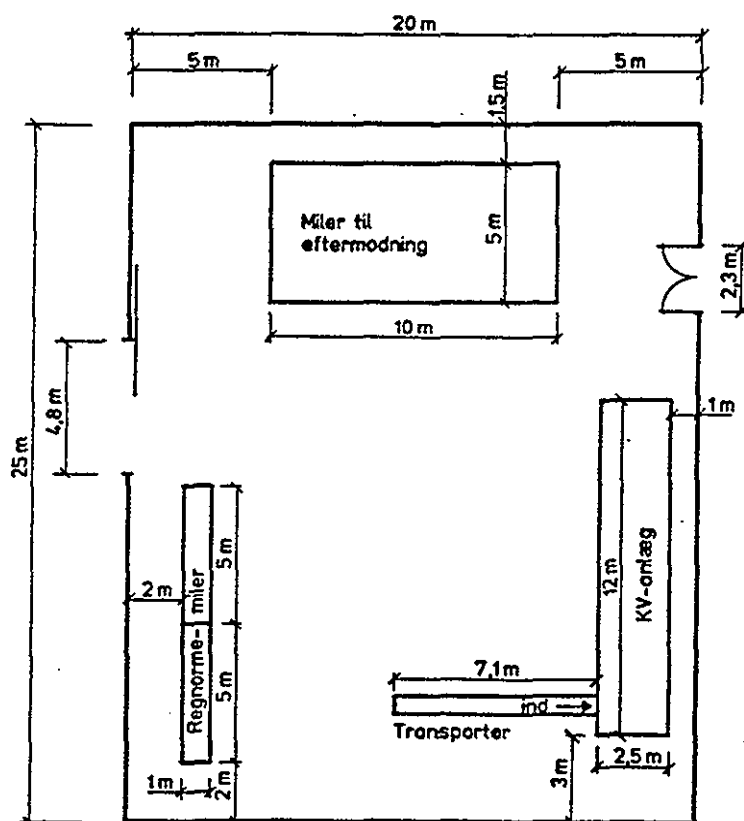
Forsøgsanlægget kan opfattes som et komposteringslaboratorium, som muliggør gennemførelsen af målinger på procesændringer og procesfaktorer som lufttilførsel, opholdstid, halmtil sætning o.s.v. under kontrollerede forhold.

4.1

Beskrivelse af forsøgsanlæggets procesopdeling og maskinelt udstyr.

Plantegning

Plantegning af forsøgsanlægget, der var placeret i et telt, er vist ved figur 4.2.



Figur 4.2.
Plantegning af forsøgsanlægget.

Efter modtagelsen af affaldet i 240 liters beholdere blev affaldet madet ind i KV-anlægget i løbet af den følgende uge. Samtidig med indmadningen blev der iblandet halm som strukturmateriale.

Transporten af materialet fra KV-anlægget til kompostmilerne og regnormebænke og derfra til sigtning skete med trillebør.

4.1.1

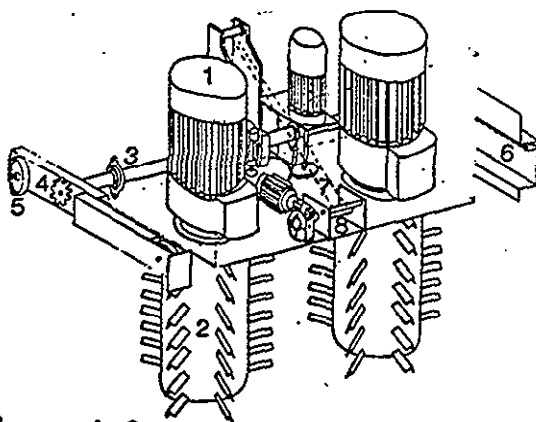
Forkompostering

Til forkompostering anvendtes et lukket komposteringsvarmeanlæg (KV-anlæg) som var lejet af TL-Maskinfabrik, Hjørring.

KV-anlæg

Princippet i KV-anlægget er vist på fig. 4.4. KV-anlægget var 12 meter langt, 2 m bredt og 3 meter højt. Det kunne dog ikke fyldes til mere end 1 meter i højden. Den maksimale kapacitet var skønnet til ca. 4800 kg affald incl. halm. Madaffaldet blev ved hjælp af et transportbånd og et stempel ført ind i den ene ende af anlægget. I anlægget blandedes og struktureredes materialet ved hjælp af to struktureringsvalser. På figur 4.4 er strukturererenheden markeret i fire forskellige stillinger 4, 4a, 4b og 4c. Driften af anlægget burde ske ved en kontinuerlig ind- og udmadning af materiale.

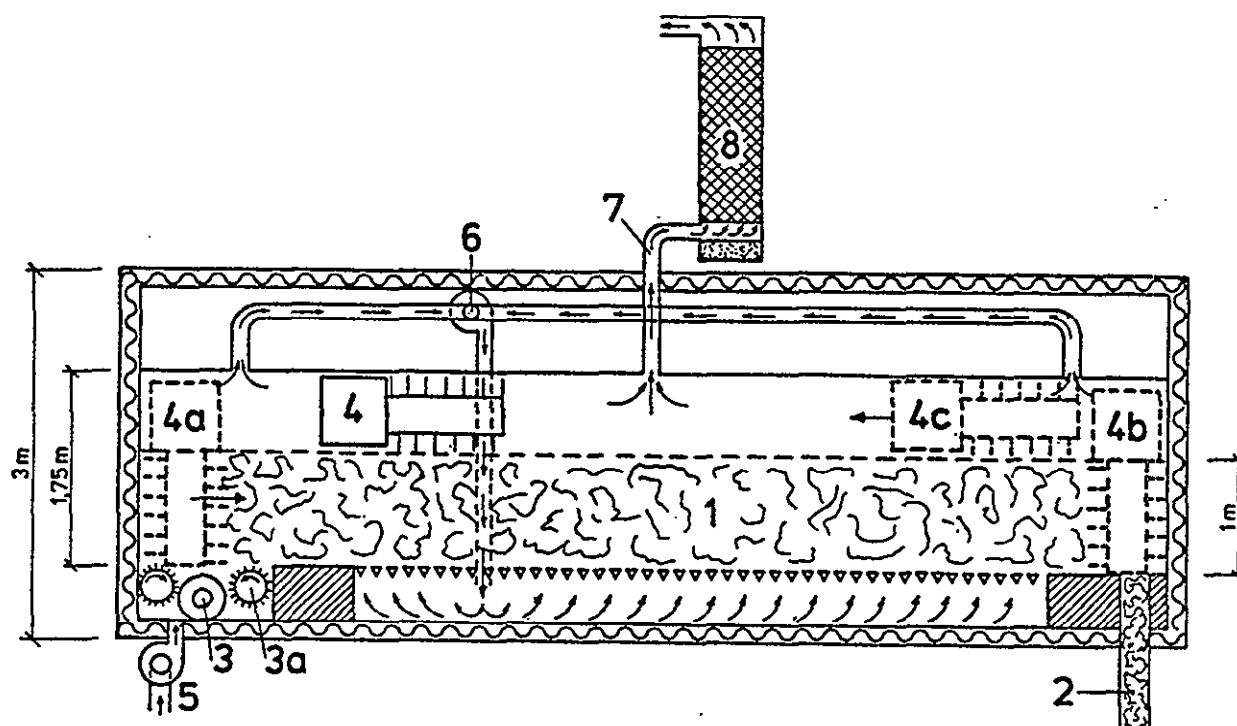
Strukturer-enheden var opbygget af to lodretstående valser med pigge, se fig. 4.3.



Figur 4.3.

Struktureringsvalser i KV-anlægget.

1. Motor med gear. 2. Strukturervalse. 3. Fremtræksaksel. 4. Tandhjul, der har indgreb i fremtrækskæden. 5. Hjul. 6. Fremtrækskæde. 7. Rem til at hæve strukturerenhed. 8. Om denne aksel vikles remmen op.



Figur 4.4.

Tværsnit af komposteringsvarmeanlægget (KV-anlægget).

1. Komposteringskammer
2. Indmadning
3. Udmadning med en snegl.
- 3a. Valse der flytter komposten hen til udmadesnegl.
4. Strukturereenhed, to pigtromler, der strukturerer og flytter komposten fra indmadningen til udmadningen. Den er afbildet i 4 positioner.
- 4a. Ved start af strukturering.
- 4b. Afslutning af strukturering.
- 4c. Strukturereenheden returnerer til dens hvileposition (4) hen over komposten.
5. Friskluftblæser.
6. Recirkulationsblæser.
7. Afkastluft.
8. Varmeveksler mellem luft og vand (et køletårn).

Behandlingstid

Ved hver strukturering blev materialet flyttet ca. 0,5 m. Opholdstiden i anlægget blev bestemt af antallet af struktureringer. En strukturerings tog 50 min.

Anlægget var bygget således, at der hørte 3 arbejdsfunktioner med til en struktureringsproces:

1. udmadning
2. gennemkørsel af affald med struktureringsenheden
3. indmadning

Denne rækkefølge var vigtig dels af hensyn til varmen i KV-anlægget dels af hensyn til KV-anlæggets tæthed. Eksempelvis ville anlægget være åbent ved udmaderenheden, hvis der ikke blev foretaget en strukturering umiddelbart efter udmadning.

Idet procesrummet var 6,5 m, var opholdstiden i anlægget en uge, såfremt der blev struktureret to gange pr. arbejdsdag. Ved én strukturering pr. arbejdsdag var materialets opholdstid i KV-anlægget 2 uger.

Iltilførsel

Iltilførslen til materialet i KV-anlægget skete ved hjælp af en ventilator, der blæste frisk luft ind i anlægget. En anden blæser recirkulerede luften. Både friskluft og recirkuleringsluften ledtes ind under materialet mellem procesrummets bund og de riste, hvorpå materialet lå. Udsugning skete fra flere punkter i proceskammerets top. Ventilatorerne kunne køre uafhængigt af hinanden og kunne tidsindstilles.

4.1.2

Eftermodning.

Efter opholdet i KV-anlægget eftermodnedes komposten, før den var klar til sigtning og derefter brug. Forsøgsanlægget gav mulighed for eftermodning i miler eller eftermodning i regnormebænke.

Miler

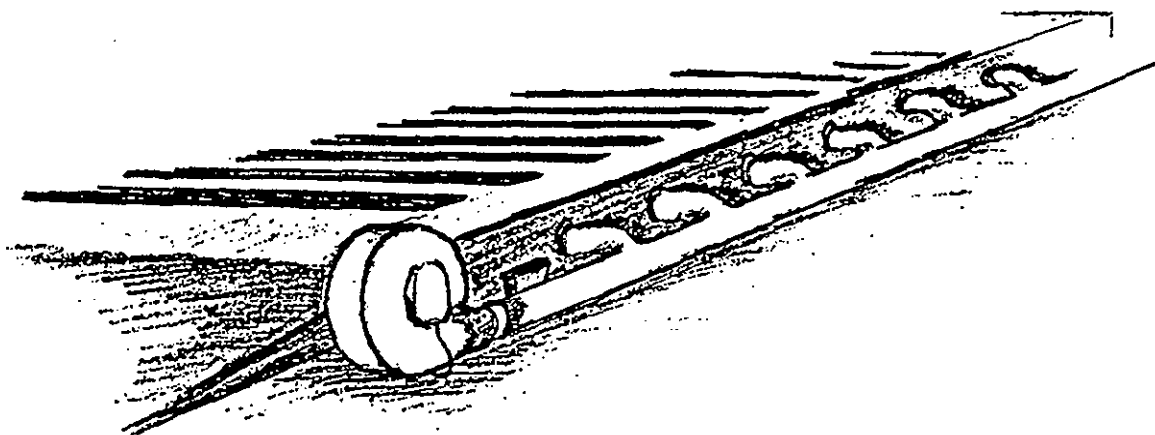
Ved milekompostering blev materialet sat op i bunker, der var 1 - 1,5 m høje og 1,5 - 2 m brede. Længden af milerne kunne i forsøgsanlægget nå op på 10 m.

Milekomposteringspladsen, der er vist i figur 4.5, gav mulighed for to parallelle miler. Komposten blev beluftet under eftermodningen

gennem tværgående kanaler, der kunne reguleres sektionsvis.

Beluftning

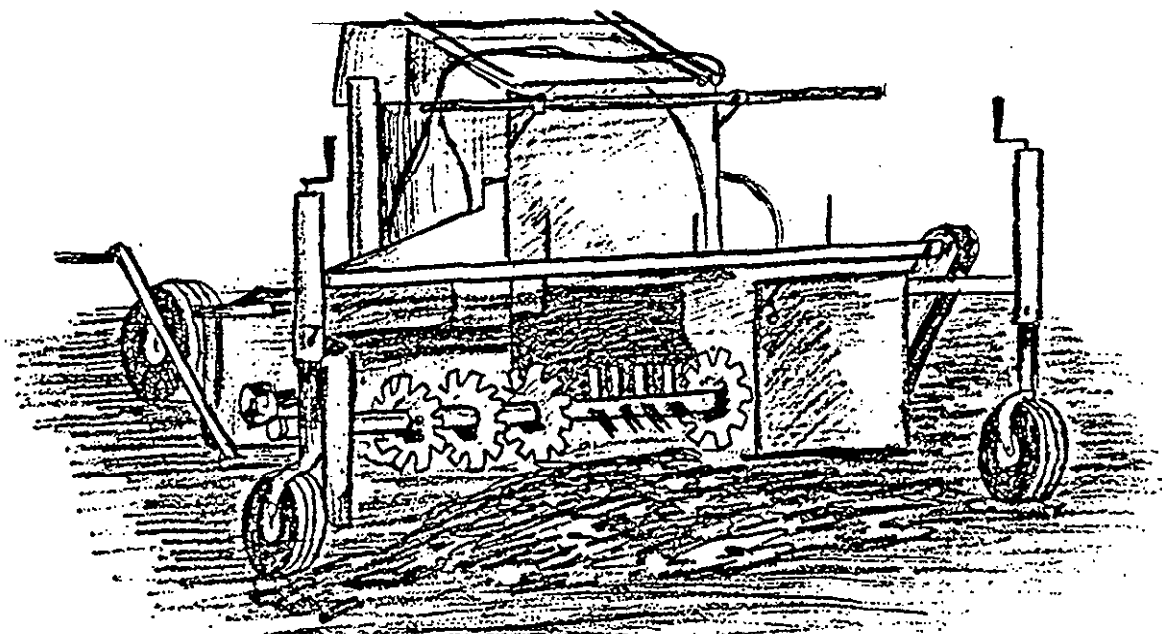
Luften strømmede op igennem rør, som var placeret i bunden af kanalerne. I kanalerne var øverst fyldt op med singels (ensartede sten, 5-10 cm i diameter) i stedet for riste, for at undgå tilstopning med kompost.



Figur 4.5.
Milekomposteringsplads.

Strukturering

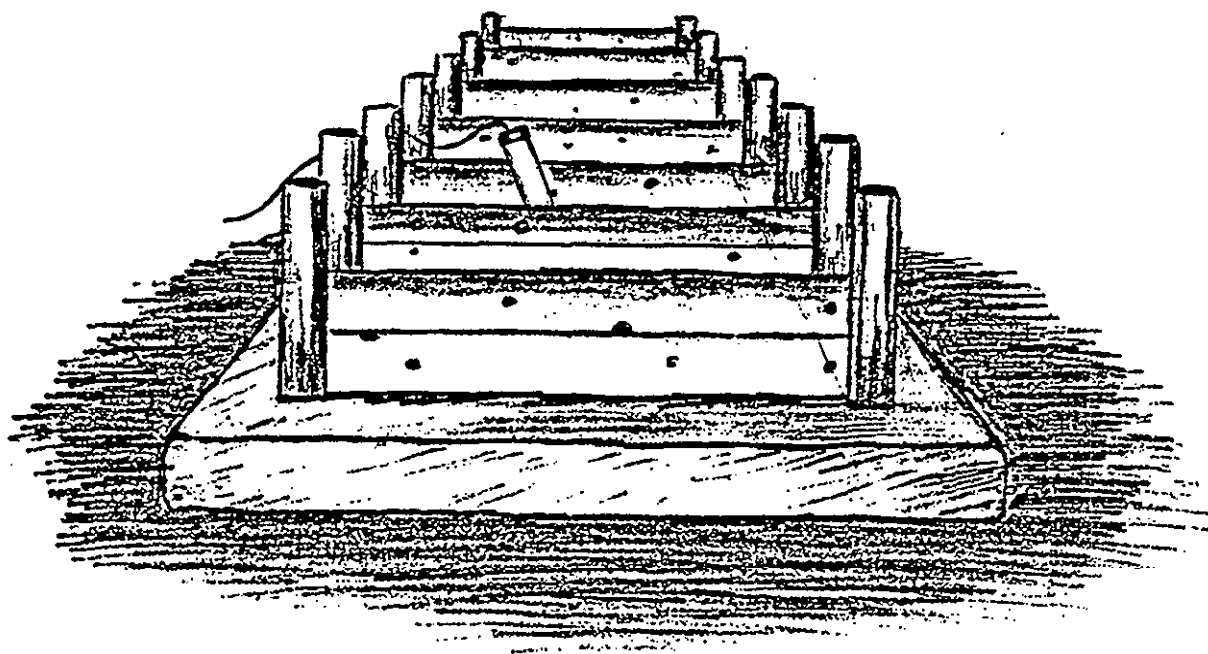
En gang om ugen blev milerne struktureret med kompostvendemaskinen, der er vist på figur 4.6. Denne maskine, der var forsøgt tilpasset de forhold, der gjaldt under pilotforsøget, var oprindeligt konstrueret til at blande jord med sphagnum. Efter struktureringen var milerne ca. 1-1,5 m i bredden, da maskinen mindskede bredden af milerne.



Figur 4.6.
Kompostvendemaskine.

Regnormebænke

Regnormebænkene, der er vist i figur 4.7, var opbygget som 1 m² store rum, blev adskilt af trævægge. Der var nedlagt en langsgående dræning midt under bænkene. Affaldet eller råkomposten blev lagt i 5-10 cm lag i bænkene én gang om ugen i 5 uger. Regnormene søgte efterhånden op i det uomsatte materiale.



Figur 4.7.

Regnormebænke. Lampen i anden bæk, er en elektrisk fluefanger.

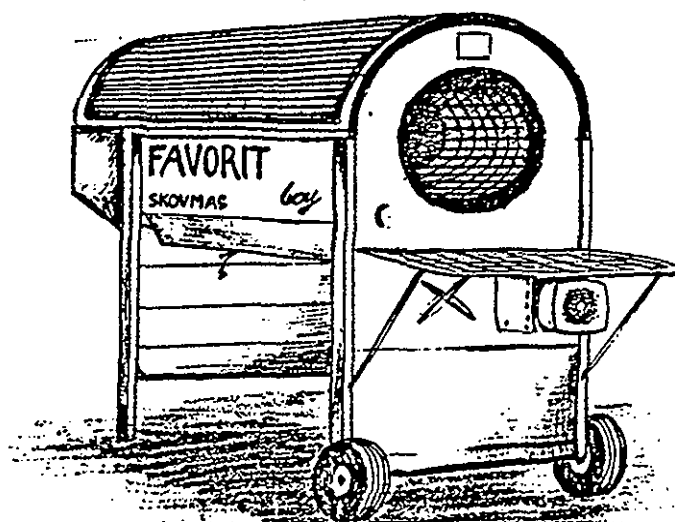
4.1.3

Sigtning af kompost.

Efter ca. 2 måneders eftermodning blev komposten sigtet manuelt på en tromlesigte, der er vist i figur 4.8. Der blev benyttet soldstørrelserne 10 og 20 mm. Den sigtede kompost faldt igennem solden, og sigteresten blev ført igennem tromlen.

Sigterest

Sigteresten bestod mest af plastik, knogler, ben og enkelte metaldele. Afhængig af sigterestens indhold af miljøskadelige stoffer skal den forbrændes eller deponeres.



Figur 4.8.

Tromlesigte, som kunne forsynes med sold af forskellig størrelse.

4.1.4

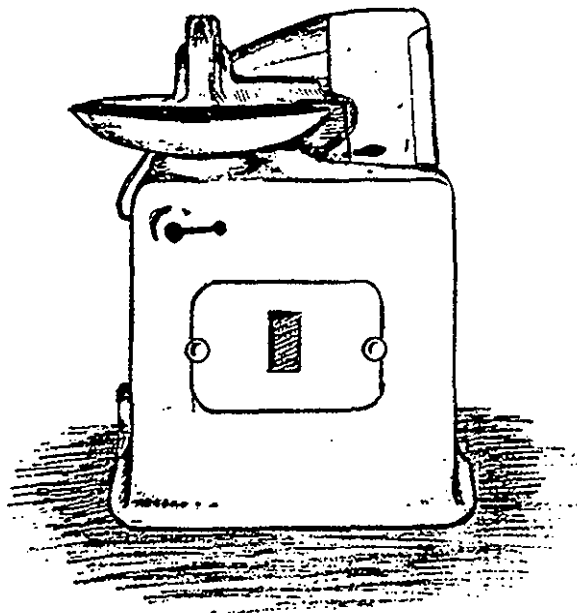
Prøveudtagnings- og analyseudstyr.

Under komposteringsforløbet blev der udtaget prøver af affald, råkompost efter KV-anlæg, kompost under eftermodning i miler og regnormebænke samt af den færdige kompost.

Disse materialers heterogenitet gjorde, at der blev udtaget forholdsvis store stikprøver for at sikre en repræsentativ prøve, se bilag 2. Heterogeniteten var størst i starten af behandlingskæden.

Homogene prøver

Stikprøven blev findelt på en såkaldt hurtig ker, som anvendes i slagteribranchen, se figur 4.9.



Figur 4.9.

Hurtighakker til findeling af materiale før prøveudtagning.

Parametre

Det finthakkede materiale blev blandet omhyggeligt, og der blev udtaget to prøver på 1,5 og 2,5 l, som hver var en blanding af 20-25 delprøver. Prøverne blev nedfrosset og sendt til analysering for henholdsvis tungmetaller og næringsstoffer.

Ved komposteringsanlægget var der opstillet et tørreskab og et pH-meter, således at tørstof- og pH-målinger kunne udføres på stedet. Endvidere var der opsat en fryser til nedfrysning og opbevaring af prøver før transport.

Prøveudtagnings- og analyseprogrammet er beskrevet i bilag 3.

4.2

Forsøgsplan.

Fremstillingen af komposten og afprøvningen af komposteringsanlægget blev planlagt således, at det ville være muligt at relatere målbare parametre og kompostens egenskaber til de forskellige forsøgsfaktorer.

Formål

Formålet med forsøgsplanen var at belyse, hvorledes der kunne fremstilles kompost af den bedst mulige kvalitet. D.v.s., med så lavt indhold af tungmetaller som muligt, med så højt

indhold af næringsstoffer som muligt og med så stor stabilitet som muligt. Intervallet for de variable parametre blev udvalgt med henblik på, at få processen til at forløbe lettest og hurtigst mulig. Forsøget var opdelt i mile- og regnormekompostering.

4.2.1

Milekompostering.

Det oprindelige ønske var at gennemføre et 3-faktorielt blokforsøg med to gentagelser. På grund af driftsstop med KV-anlægget gennemførtes kun gentagelse af ét forsøgsled, KV1,5,y.

Forsøgs- nummerering

Der indgik 2 materialeblandinger (5, 10) og 2 niveauer af henholdsvis opholdstid i KV-anlæg (KV1, KV2) og beluftning i miler (x, y).

Materialeblandingerne udgjorde (friskvægtforhold):

- Madaffald + hvedehalm som 1 + 0,05 (5).
- Madaffald + hvedehalm som 1 + 0,1 (10).

Opholdstiden i KV-anlægget var:

- 1 uge (KV1).
- 2 uger (KV2).

Eftermodningsmilerne blev beluftet med:

- aktiv beluftning, det vil sige indblæsning af luft i bundkanalerne (x).
- naturlig beluftning, det vil sige den luft, der selv trækker ind i bunken (y).

Dette gav $2 \times 2 \times 2 = 8$ forsøgsled.

Forsøgsenhed

En forsøgsenhed var opbygget af råkompost af 2,5 ugers affaldstilførelse til KV-anlægget. De første 2,5 uge fyldtes råkomposten på mile x, den næste 2,5 uge på mile y. Herefter ændredes materialeblanding eller opholdstid, og der blev igen fyldt først på mile x, derefter på mile y.

Randzone

Ved brug af randzoner mellem de forskellige forsøgsled blev det vurderet at være muligt at holde forsøgsleddene adskilt i KV-anlægget og på eftermodningsmilen. Randzonerne var $1/2 - 1$ meter brede i milerne.

Der blev således ikke udtaget prøver til analyser i randzonerne, men kun fra det område, hvor der ikke er sket en sammenblanding af to forskellige forsøgsled.

Forsøgsled	Ugenummer 1988 og 1989	Bemærkninger	Kompost på miles uge nr.
KV2, 10, (x,y)	24 25 26	Mindre uheld m. kabel- vogn, d. 26/6.	29-33
KV2, 5, (x,y)	35 36 37 38 39	De sidste to ugers af- fald blev ikke lagt på mile. P.g.a. driftsstop blev KV-anlægget tømt med håndkraft.	39-49
KV1, 5, (x,y)	46 47 48 49 50	Manglende målinger af temperatur i råkompost i KV-anlæg p.g.a. de- fekt målespyd.	51-3
KV1, 10 (y)	51 52 1 2 3	Mile x (aktiv beluft- ning) ophørte med be- luftning, idet der blev konstateret så kraftigt temperaturfald, at ef- termodningen gik i stå. Dette skyldtes kølig lufttemperatur.	4-8
KV1, 5, (y) kun passiv	4 5 6 7	Ingen råkompostprøver	9-13
KV2, 5, (y) kun passiv		Disse forsøgsled gen- førtes kun for at få temperaturen op på 60°C og for at lave proces- tekniske forsøg. Ingen råkompostprøver. Ingen prøver af færdig kompost.	

Figur 4.10.

Faktiske forsøg i forsøgsperioden.
KV1 og KV2: opholdstid i KV-anlæg.
5 og 10: Materialeblandinger.
x og y: beluftning af miles.

Regnormekompostering.

Formålet med kompostering i regnormebænke var at sammenligne:

- orme- og milekompostering.
- fodring med frisk affald og råkompost fra KV-anlægget.
- to forskellige fodringsniveauer.

Ormene, der blev leveret i en blanding af halm og husdyrgødning, blev fodret 5 uger i træk, hvorefter bænke henlå uden tilførsel af affald eller kompost i 5 uger. Efter 10 uger blev der udtaget prøver til analyse.

Ormebænke

Hver bæk blev i første forsøg startet med ca. 200 kg halm/orme. Fodringsmængden var for de orme, der blev fodret med affald 20 og 40 kg/uge, og for de orme, der blev fodret med råkompost 10 og 20 kg pr uge. 10 og 20 kg råkompost svarede i tørstofmængde til hhv. 20 og 40 kg affald pr uge. Forsøgsplanen er vist i tabel 4.1.

	Foder	Fodringsmængde kg/uge		
1.forsøg	Affald	20	40	
	Råkompost	10	20	
2.forsøg	Råkompost	10	15	20

Tabel 4.1.

Forsøgsplan for regnormebænke med faktorerne foder og fodringsmængde.

Forsøg

Første forsøg blev afviklet fra uge 33 til uge 42 (1988). Der blev udtaget prøver til analyse for tørstof, askeprocent, næringsstoffer, tungmetaller m.m.

Endvidere blev ormene optalt og vejjet (fra tilfældige stik) før afviklingen, og komposten blev løbende visuelt bedømt.

Det andet forsøg blev afviklet fra uge 5 til uge 27 (1989). Her blev kun optalt og vejjet orme ved afslutningen.

Som supplement blev det i første forsøg forsøgt at fodre ormene med affald, der blev hakket på hurtighakkeren.

4.3

Vurdering af forsøgsanlægget.

Projektet med kompostering i KV-anlægget varede i 14 måneder (marts 88 til maj 89).

4.3.1

Anlæg og maskiner.

Pilotanlæg

Indledningsvis bør det fremhæves, at pilotkomposteringsanlægget var det første af sin art, der blev afprøvet i Danmark til husholdningsaffald. Det betyder, at der ikke var erfaringer at bygge på udover, hvad der forelå om kompostering af svinegødning i anlægget.

Komposteringen var inddelt i to trin: en for kompostering af affald og en eftermodning af råkomposten med dertil hørende maskinelt udstyr. I den efterfølgende tekst gennemgås anlægget punkt for punkt.

Forkompostering

Det viste sig desværre, at KV-anlægget ikke var funktionsdygtigt i længere driftsperioder. Anlægget var sammenlagt i drift i 26 uger ud af periodens 60 uger.

De mange driftsstop skyldtes dels, at anlægget havde stået stille i 1-1 1/2 år før leveringen og dels det sure miljø, der opstod ved indmadning af affald, hvilket medvirkede til korrosionsproblemer. Men også visse konstruktionsmæssige ulemper ved anlægget var medvirkende årsag til driftsstoppen. I det følgende gennemgås KV-anlæggets forskellige dele/delområder separat:

Indmaderen:

Indmaderen gav ikke de store problemer.

Udmaderen:

Problemerne opstod, når materialet i anlægget tørrede for meget ud i forbindelse med lange driftsstop.

Ristene:

En renovering af ristene viste sig straks at være nødvendig, da struktureringsvalserne fik fat i dem hele tiden under kørslen.

Afløb:

(Perkolatdræn under ristene og afløb).

Da ristene og valserne virkede som et dørslag, kom der en del affald igennem ristene. Dette affald tørrede ud under ristene og dannede større og mindre klumper, som til sidst stoppede afløbet.

Struktureringsenheden (SE):

Struktureringsenheden havde for mange sårbare enkelte elementer i konstruktionen. De enkelte dele, der oftest gav anledning til problemer var:

- Div. kontakter
- Sele
- Kabelvogn + skinne
- Elforsyningen generelt
- Eltavlen med relæer

og deres direkte og indirekte påvirkning og forbindelse med hinanden.

Desuden var der en meget besværlig adgang til elementerne i struktureringsenheden.

Således vurderes det at være en alvorlig ulempe, at struktureringsenheden konstant var i procesrummets meget aggressive miljø, som forårsagede en kraftig korrossion.

Det sure miljø i kammeret har været mere aggressivt end erfaringer med kompostering af svinegødning har kunnet forudsige.

Eftermodning

Eftermodningspladsen med miler fungerede efter hensigten. Det viste sig, at beluftningskanalerne havde en god funktion selv ved naturlig luftgennemstrømning. Kompostbunken udviklede en "skorstenseffekt". Den opstigende varme luft igennem bunkens trak frisk luft ind forneden gennem luftkanalerne.

Fordampningen fra milerne var så stor, at der ikke sivede vand ned i kanalerne.

Regnormebænke

Regnormebænkene dannede tilfredsstillende fysiske rammer omkring regnormekomposten. Heller ikke her blev der konstateret drænvand, så drænkkanalen kunne være sparet. Det er dog muligt, at der skete en vis ilttilførsel her igennem.

Vendemaskinen

Kompostvendemaskinen var en prototype, der ikke tidligere har været anvendt til kompost fra husholdningsaffald. Maskinens mangler var, at fremkørselshastigheden og styreegenskaberne var for ringe, ligesom maskinen hurtigt blev overbelastet, hvis komposten var våd. Endvidere manglede en vinge, som kunne ryste op i komposten, da maskinen ikke selv kunne få fat i komposten. Hvis milen var for høj, måtte komposten endvidere skubbes hen til indmaderen, ellers ville vendemaskinen bare skubbe komposten foran sig uden at vende den.

Tromlesigte

Tromlesigten var særdeles funktionsdygtig til et anlæg af denne størrelse. Der blev benyttet to sold på henholdsvis 10 og 20 mm. Det viste sig, at 10 mm soldet gav for stor sigterest, og 20 mm soldet medførte for mange urenheder i den færdige kompost. Derfor blev der indkøbt et 15 mm sold, som blev anvendt i sidste del af forsøgsperioden.

For ikke at blande de forskellige forsøgsled sammen var det ikke muligt at recirkulere og derved reducere sigteresten, som indeholdt knolde af organisk materiale. I et fuldskalaanlæg vil sigteresten kunne føres tilbage i processen, hvis den er rig på organisk materiale. Hvis den derimod overvejende indeholder plastik, skal den køres direkte til forbrænding eller deponering.

Ved recirkulering skal der dog jævnligt bortkøres en vis mængde sigterest, for at mængden i anlægget holdes konstant. I modsat fald ophobes sigterest under komposteringsprocessen.

4.3.2

Arbejds miljø.

Under planlægningen af projektet blev det ud fra ønske fra Københavns Kommune besluttet at placere pilotkomposteringsanlægget i et telt. Det skete dels for at undgå lugtproblemer i det ydre miljø, dels for at være uafhængig af vejret af hensyn til komposteringsprocessen og det daglige arbejde.

Alle miljøgener, der opstod under projektperioden blev registreret og afhjulpet undervejs. I det hele taget blev alle forhold, der senere kunne bruges ved projektering af større anlæg, herunder også arbejdsmiljømæssige gener, registreret.

Følgende faktorer var der generelt problemer med i luften i komposteringssteltet:

- damp
- støv
- svampe
- svampesporer
- bakterier
- endotoxiner
- lugt (sulfider, smørsyre m.m.)
- organiske syrer

Nedenfor beskrives hvor og hvornår der opstod arbejdsmiljøproblemer i relation til anlæggets funktionelle opdeling.

Modtagepladsdepotet: Dårlig lugt fra affaldsbeholderne. Affaldet lå i affaldsbeholderne op til 7 dage inden indsamling. Hertil kom yderligere op til 7 dage før behandling i komposteringssteltet. Det fugtige miljø i beholderne gav gode betingelser for maddiker og fluer især i sommerperioden. Beholderne blev derfor hurtigt flyttet udenfor teltet indtil indmadning kunne ske.

Indmadning, blanding af madaffald og strukturmateriale: Under opbevaring af affaldet vil der ske en opformering af mikroorganismer i affaldet. Endvidere skete der spredning af støv fra halmen.

Grovhakkeren: I forbindelse med prøveudtagning og regnormekompostering blev affald og råkompost hakket på en grovhakker.

KV-anlægget: I forbindelse med reparation.

Eftermodningsmiler: Når materialet blev udtaget fra KV-anlægget og især ved vending af milerne.

Sigtning af komposten: Støv og mikroorganismer hvirvledes op i luften. Mængden var afhængig af, i hvor høj grad materialet var hygiejniseret under komposteringen, og hvor meget komposten tørrede under eftermodningen.

Ventilation

Under driften af anlægget blev det klart, at der var store arbejdsmiljøproblemer som følge af, at komposteringspladsen var lukket inde i et telt. Det eksisterende ventilationsanlæg i teltet var utilstrækkeligt.

Ventilatorerne gav kun et luftskifte på en gang pr. time, hvor effekten ved at åbne portene var et luftskifte på ca. 50 gange pr. time med lidt vind og ca. 20 gange pr. time i stille vejr.

Punktudsugning

Der blev derfor opsat punktudsugning over indmadningsbordet. Eftermodningsmilerne blev overdækket med monarfolplast, og udsugning blev etableret, se figur 4.11 og 4.12. Desuden blev der tilkoblet en punktudsugning over hurtighakkeren, hvor affaldsprøverne blev findelt, og en punktudsugning til tørreskabet, som benyttes til tørstofbestemmelser.

Punktudsugningerne fra indmaderbord og hurtighakker blev ført op til de eksisterende ventilatorer, hvilket samtidig reducerede støjgenerne til et acceptabelt niveau.

Foranstaltningerne med punktudsugning afhjalp i væsentlig grad problemerne, men i særlige arbejdssituationer (tømmning og reparation af KV-anlæg og vending af kompostmilerne) var det nødvendigt at benytte åndedrætsværn med friskluftsforsyning.

Medarbejderens symptomer

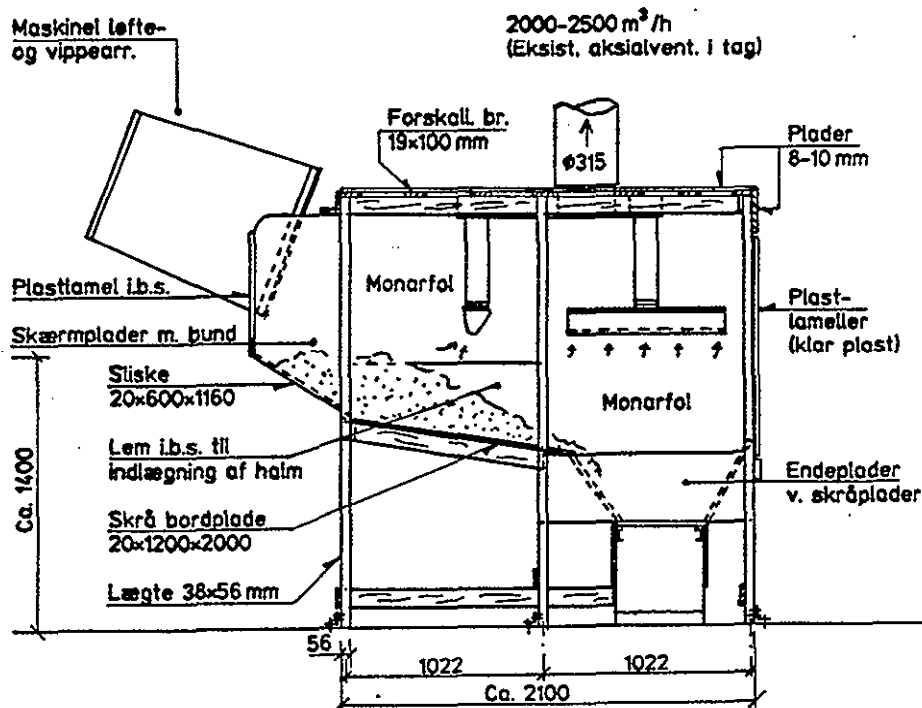
Efter et par timers almindeligt arbejde i teltet havde medarbejderen på pladsen, hvis han ikke brugte nogen form for maske, symptomer som hovedpine og trykken for brystet.

Symptomerne efter arbejde inde i KV-anlægget (ved driftsstop), ved vending af eftermodningsmilerne og ved arbejde med grovhakkeren var "tømmermandshovedpine" og træthed, dårlig mave og høfeberfornemmelse ($\approx$ irriteret hud, snue, våde og røde øjne).

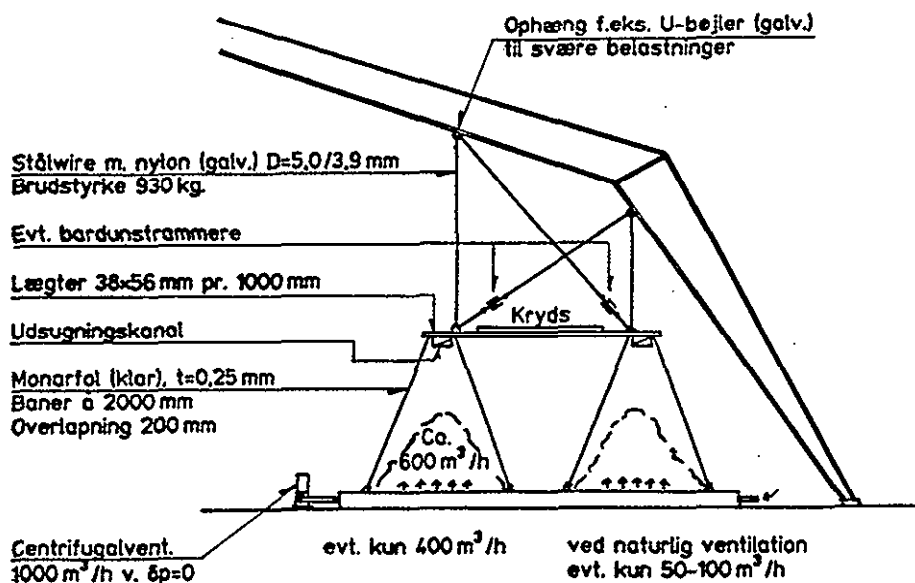
Afdækning og udsugning over milerne gav et væsentlig bedre miljø i teltet. Tidligere var de første 2-4 dage i teltet efter at milerne var blevet vendt meget ubehagelige.

Flueplage

I sommerperioden blev der udklækket et stort antal fluer i komposteringssteltet. Dette blev delvis afhjulpet ved at opstille en elektrisk fluefanger.



Figur 4.11.
Inddækning af og udsugning over indmaderbord.



Figur 4.12.
Inddækning af og udsugning fra kompostmiler.

Masker

Personligt udstyr

Til bedring af arbejdsmiljøet var der i første omgang indkøbt halvmasker, der dækkede næse og mund. Halvmaskerne bestod af et filter, som fjerner visse partikler og ammoniak. Dette var imidlertid ikke nok, da filtrene ikke fjernede bakterier og virus, og heller ikke beskyttede øjnene.

Derfor blev der hos Arsima indkøbt helmasker af fabrikatet Auer med kombinationsfiltre (A₂, B₂, E₂, K₂, P₂). Problemet med disse masker var, at de ikke må bæres særlig længe (max. 3 timer/døgn), fordi de slutter fuldstændig tæt til ansigtet. Huden bliver irriteret og slides især i kanten af masken. Endvidere er det besværligt og trættende at trække vejret gennem filtrene, og med risiko for at få vand i lungerne.

Næste skridt var derfor indkøb af en hættemaske med batteridrevet indblæsning af luft, der bliver rensat gennem filtre. Indblæsningen af luft larmede imidlertid så meget, at medarbejderen var nødt til at bære høreværn samtidig. Endvidere var den indblæste luft kold, hvilket kunne medføre risiko for forkølelse. Endelig havde hættens ikke kombinationsfiltre.

Tilslidst blev det valgt at indkøbe og bruge en friskluftsforsyning, som bestod af en kompressor, der placeredes og indsugede luft udenfor teltet, samt en til flere hættmasker med 20 m lange slanger. En ulempe ved friskluftsforsyningen var, at medarbejderen skulle bevæge sig med omtanke, så slangen ikke blev snoet ind i kompostvendemaskinen m.m. Det har i sommeren 1989 været diskuteret generelt, hvorvidt luften i disse friskluftsforsynede åndedrætsværn er tilstrækkelig god. Erfaringer med dem bør medtages i fremtiden.

Arbejdstøj

Arbejdstøjet skiftes efter hver arbejdsdag, da støv, affald, kompost o.s.v. er god grobund for mikroorganismer m.m.

Opfølgning af arbejdsmiljøproblemer

Teknologisk Institut (TI) har gennemført et projekt, der omhandler arbejdsmiljøproblemer på eksisterende danske affaldssorterings- og komposteringsanlæg - herunder pilotkomposteringsanlægget på Amager. For yderligere oplysninger henvises derfor til denne undersøgelse.

Konklusion

Følgende arbejdsmiljømæssige erfaringer kan udnyttes til fremtidige anlæg til biologisk behandling af organisk affald:

Indsamlingen af kildesorteret organisk husholdningsaffald bør ske så tit som muligt. Indmadningen af det indsamlede affald skal ske så hurtigt som muligt efter modtagelsen ved anlægget. Ud fra erfaringerne fra dette forsøg kan det ikke anbefales på kommende anlæg at placere hverken forkomposteringsdel eller eftermodning i et telt. Hvis dele af anlægget placeres i telt eller lignende bør følgende erfaringer benyttes:

Der bør opsættes en elektrisk fluefanger for at mindske flueplagen. Indmaderafsnittet, eftermodningsmiler og eventuelt prøveudtagningsudstyr som grovhakker og tørreskab bør afskærmes og forsynes med punktudsugning. Medarbejdere med daglig tilknytning til anlægget bør påbydes at anvende hættemaske med friskluftforsyning under arbejde i tæt kontakt med komposten. Endvidere bør medarbejdere tilbydes 1 sæt rent arbejdstøj hver dag. Det anbefales, at medarbejdere helbredsundersøges før arbejdet påbegyndes og derefter løbende, for at kontrollere eventuelle ændringer (bl.a. øget følsomhed overfor allergifremkaldende stoffer m.m.) som følge af arbejdet.

Energiberegninger for KV-anlægget.

For at kunne vurdere hvilke indgreb, der skulle udføres for at styre processen i KV-anlægget, blev der opstillet og regnet på en simpel model over energibalancen i KV-anlægget.

Modellen beregnede mængden af energi som komposteringsprocesserne producerede, samt tab af energi ved transmission til omgivelserne, opvarmning af affald og opvarmning af friskluft.

Beregningerne byggede på en række værdier, hvoraf nogle var målte værdier, og andre var skønnede og/eller beregnede. Der blev udvalgt 4 vigtige parametre, der kunne varieres i beregningerne, for at se deres betydning for ændringer i energibalancen.

De variable parametre samt deres variation var:

- Affaldsmængden, 600 til 1600 kg/uge.
- Friskluftmængden, 0 til 30 kg/h.
- Omgivelsernes temperatur, 0 til 20°C.
- Kammertemperatur, 40 til 60°C.

De faste parametre, der blev brugt i beregningerne havde følgende værdier:

- Kammerets overfladeareal, 62 m².
- Varmeovergangstal i kammervæg, 0,5 W/(m²*°C).
- Tørstof % i affald, 30 %.
- Organisk tørstof % i affald, 92 % af tørstof
- Varmefylde, af affaldet 3,35 kJ/kg/°C
- Omsætning af org. stof i affald, 30 %.
- Forbrændingsvarme, org. stof, 17400 kJ/kg.
- Luftfugtighed, frisk luft, 50 %.
- Luftfugtighed, afkastluft, 90 %.

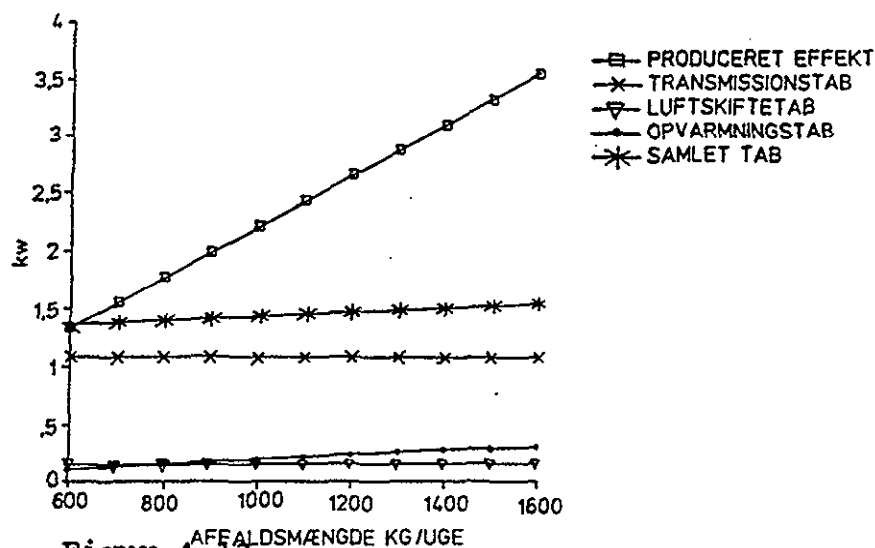
Beregningerne fremgår af et beregningseksempel i bilag 13.

Beregningerne blev udført på den måde at 1 parameter blev varieret, og resten fastholdt i en værdi, der syntes at være relevant. Der er lavet grafer over de udførte beregninger, se figurene 4.13 til 4.18.

I graferne er den variable parameter X-aksen. Y-aksen viser energiproduktion og energitab, udtrykt som effekt (kW).

Følgende forkortelser er brugt til benævnelsen af de variable parametre, KT = kammertemperatur, UT = ude temperatur, FLM = friskluftmængde, AFM = affaldsmængde.

ENERGIBEREKNINGER FOR KV - ANLÆGGET
FORUDSÆTNINGER: UT = 15°C, KT = 50°C, FLM = 10 kg/h



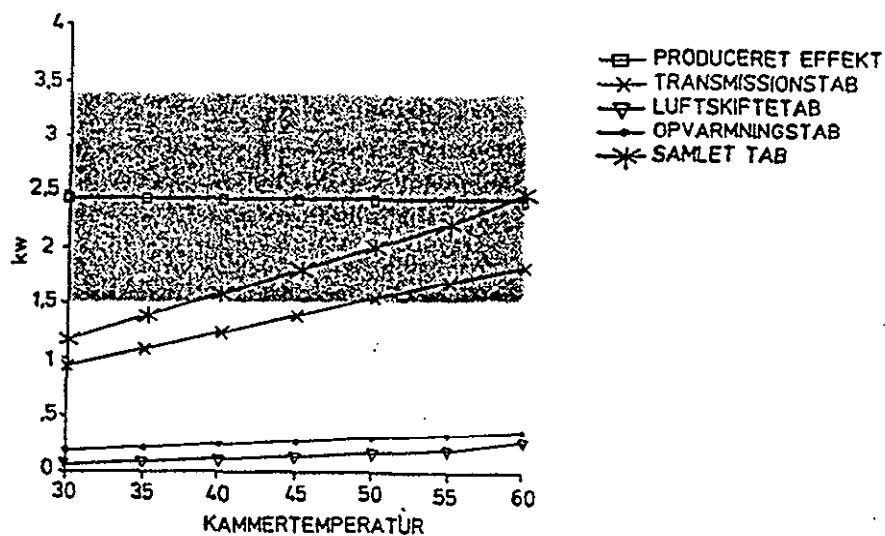
Figur 4.13.

Affaldsmængde

Affaldsmængdens betydning for energiproduktionen ses tydeligt på figur 4.13. Når affaldsmængden varierer fra 600 til 1600 kg/uge, stiger energiproduktionen fra 1,4 kW til 3,5 kW. I forsøget har den gennemsnitlige affaldsmængde været 1100 kg/uge, denne værdi er brugt i de øvrige figurer. KV-anlægget kunne behandle 1,5-2 gange mere affald. Det ville være en fordel, hvis der var mere materiale i anlægget, idet et energioverskud gør det nemmere at styre temperatur og fugtighed.

ENERGIBEREGNINGER FOR KV - ANLÆGGET

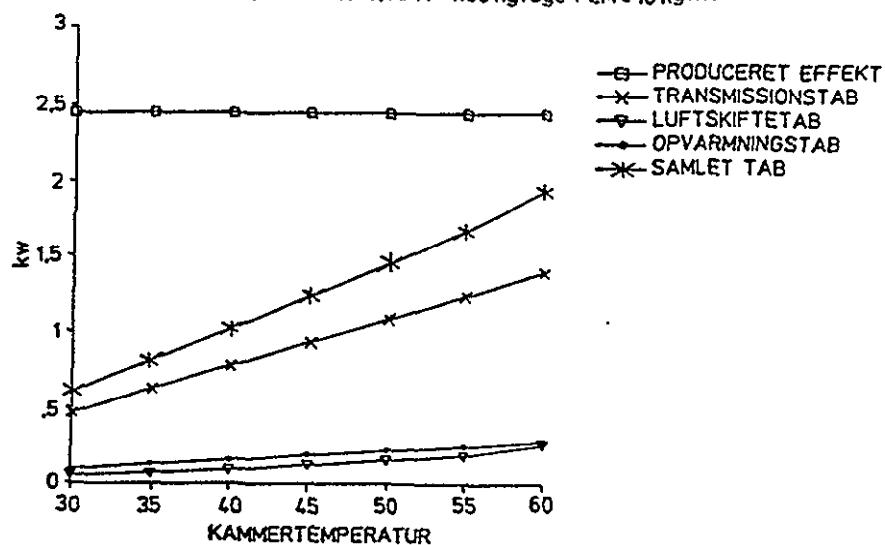
FORUDSÆTNINGER: $U_T = 0^\circ\text{C}$, $AFM = 1100 \text{ kg/uge}$, $FLM = 10 \text{ kg/h}$



Figur 4.14.

ENERGIBEREGNINGER FOR KV - ANLÆGGET

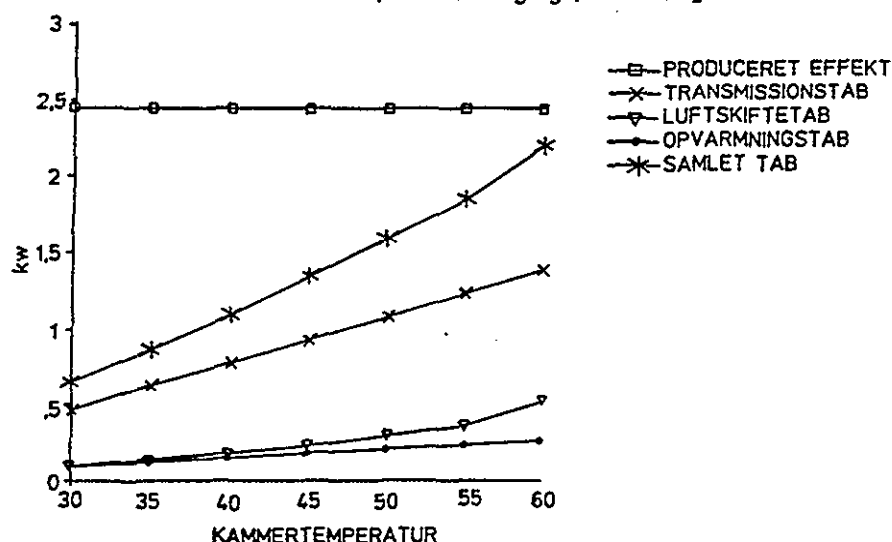
FORUDSÆTNINGER: $U_T = 15^\circ\text{C}$, $AFM = 1100 \text{ kg/uge}$, $FLM = 10 \text{ kg/h}$



Figur 4.15.

ENERGIBEREKNINGER FOR KV - ANLÆGGET

FORUDSÆTNINGER: $UT = 15^{\circ}\text{C}$, $AFM = 1100 \text{ kg/uge}$, $FLM = 20 \text{ kg/h}$



Figur 4.16.

Omsætningsgrad

Det skal tages i betragtning, at energiproduktionen er afhængig af materialets omsætningsgrad.

Energiproduktionen kunne således variere indenfor 1,5 kW til 3,4 kW med en affaldsmængde på 1100 kg/uge. Dette område er skravet i figur 4.14.

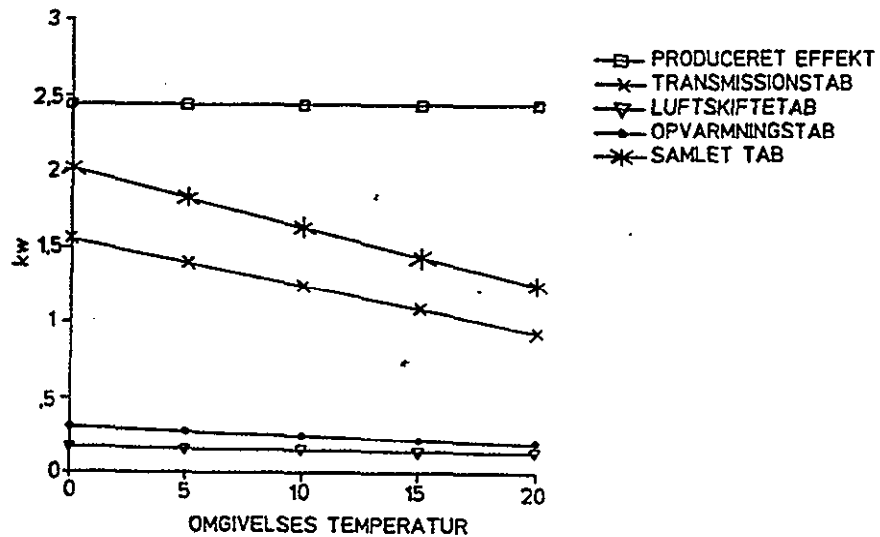
Intervalllets nedre grænse angiver den producerede energi ved den laveste omsætningsgrad, og den øvre grænse den producerede energi ved den højeste omsætningsgrad. Den benyttede omsætningsgrad er et gennemsnit heraf.

Kammer-
temperatur

Ved en stigende kammertemperatur stiger energitabet fra anlægget. Der, hvor kurven for det samlede tab krydser kurven for produceret effekt, er den maksimale kammertemperatur under de givne betingelser, hvor overskudsvarmen ikke søges udnyttet. Ved en friskluftmængde på 10 kg/h og en udetemperatur på 0°C er den maksimale kammertemperatur ca. 60°C , se figur 4.14.

ENERGIBEREGNINGER FOR KV - ANLÆGGET

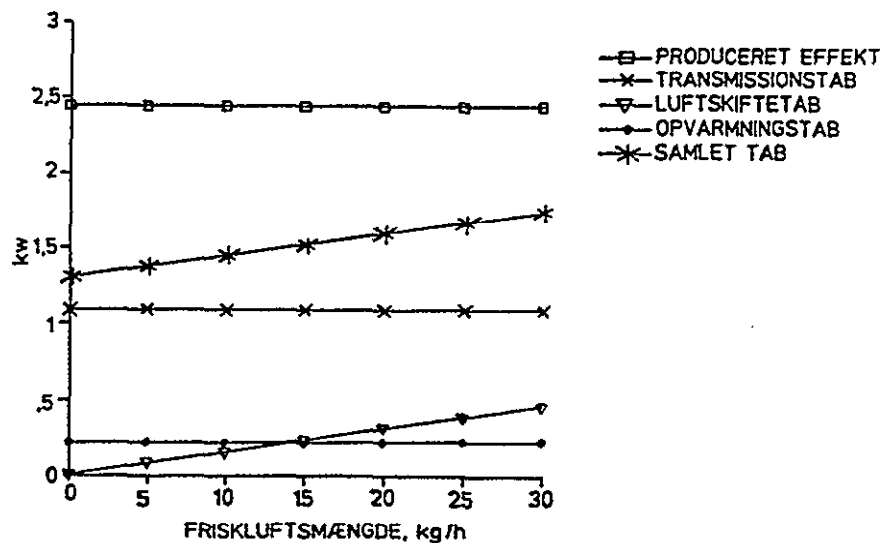
FORUDSÆTNINGER: $K_T = 50^\circ\text{C}$, $AFM = 1100 \text{ kg/uge}$, $FLM = 10 \text{ kg/h}$



Figur 4.17.

ENERGIBEREGNINGER FOR KV - ANLÆGGET

FORUDSÆTNINGER: $U_T = 15^\circ\text{C}$, $K_T = 50^\circ\text{C}$, $AFM = 1100 \text{ kg/uge}$



Figur 4.18.

Friskluftmængde

Der er en ligefrem proportionalitet mellem de samlede energitab og friskluftmængden, hvilket figur 4.18 viser.

Omgivelsernes temperatur

Ændringer i omgivelsernes temperatur har betydning for transmissionstab og tabet ved opvarmning af affaldet. Med stigende temperatur i omgivelserne fås lavere samlet tab. På figur 4.17 ses, at det samlede energitab ændres ca 1 kW, når omgivelsernes temperatur varieres 20°C.

Konklusion.

Det samlede energitab fra KV-anlægget varierer efter de forudsætninger, der stilles. Transmissionstab er det største tab, derefter kommer tabet til opvarmning af affaldet og luftskiftetab. De to sidste bliver dog aldrig større end 1 kW tilsammen. Jo højere kammertemperatur og jo lavere udetemperatur, des større bliver det samlede energitab fra KV-anlægget.

Det kan konkluderes, at mængden af friskluft og recirkulationsluft skal holdes på et minimum i de kolde perioder, for at undgå et stort energitab.

Større tilførsel af affald vil øge varmeproduktionen og dermed forbedre styringsmulighederne i anlægget.

Det bør dog nævnes, at de udførte beregninger er udført på baggrund af nogle forudsætninger, der ikke alle er præcist bestemt. Resultaterne giver dog en forståelse for betydningen af de forskellige parametre.

4.5

Resultater og diskussion, affald, råkompost, milekompost og perkolat.

Under forsøgsperioden blev der gennemført løbende driftsmålinger og udtagninger af affalds- og kompostprøver, som blev sendt til laboratorium for analysering. Resultaterne fremstilles og sammenholdes i de følgende afsnit med udenlandske erfaringer.

4.5.1

Kemiske analyser af affald, råkompost og milekompost.

Der er blevet udført en række kemiske analyser af affald og kompost, se tabel 4.2.a-e.

Materiale	Affald	Halm	Råkompost efter KV- anlæg	Milekompost, uger, mile					
				2		4		7	
				x	y	x	y	x	y
Tørstof-%	31	85	40	44	47	49	48	46	44
Aske-%	9	6	11	17	19	23	24	23	25
pH, frisk	4,5*	-	5,5*	7,0	8,0	8,5	8,5	8,0	7,0
L _t , ms/cm	3	-	2	3	3	3	2	3	3
C-%	47,1	-	47,1	43,2	43,6	42,2	41,8	41,0	39,8
N-%	2,47	0,66	2,39	2,23	3,45	0,37 ⁺	2,46	3,27	3,20
heraf:									
NO ₃ -N, ppm	26	-	-	-	-	-	-	248	303
NH ₄ -N, ppm	243	-	-	-	-	-	-	28	12
P-%	0,44	0,16	0,32	0,47	0,29	0,55	0,67	0,91	1,01
K-%	0,85	0,39	1,01	-	-	-	-	1,18	2,03
Mg-%	0,10	0,14	0,12	-	-	-	-	0,26	0,28
Ca-%	1,26	0,24	1,68	-	-	-	-	3,73	3,94
Na-%	0,41	0,03	0,42	-	-	-	-	0,74	0,83
Mn, ppm	-	-	-	-	-	-	-	134	147
Zn, ppm	-	-	-	-	-	-	-	134	144
B, ppm	-	-	-	-	-	-	-	15	16
C/N	19	-	20	19	13	114 ⁺	17	13	12

+ disse værdier er ikke medtaget ved videre talbehandling.

* målt på ikke-nedfrosset prøve.

Tabel 4.2.a.

Kemisk sammensætning af affald; halm, råkompost og milekompost, procent af tørstof. For søgsbetingelser: KV2,10(x,y). (Uge 29 - 33).

Tørstofprocent

Det ses i tabel 4.2.a-e, at tørstofindholdet på grund af fordampning og halmtilsætning steg i KV-anlægget. Tørstofprocenten steg dog ikke mere ved 10% halmtilsætning end ved 5% halmtilsætning. Tørstofprocenten i affaldet lå på ca. 30.

Der sker en stigning på ca. 10% i KV-anlægget uanset tilsætning af halm og opholdstid. Med hensyn til aktiv (x) og passiv (y) beluftning af milerne sker der en større udtørring af komposten i de aktivt beluftede miler, hvilket ses af tabel 4.2.c og d. At det omvendte gør sig gældende for KV1,5 (x,y) i uge 51-3 (tabel 4.2.a), skyldes, at milerne er blevet vandet individuelt, samt at beluftningen i den sidste del af forsøgsperioden (fra uge 50, 1988) blev styret efter aktuelle målinger på tørstofindholdet.

Materiale	Affald	Halm	Råkompost efter KV- anlæg	Milekompost, uger, mile					
				2		4		13	
				x	y	x	y	x	y
Tørstof-%	32	85	39	57	51	42	34	43	40
Aske-%	8	6	13	19	25	6+	26	25	27
pH, frisk	5,0*	-	7,0	7,5	8,0	8,0	7,5	9,0	9,0
L _t , ms/cm	3	-	3	3	5	2	3	3	4
C-%	47,4	-	46,3	44,0	39,0	-	-	40,0	38,0
N-%	1,88	0,66	2,32	2,53	3,04	-	-	3,79	3,28
heraf:									
NO ₃ -N, ppm	47	-	-	-	-	-	-	50	198
NH ₄ -N, ppm	130	-	-	-	-	-	-	2	3
P-%	0,51	0,16	0,74	0,99	1,38	-	-	0,84	0,96
K-%	0,63	0,39	0,74	1,13	1,17	-	-	1,54	1,99
Mg-%	0,08	0,14	-	-	-	-	-	0,29	0,31
Ca-%	0,97	0,24	0,18	0,41	0,51	-	-	3,59	4,22
Na-%	0,23	0,03	0,28	0,43	0,43	-	-	0,90	0,91
Mn, ppm	-	-	-	-	-	-	-	149	160
Zn, ppm	-	-	-	-	-	-	-	158	166
B, ppm	-	-	-	-	-	-	-	17	17
C/N	25	-	20	17	13	-	-	11	12

+ værdien er ikke medtaget ved senere beregning af omsætningsgrad.

* målt på ikke-nedfrosset prøve.

Tabel 4.2.b.

Kemisk sammensætning af affald; råkompost og mile
kompost, procent af tørstof. Forsøgsbetingelser:
KV2,5(x,y). (Uge 39 - 49).

Materiale	Affald	Halm	Råkompost efter KV- anlæg	Milekompost, uger, mile					
				2		6		8	
				x	y	x	y	x	y
Tørstof-%	29	85	31	37	38	34 ⁺	53 ⁺	45	49
Aske-%	8	6	10	18	17	17	20	23	20
pH, frisk	5,5	-	4,5	7,5	8,0	7,5	8,5	8,0	8,5
L _t , ms/cm	2	-	3	2	2	2	3	4	3
C-%	45,6	-	-	-	-	-	-	41,6	42,9
N-%	2,15	0,66	-	-	-	-	-	3,39	3,20
heraf:									
NO ₃ -N, ppm	45	-	-	-	-	-	-	43	32
NH ₄ -N, ppm	25	-	-	-	-	-	-	13	16
P-%	0,43	0,16	-	-	-	-	-	1,07	1,08
K-%	0,88	0,39	-	-	-	-	-	1,79	1,64
Mg-%	0,10	0,14	-	-	-	-	-	0,24	0,22
Ca-%	1,58	0,24	-	-	-	-	-	3,93	3,65
Na-%	0,28	0,03	-	-	-	-	-	0,88	0,78
Mn, ppm	-	-	-	-	-	-	-	121	120
Zn, ppm	-	-	-	-	-	-	-	120	115
B, ppm	-	-	-	-	-	-	-	20	21
C/N	21	-	-	-	-	-	-	12	13

+ mulig forklaring på disse tal er omtalt tidligere.

Tabel 4.2.c.

Kemisk sammensætning af affald; halm, råkompost og milekompost, procent af tørstof. Forsøgsbetingelser: KV1,5(x,y). (Uge 51 - 3).

Materiale	Affald	Halm	Råkompost efter KV-anl.	Milekompost, uger, mile					
				2		4		6	
				x	y	x	y	x	y
Tørstof-%	29	85	36	50	39	48	32	42	32
Aske-%	8	6	11	17	18	18	21	25	23
pH, frisk	5,5	-	5,0	8,0	8,0	8,5	8,5	9,0	8,5
L _t ms/cm	2	-	2	2	2	2	3	3	3
C-%	48,6	-						40,3	41,2
N-%	2,23	0,66						3,46	3,74
heraf:									
NO ₃ -N, ppm	42	-						44	33
NH ₄ -N, ppm	55	-						19	12
P-%	0,42	0,16						0,90	0,89
K-%	0,71	0,39						1,54	1,73
Mg-%	0,09	0,14						-	-
Ca-%	1,61	0,24						-	-
Na-%	0,31	0,03						0,68	0,72
Mn, ppm	-	-						128	129
Zn, ppm	-	-						122	112
B, ppm	-	-						21	22
C/N	22	-						12	11

Tabel 4.2.d.

Kemisk sammensætning af affald; halm, råkompost og milekompost, procent af tørstof.

KV2,10(y). (Uge 4 - 8). Begge kolonner (x og y) referer til passiv beluftning.

Materiale	Affald	Halm	Råkompost efter KV- anlæg	Milekompost, uger, mile					
				2		4		6	
				x	y	x	y	x	y
Tørstof-%	30	85	31	35	41	42	39	36	33
Aske-%	8	6	10	17	17	23	22	25	22
pH, frisk	5,5	-	4,5	8,0	8,5	8,5	8,5	9,0	8,5
L _t , ms/cm	2	-	3	2	2	4	4	4	4
C-%	46,2	-	-	-	-	-	-	41,3	40,5
N-%	1,97	0,66	-	-	-	-	-	4,01	4,09
heraf:									
NO ₃ -N, ppm	48	-	-					46	45
NH ₄ -N, ppm	22	-	-					135	156
P-%	0,47	0,16	-					1,05	0,98
K-%	0,90	0,39	-					2,28	2,28
Mg-%	0,11	0,14	-					-	-
Ca-%	1,81	0,24	-					-	-
Na-%	0,27	0,03	-					0,79	0,78
Mn, ppm	-	-	-					389	147
Zn, ppm	-	-	-					650	328
B, ppm	-	-	-					20	21
C/N	24	-	-					10	10

Tabel 4.2.e.

Kemisk sammensætning af affald; råkompost og milekompost, procent af tørstof. Forsøgsbetin-
gelser: KV1,5(y). (Uge 9 - 13).

Glødetab

Glødetab = indhold af organisk materiale, udtrykt som % af tørstof. Glødetabet (100-askeprocenten) beregnet udfra en foraskningsproces er værdifuld til kontrol og vurdering af omsætningsgraden af råkompost og færdig kompost.

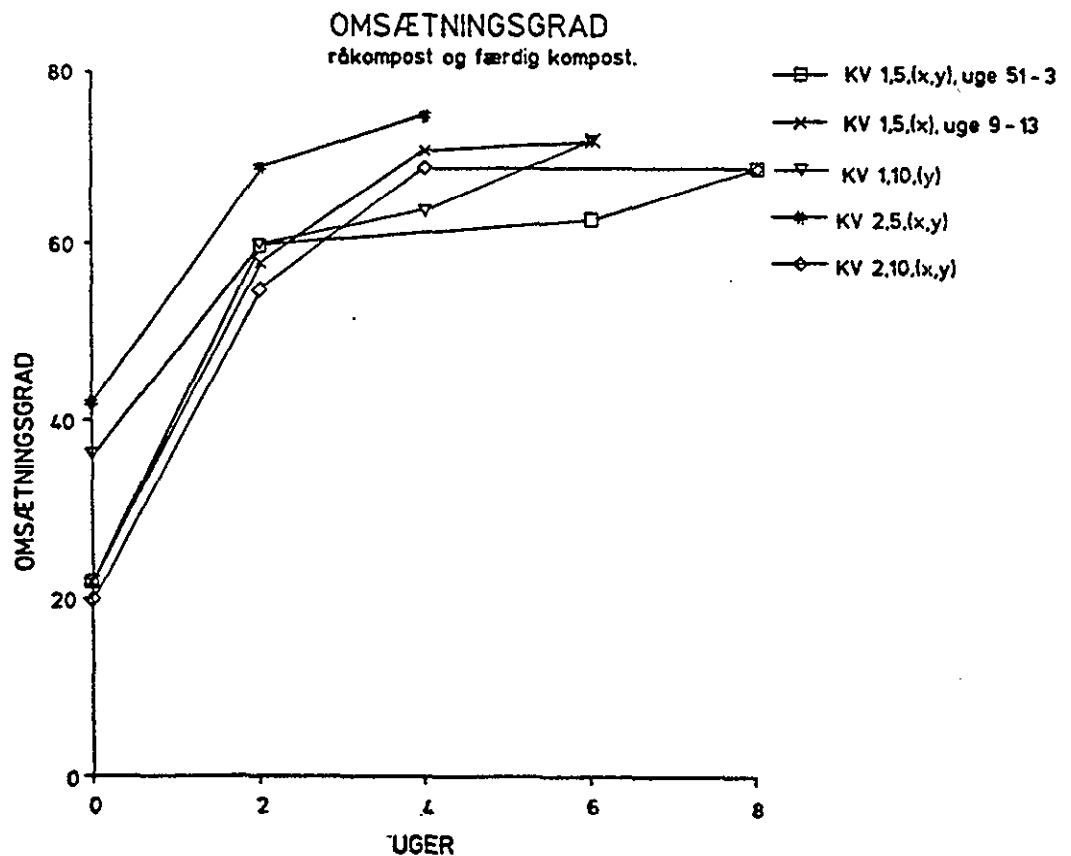
	Omsætningsgrad
KV1,5 (x,y), råkompost (uge 51-3)	22
2 uger	60
6 uger	63
8 uger	69
KV1,5 (y), råkompost (uge 9-13)	22
2 uger	58
4 uger	71
6 uger	72
KV1,10 (y), råkompost (uge 4-8)	36
2 uger	60
4 uger	64
6 uger	72
KV2,5 (x,y), råkompost (uge 39-49)	42
2 uger	69
4 uger	75
13 uger	75
KV2,10 (x,y), råkompost (uge 29-33)	20
2 uger	55
4 uger	69
7 uger	69
<u>Gennemsnit</u>	
Råkompost	28
2 uger	60
4 uger	72
6 uger	69
8-13 uger	71

Tabel 4.3.

Omsætningsgrad i råkompost og milekompost.

Omsætningsgraden i tabel 4.3 er beregnet som den procentdel af det organiske tørstof, der er blevet omsat i løbet af perioden, efter følgende formel:

$$\left[1 - \left(\frac{\text{VS\% i kompost}}{\text{VS\% i affald}} \times \frac{\text{Aske \% i affald}}{\text{Aske \% i kompost}} \right) \right] * 100$$



Figur 4.19.

Omsætningsgraden i råkompost og færdig kompost. 0 uger svarer til råkompost direkte fra KV-anlægget.

Som det ses af figur 4.19. var omsætningsgraden i råkomposten direkte fra KV-anlægget 20-40. Omsætningsgraden stiger til ca. 70 i den efterfølgende milekompostering.

Indholdet af organisk materiale var højt i udgangsmaterialet (affaldet) i forhold til f.eks. husdyrgødning. Ved en total formuldning (omdannelse til jord) forventes en fuldstændig omsætning, altså en omsætningsgrad på 100, men en sådan proces vil vare flere år. En omsætningsgrad på 70-75, hvilket her opnås i løbet af 2-8 uger, er tilfredsstillende for denne proces. Det vigtigste er, at omdannelsen af organisk materiale er igang, så vil processen også fortsætte under aerobe forhold og ved passende temperatur (5-60°C).

pH-værdi

Den pH-værdi som laboratoriet i Hornum fandt i affald og råkompost var overraskende lav, og en kontrolmåling i komposteringsteltet viste ca. 2 enheder højere.

Dette indikerer, at affaldets og råkompostens pH-værdi faldt i det tidsrum, der gik fra prøveudtagning på pladsen til analyse på laboratoriet i Jylland.

Den friske prøve blev transporteret i en lukket plastbeholder, og det er sandsynligt, at der startede en ensileringsproces, som bevirke-
kede, at der blev dannet organiske syrer i det anaerobe miljø. Efter uge 40 blev prøverne derfor frosset, inden de blev sendt til analyse.

pH-værdien steg generelt 1-2 enheder ved behandlingen i KV-anlægget og 1-2 enheder i milerne. Ialt steg pH fra ca. 5,5 i affaldet til ca. 8,5 efter hele komposteringsprocessen.

Der var en tendens til, at pH lå ca. 1/2 enhed højere i de passivt beluftede miler end i de aktivt beluftede. En pH-værdi på 8-9 i den færdige kompost er tilfredsstillende.

C og N-%

Indholdet af kulstof og kvælstof i udgangsmaterialet er i god overensstemmelse med andre undersøgelser.

Det indsamlede affald havde en gennemsnitlig kvælstofprocent på 2,1 og en kulstofprocent på 47, hvilket giver et C/N forhold på 22.

Iflg. en undersøgelse lavet af Elmlund et al., (1980) i parcelhuskvarterer i Gladsaxe, Odense m.m. består madaffald af 93% affald med vegetabilsk oprindelse og 7% affald med animalsk oprindelse.

Da vegetabilsk affald iflg. samme undersøgelse indeholder 1,9% N og animalsk affald indeholder 4,7% N, kan N%-en i det indsamlede madaffald beregnes til 2,1.

Hovsenius (1977) fandt i en undersøgelse, også foretaget i parcelhuskvarterer, en kulstofprocent på 44 i madaffald.

Elmlund et al (1980) fandt en N-% på 2,3 i madaffald og et C/N-forhold på 19.

C/N-forhold

Normalt anbefales iflg. LIK, 1988 for husdyrgødning, der skal komposteres, et C/N-forhold på 30 i udgangsmaterialet. En stor del af kvælstoffet findes i husdyrgødning på uorganisk form.

Ved et C/N forhold på under ca. 25 sker der en netto mineralisering, og ved et C/N forhold på over 25 sker der en netto immobilisering (Alexander 1927).

I husholdningsaffald er mængden af uorganisk kvælstof lille i forhold til f.eks. i husdyrgødning. Derfor er materialet sværere nedbrydeligt end det lave C/N-forhold umiddelbart tilkendegiver.

C %'en faldt gennem komposteringsprocessen, som følge af CO₂ fordampning og vandfordampningen (koncentrering af tørstof). Der skete fortsat fald efter 8 ugers milekompostering. Der var ingen tendens til forskel ved aktiv og passiv beluftning.

N-tab

Kvælstoftab fra affald/råkompost under komposteringsprocessen skete som NH₃ fordampning samt en meget lille frasivning af NO₃ gennem perkolat.

Ifølge analyserne steg kvælstofprocenten gennem komposteringsprocessen. Dette var dog kun en relativ stigning, da kvælstofindholdet blev bestemt som procent N i tørstof. Der skal altså korrigeres for ændringen i tørstofindhold, før det absolutte kvælstofindhold kan vurderes.

Hvis ikke der var fordampet NH_3 under komposteringsprocessen, skulle koncentrationen af kvælstof være steget lige så meget i forhold til tørstofindholdet, som askeprocenten stiger i forhold til tørstofindholdet. Det var imidlertid ikke tilfældet, hvorfor der reelt var tale om tab af kvælstof.

N% i affald: 2,15 aske% i affald : 8

N% i kompost: 3,2 aske% i kompost: 20

$2,15 \times 20/8 = 5,38\% \text{ N.}$

Der er altså tabt $\frac{(5,38 - 3,2)}{5,38} \times 100 = \underline{40\% \text{ N.}}$ ←

Forsøgsbetingelser	KV1,5 8 ugers kompost	KV1,5 6 ugers kompost	KV1,10 6 ugers kompost	KV2,5 2 ugers kompost	KV2,10 7 ugers kompost
	x y	x y	x y	x y	x y
N-tab i %	45 40	35 24	7 +16	43 48	54 53
heraf tab i KV-anlægget				24	20

Tabel 4.4.:
N-tab i %.

Som det ses i tabel 4.4., var N-tabet på 37-54% (der ses bort fra KV1,10) under komposteringsprocessen, med en svag tendens til at øges ved længere opbevaring i miler. Ca. halvdelen af tabet skete i KV-anlægget.

N-tab kan enten ske som NH_3 -fordampning eller i form af udvaskning gennem perkolatet fra såvel KV-anlæg som fra milerne. Der blev foretaget opsamling og analysering af perkolat både i form af drønvand og kondensvand fra KV-anlægget. I gennemsnit indeholdt perkolatet 1,6% aske og 810 mg N/l, og der blev opsamlet ca. 110 l/uge. De 110 l perkolat stammede fra ca. 1100 kg affald (incl. 5 eller 10 % halm), hvilket svarer til, at N-tabet gennem perkolatet var ca. 1% af det samlede kvælstofindhold i udgangsmaterialet. (8,1 mg N pr. kg affald incl. halm, som indeholder ca. 6,5 g N). N-tabet må altså fortrinsvis være sket ved NH_3 -fordampning. ←

C/N forholdet faldt fra gennemsnitligt 22 i affaldet til gennemsnitligt 12 i 6-8 uger gammel milekompost. Der var ingen tendens til forskelle på kompost fra aktivt og passivt beluftede miler.

Gødningsværdi

Den færdige kompost d.v.s., kompost der var forkomposteret i KV-anlæg og som havde efter modnet i miler i 6-8 uger, blev analyseret for N, P, K, ledningsværdi, og pH på samme måde som gartnerierhvervet analyserer sine gødninger og jordforbedringsmidler (værdital i stedet for procentværdier). Der henvises til "Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser", 1986. Resultatet er vist i tabel 4.5. Endvidere er der beregnet gennemsnit, spredning og spredning i procent af gennemsnit.

Konklusion

Det har ingen betydning for pH, Lv, Fv og Kv i den færdige kompost, hvilken af de 4 behandlinger (KV1,5; KV1,10; KV2,5; KV2,10), komposten har fået i KV-anlægget. Derimod har opholdstid og halmiblanding betydning for Nv (altså kvælstofindholdet) i den færdige kompost. Nv er højest, når komposten er iblandet 5% halm og har været i KV-anlægget i 2 uger.

Aktiv eller passiv beluftning af milerne havde ingen synlig eller målbar effekt for hverken pH, Lv, Kv, Fv eller Nv.

Prøve nr.	Forsøgsbet.	pH	Lv	Nv	Fv	Kv
G5	KV2,10,x	7,9	20,7	284	134	405
G6	KV2,10,y	8,1	20,9	264	132	416
G11	KV2,5,x	7,9	30,3	348	143	565
G12	KV2,5,y	7,9	24,2	340	133	459
G19	KV1,5,x	8,2	19,2	100	137	380
G20	KV1,5,y	8,1	20,3	74	141	417
G25	KV1,10,x	8,2	22,1	126	126	460
G26	KV1,10,y	8,2	21,5	162	126	451
G31	KV1,5,x	8,1	23,8	167	133	530
G32	KV1,5,y	8,2	22,0	160	134	496
Gennemsnit		8,08	22,5	*216,8	133,9	457,9
Spredning		0,13	3,13	*93,4	5,5	58,2
Spredning i % af gns.		2	14	*43	4	13
Mindste værdi		7,9	20,3	74	126	380
Største værdi		8,2	30,3	348	143	565

* G20 værdien er udeladt.

Tabel 4.5.

N, P, K, ledningsværdi og pH i færdig kompost, analyseret af Dansk Erhvervs Gartneriforeningslaboratorium.

Perkolat

Perkolat, som bestod af kondensvand og drænvand fra KV-anlægget, blev analyseret for næringsindhold, BOD₅ m.m. Resultaterne fremgår af tabel 4.6.

PRØVE NUMMER	K1	K2	D1	D2	B1	B2	B3	gns. excl B3	gns. incl B3
Opsamlingsuge	50	5	50	5	51	5	17		
TS g/l	2,9	3,3	4,1	4,0	4,2	3,5	4,9	3,7	3,8
aske g/l	1,1	1,3	1,6	1,7	1,5	1,8	2,4	1,5	1,6
pH	4,3	4,3	5,2	7,3	6,6	5,9	6,0	5,6	5,7
BOD ₅ , mg/l	1800	1750	1900	2050	1950	1650	3300	1850	2100
Ledningsevne 10 mS/cm	1,3	1,7	1,5	1,6	1,9	1,7	2,1	1,6	1,7
Total P mg/l	36	81	87	123	185	211	270	121	142
Total N mg/l	195	320	900	975	880	520	1870	632	809
Ammonium-N mg/l	130	220	680	680	670	320	1580	430	610

Tabel 4.6.

Næringsindhold m.m. i perkolat. K1 og K2 = kondensvand. D1 og D2 = drænvand. B1, B2 og B3 = blanding af kondens- og drænvand.

N-indhold

N-indholdet i perkolatprøverne var gennemsnitlig 600 mg/l = 0,6 g/l, når der ses bort fra prøve B3. Indholdet i B3-prøven var ca. 3 gange højere. Mængden af perkolat fra KV-anlægget var ca. 20-30 l/dag.

Hvis KV-anlægget kørte kontinuerligt hele året, ville det producere ca. 11.000 l perkolat med 0,6 g N/l. Til bortskaffelse af det kræves der, hvis der kun tages hensyn til N-belastning, 1/6 ha, der skal være bevokset i vækstsæsonen.

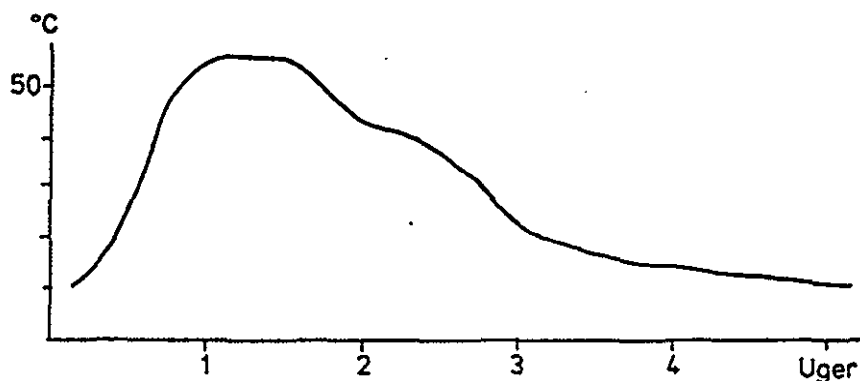
BOD₅

BOD₅ er et udtryk for, hvor meget ilt perkolatet ville forbruge ved udledning til f.eks. et vandløb. Niveaue i perkolatet fra KV-anlægget var på højde med mejeri- og slagterispildevand og lidt lavere end niveauet for spildevand fra konserverindustrier. Mejerier, slagterier og konserverindustrier udleder imidlertid store mængder spildevand. D.v.s., 1-8 m³ pr. t produkt, mens KV-anlægget producerede 100-200 l pr. uge.

Det er altså ikke kvælstofindholdet eller BOD₅-analyserne, der giver anledning til bekymring, men derimod snarere indholdet af tungmetaller i perkolatet, se afsnittet om tungmetaller.

Temperatur.

I komposteringssteltet blev affaldet omsat med det temperaturforløb, som netop karakteriserer al kompostering af organisk materiale. Figur 4.20 viser det almindelige temperaturforløb i en kompostbunke.



Figur 4.20.

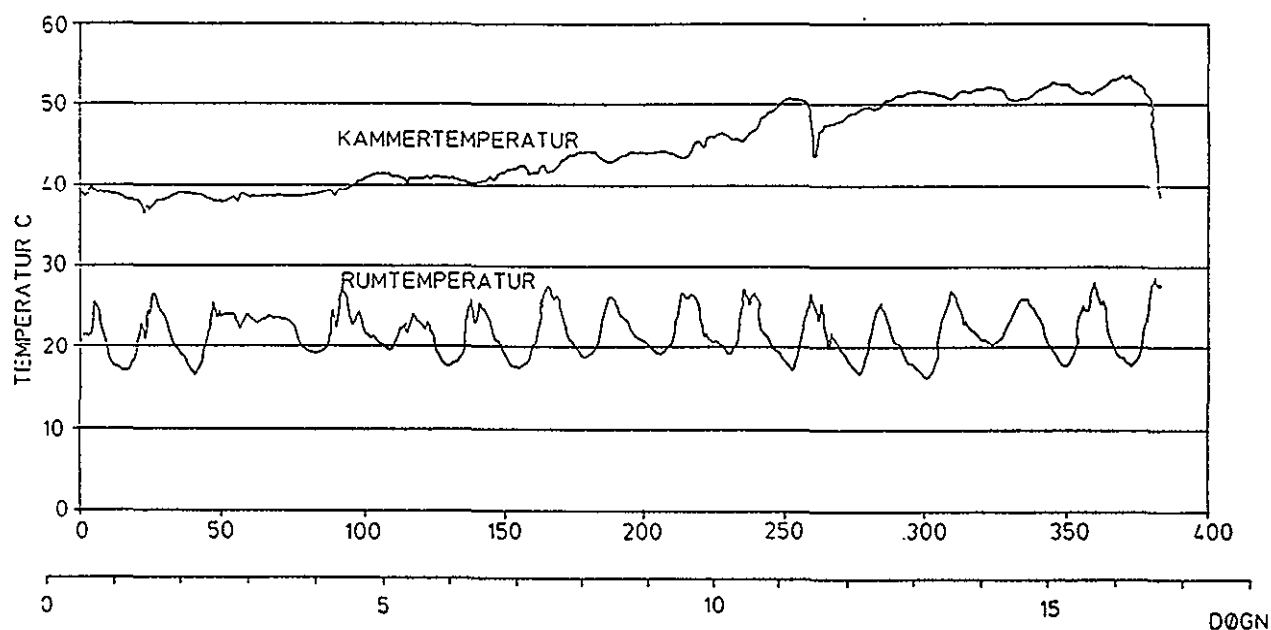
Temperaturudviklingen i en kompostbunke. Efter Landbrugets Informations Kontors kompostpjece, 1988.

KV-anlægget

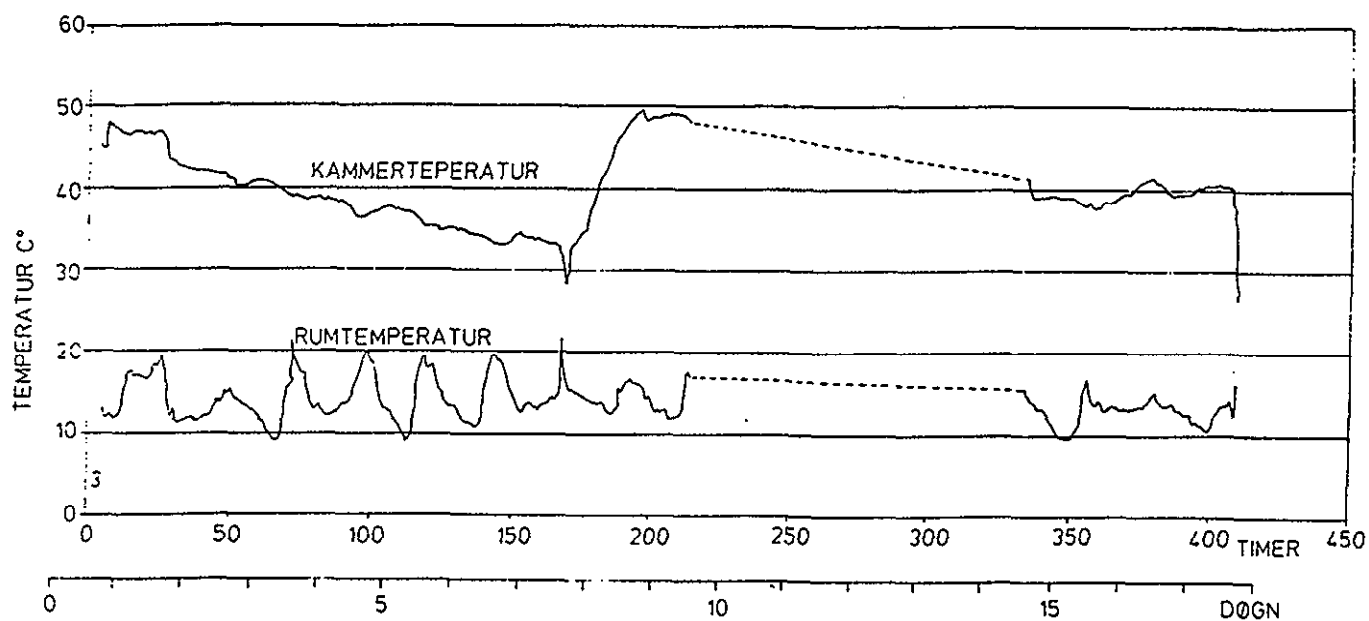
I de to første forsøgsled har kammertemperaturen i KV-anlægget ligget mellem 40 og 50°C. Kammertemperaturen er 5-10°C lavere end temperaturen i selve komposten. Det vil sige, at komposten har været 45-60°C, i enkelte perioder over 60°C. I de sidste to forsøgsled ligger komposttemperaturen mellem 40 og 50°C, ikke over 55°C.

Ifølge "Bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost til jordbrugsforhold" fremgår det, at kildesorteret affald kun må bruges ubegrænset (det vil sige til fortærbare afgrøder til dyr og mennesker) efter en kontrolleret hygiejnisering. Kontrolleret hygiejnisering består i "behandling i reaktor, som sikrer en temperatur på minimum 70°C i minimum 1 time". Dette kan ikke siges at være opnået i KV-anlægget.

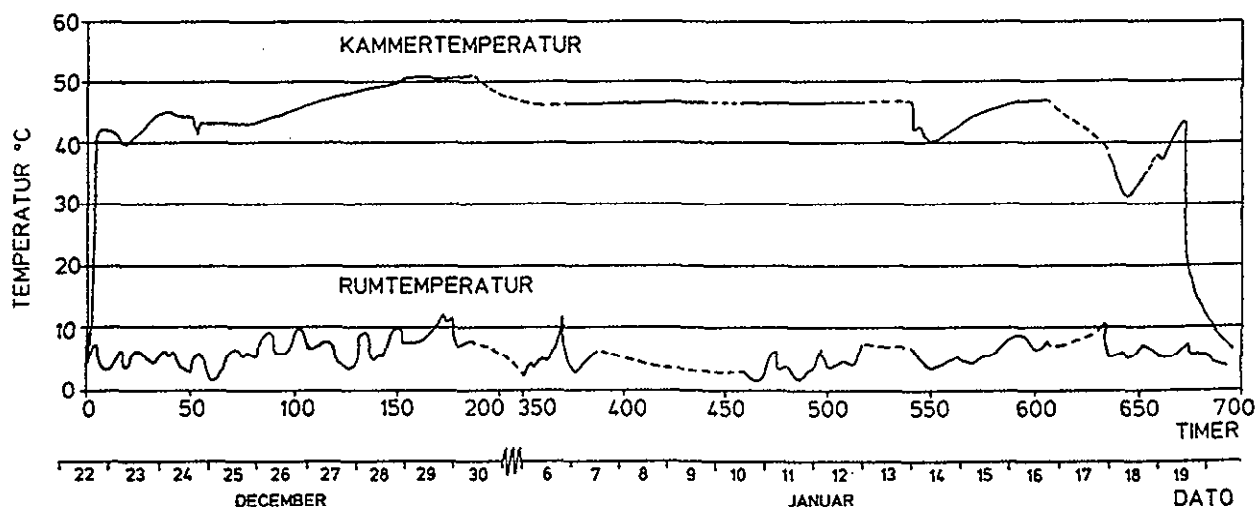
Kildesorteret affald må ifølge samme bekendtgørelse efter kontrolleret kompostering bruges i jord- og havebrug, dog ikke direkte i forærbare afgrøder. Ved kontrolleret kompostering forstås "kompostering med daglig temperaturmåling, således at alt materiale underkastes en temperatur på minimum 55°C i minimum 2 uger". Dette kan opnås ved 2 ugers kompostering i KV-anlægget.



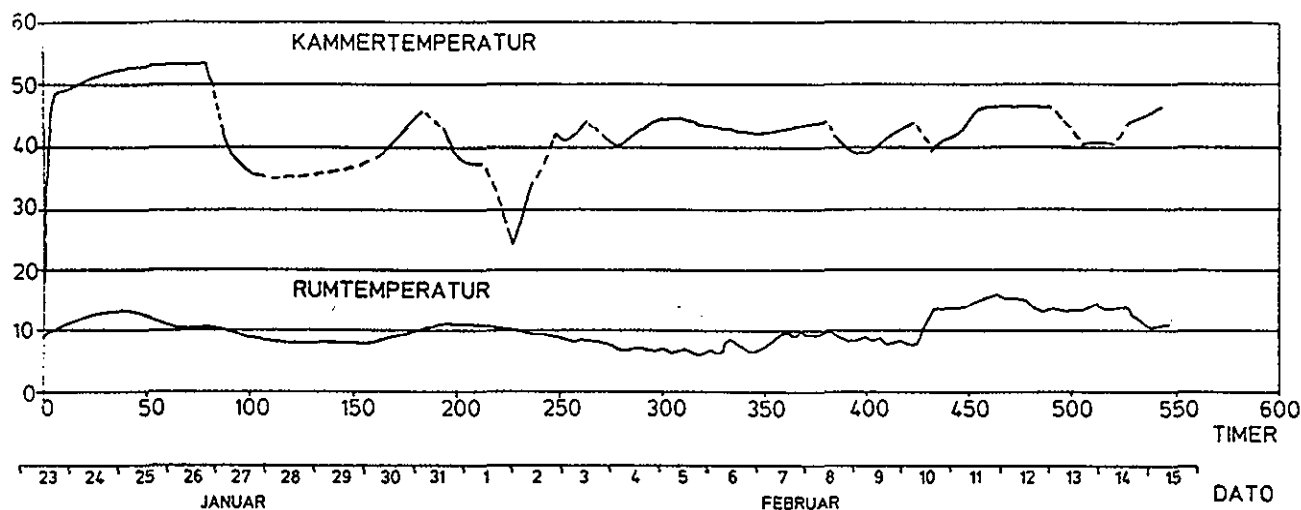
Figur 4.21.
Temperaturforløb i KV-anlægget 28/6 - 14/7,
med 2 ugers opholdstid og iblanding af 10%
halm.



Figur 4.22.
 Temperaturforløb i KV-anlægget 12/9 - 29/9,
 med 2 ugers opholdstid og iblanding af 5%
 halm.



Figur 4.23.
 Temperaturforløb i KV-anlægget 22.12.88-
 19.01.89 med 1 uges opholdstid og iblanding af
 10% halm.



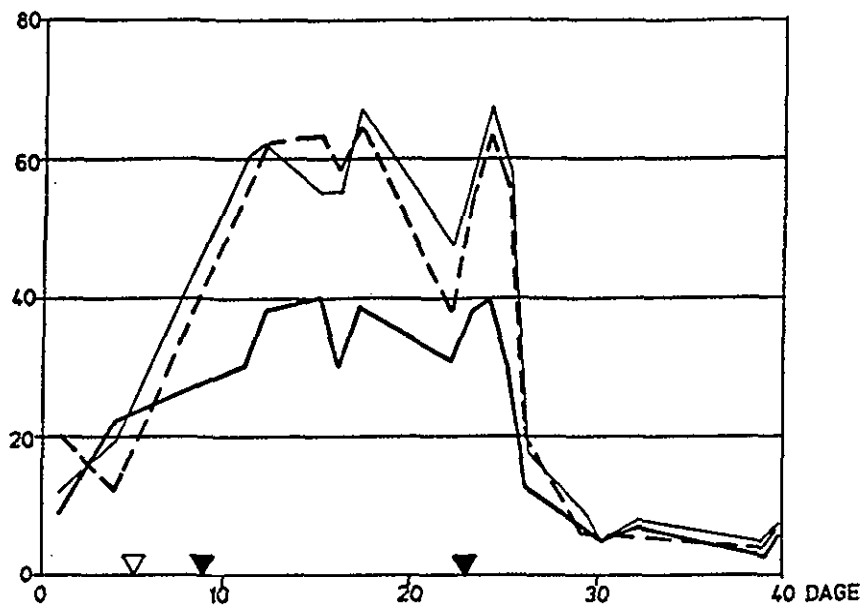
Figur 4.24.

Temperaturforløb i KV-anlægget 23.01.89-15.02.89 med 1 uges opholdstid og iblanding af 5% halm.

Eftermodningsmiler

Temperaturen i eftermodningsmilerne var i top og midte (se figur 4.25) også over 55°C, men kun i en enkelt periode i 7 dage i træk. Hygiejniseringskravet kan altså kun opfyldes ved hjælp af KV-anlægget, ikke i eftermodningsmilerne.

I eftermodningsmilernes bund var temperaturen ikke over 50°C. Tilsyneladende medførte aktiv beluftning af milene, at bundtemperaturen blev lavere sammenlignet med passiv beluftning.

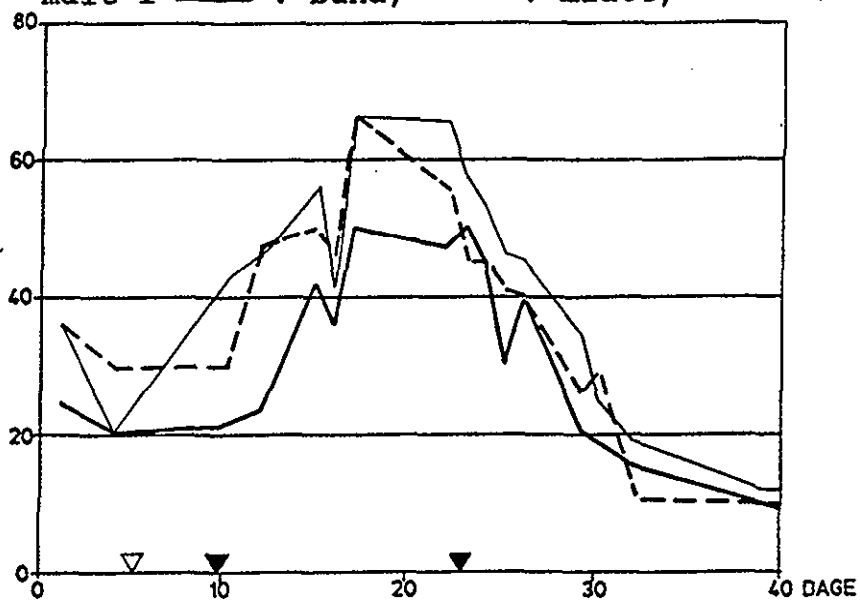


Figur 4.25.

Temperaturforløb i mile med aktiv beluftning.

▽: Vandet. ▼: Vandet og struktureret.

målt i — : bund, — — : midte, - - - : top.



Figur 4.26.

Temperaturforløb i mile med passiv beluftning.

▽: Vandet. ▼: Vandet og struktureret.

målt i — : bund, — — : midte, - - - : top.

KV-anlægget

Dissse iagttagelser peger i retning af følgende årsager til den utilstrækkelige temperaturstigning i KV-anlægget:

A) at fordelingen mellem uorganisk og organisk kvælstof i husholdningsaffald gør, at nedbrydningshastigheden er lav i starten af en kompostering.

B) varmetabet fra råkomposten i KV-anlægget er stort.

ad. A)

Hvis problemet er mangel på uorganisk N, kan det afhjælpes ved tilsætning af en for mikrofloraen letomsættelig kvælstofkilde, for at fremme omsætningen i den første fase. Derved sker kun en delvis kvælstofberigelse af den færdige kompost, idet en del af det tilsatte kvælstof bortgår som ammoniak, kvælstofoxider og frit kvælstof under komposteringen. Omsætningen af kulstofforbindelser overstiger dog omsætningen af kvælstofforbindelser, hvilket som regel medfører en stigning af N-%'en i tørstoffet under komposteringen.

ad. B)

Beregninger viste, at varmetabet fra råkomposten i KV-anlægget i visse situationer var så stort, at temperaturen ikke kunne stige til de ønskede 55°C.

Af de to nævnte mulige årsager til den uventede lave temperatur under forkomposteringen i KV-anlægget vurderes varmetabet at være den væsentligste.

Varmetabet er en sum af:

- energitab med indtag af frisk luft.
- energitab ved transmission.
- energitab ved recirkulation af luften.
- energitab med udmadet råkompost.

Varmeproduktionen stiger proportionalt med mængden af materiale (affald) i KV-anlægget.

Procestemperaturen bør således kunne øges ved at:

- øge mængden af affald pr. indmadning ved at udvide indsamlingsområdet.
- begrænse friskluftindtaget til et minimum.
- isolere recirkulationsrørene mest muligt.

O₂-konc.

Målinger af iltkoncentrationen i recirkulationsluften viste omkring 15% O₂, hvilket er ønskeligt. Ved denne iltkoncentration er der tilstrækkelig ilt til mikrofloraen.

4.5.3

Fysiske og mekaniske egenskaber ved affald og kompost.

Kompostens fysiske og mekaniske egenskaber er fremstillet i tabel 4.7.

Halmtil-sætning	5%				10%				Gennem-snit
Opholds-tid i KV-anlæg	1 uge		2 uger		1 uge		2 uger		
Beluft-ning af miler	Ak-tiv	Pas-siv	Ak-tiv	Pas-siv	Ak-tiv	Pas-siv	Ak-tiv	Pas-siv	
Massefylde kg/l	0,42	0,39	0,45	0,48	0,46	0,48	0,43	0,51	0,45
pH	8,1	8,5	8,5	8,6	8,8	8,7	8,2	7,0	8,3
Sand %	9	9	12	13	13	11	13	12	12
Plantetil-gængeligt vand, %	44	40	39	36	-	-	27	31	36
CEC mækv./100 g	205	219	207	194	172	179	210	211	200

Tabel 4.7.

Fysiske og mekaniske egenskaber ved milekompost på Amager.

De i tabel 4.7 opgivne tal for fysiske og mekaniske egenskaber er undersøgt på kompost, der har gennemgået en forkompostering i KV-anlægget og derefter ligget i miler i 6-8 uger.

Generelt ligner komposten fra de 4 forsøgsled hinanden meget, hvorfor der er beregnet et gennemsnit.

pH	En gennemsnitlig pH-værdi på ca. 8 er tilfredsstillende for kompost til dyrkningsformål. De fleste sphagnumtyper har en lavere pH-værdi, nemlig 3 - 5.
Massefylde	Den gennemsnitlige massefylde på 0,45 kg/l indikerer, at komposten var kompakt i forhold til f.eks. sphagnum, der har en massefylde på ca. 0,1. Den kompost, der fremstilles af kildesorteret husholdningsaffald og spildevandsslam på et lignende anlæg i Frederikssund (AFAV), har en massefylde på ca. 0,4 - 0,5, altså det samme, som komposten i dette forsøg. Massefylden af komposteret husdyrgødning svinger selvfølgelig meget med tørstofprocenten, men er ca. 0,8.
Sandprocent	Sandprocenten i komposten var høj i forhold til f.eks. sphagnum. Sphagnum indeholder maksimalt 5 % sand. Sandet i komposten kommer fra råstoffet (affaldet) og som "forurening" ved halmtilsætning.
Vand	Mængden af plantetilgængeligt vand er beregnet ud fra vand-retensionen ved pF (4,2) og pF (2,0). Se bilag 8. Gennemsnitlig kan 36 volumenprocent af komposten udgøres af vand, der er tilgængeligt for planterne. Til sammenligning kan nævnes, at grovsandet landbrugsjord kan indeholde 10-11% tilgængeligt vand, leret landbrugsjord ca. 23% og sphagnum ca. 38% tilgængeligt vand. Der var tendens til, at den vandholdende evne i komposten faldt med stigende halmtilsætning.
CEC	Indholdet af ombyttelige kationer (CEC) i komposten var gennemsnitligt 200 mækv./100 g. Almindelig dansk landbrugsjord har en ionbytningskapacitet på ca. 8-12 mækv./100 g. Ved tilførsel af f.eks. 20 t kompost pr. ha øges pløjelagets (20 cm) ionsbytningskapacitet med 10-15% eller med ca. én mækv./100 g jord (se bilag 7).

4.5.4

Massebalance under komposteringsforløbet.

Massebalance,
(friskvægt)

Følgende ligning viser massebalancen under komposteringen (friskvægt).

$$M_K + M_{O_2} = M_A - M_{CO_2} - M_D + M_L - M_S$$

M_K : masse af kompost

M_{O_2} : masse af optaget O_2

M_A : masse af affald

M_{CO_2} : masse af organisk materiale omdannet til CO_2 .

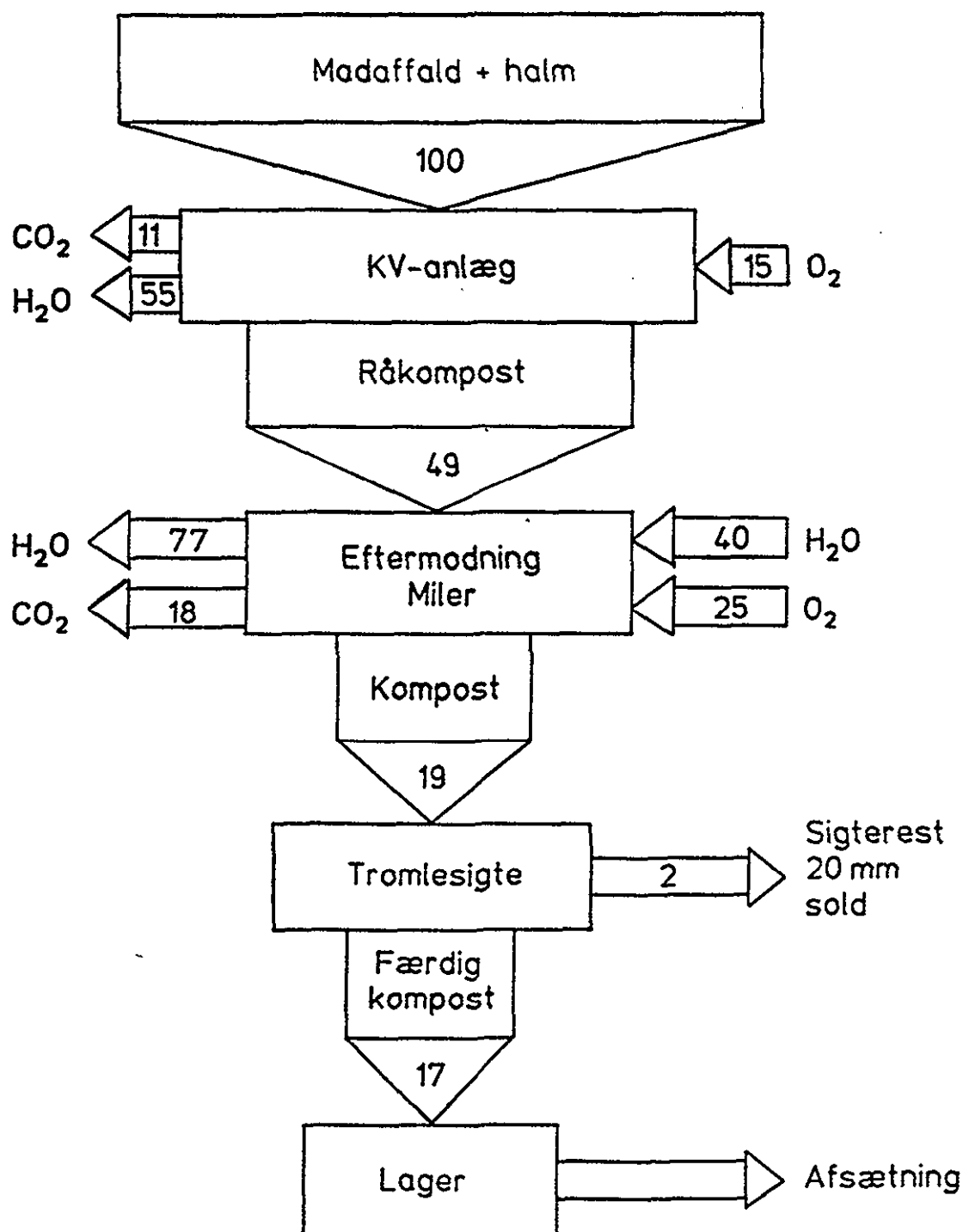
M_D : masse af fordampet materiale.

M_L : masse af tilført vand.

M_S : masse af sigterest.

Massebalancen igennem komposteringsanlægget er vist i figur 4.27.

På basis af friskvægt udgjorde den færdige kompost 17% af udgangsmaterialet og sigteresten efter 20 mm sold udgjorde kun 2% af det oprindelige madaffald iblandet halm.



Figur 4.27.

Massebalance for friskvægt under komposterin-gen. Værdierne er baseret på et gennemsnit for alle forsøgsløb i hele forsøgsperioden.

Massebalance,
tørstof

Massebalancen for tørstof under komposteringen
har følgende ligning:

$$M_K + M_{O_2} = M_A - M_{CO_2} - M_S$$

M_K : komposttørstof.

M_A : affalddtørstof.

M_{CO_2} : organisk tørstof omdannet til CO_2 .

M_S : sigteresttørstof.

Under nedbrydning af organisk materiale frigives kuldioxid og vand. Erfaringer viser, at der dannes ca. 0,6 kg H_2O og 1,6 kg CO_2 for hvert kg tørstof organisk materiale, der nedbrydes (Thostrup & Berthelsen, 1983). Samtidig fordamper der vand som følge af den høje temperatur.

Vand

I KV-anlægget recirkuleredes den vandmættede luft. Det vand, der kondenserede, opsamledes i en beholder, som var placeret udenfor KV-anlægget. Vandindholdet i råkomposten, når den kom ud af KV-anlægget, var kun ca. 7% lavere end vandindholdet i affaldet, hvilket skyldes det samlede tørstofftab under opholdet i KV-anlægget.

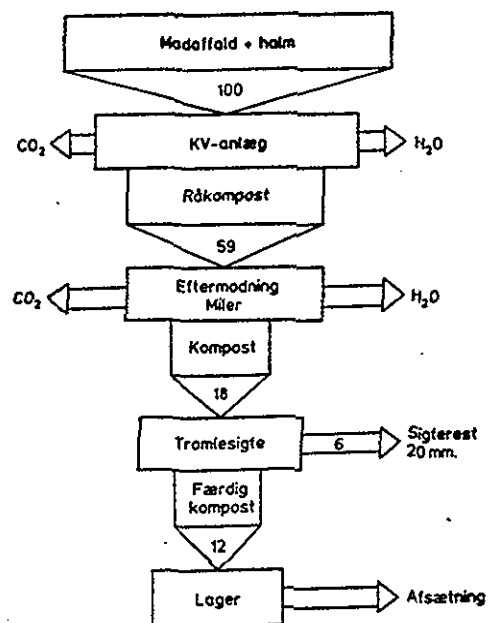
Fra kompostbunken på milepladsen fordampede vand, men under strukturering af milerne en gang om ugen tilførtes materialet vand. Endvidere var der ophængt vandingsrør med dyser over hver mile, som muliggjorde vanding efter behov. Disse viste sig dog at give et alt for stort vandspild, så i stedet blev der vandet med slange.

Massebalancen igennem komposteringsanlægget er vist i figur 4.28.

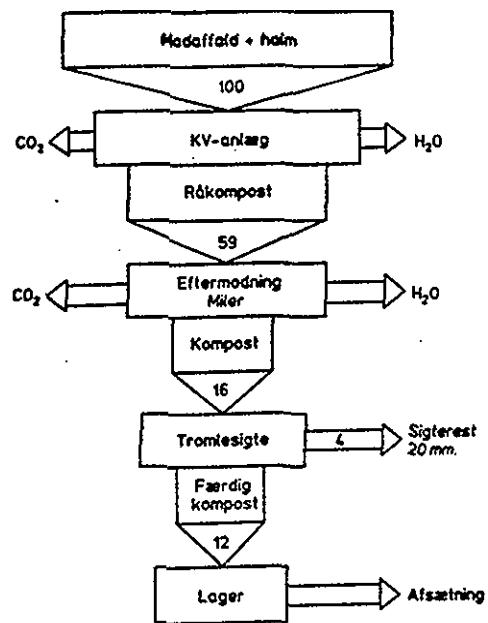
I slutfasen af komposteringen blev der ikke vandet, idet vandindholdet før sigtningen tilstræbtes at være lavt for at undgå kugledannelse under sigtningen.

Under komposteringsprocessen blev ialt optaget 40 kg O_2 , og der blev vandet med ca. 40 kg vand pr. 100 kg behandlet affald + halm. Samtidig bortgik ialt 29 kg CO_2 og 132 kg vand.

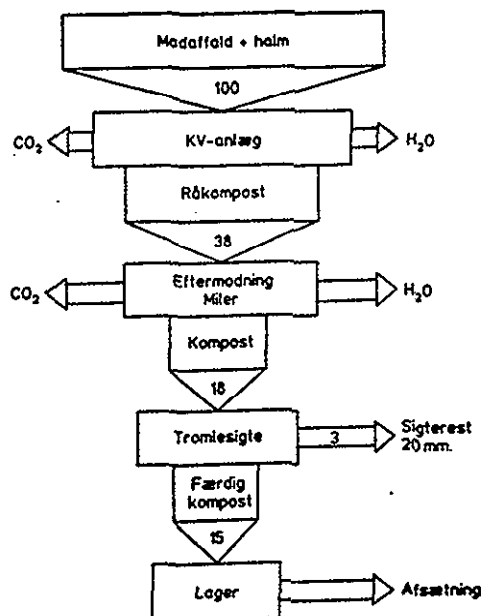
Tørstoftabet var tilsyneladende ikke påvirket af halmtilsætningen, se figur 4.28. Derimod var der tendens til, at 1 uges ophold gav mindre tørstoftab i forkomposteringen og større sigterest end 2 ugers opholdstid. Ligeledes var der en tendens til, at 2 ugers opholdstid gav større mængde færdig kompost end 1 uges opholdstid, samt selvfølgelig at 10% halmtilsætning gav større kompostmængde, end 5% tilsætning. Figur 4.29 viser et gennemsnit af massebalancen for de 4 forsøgsled (tørstof).



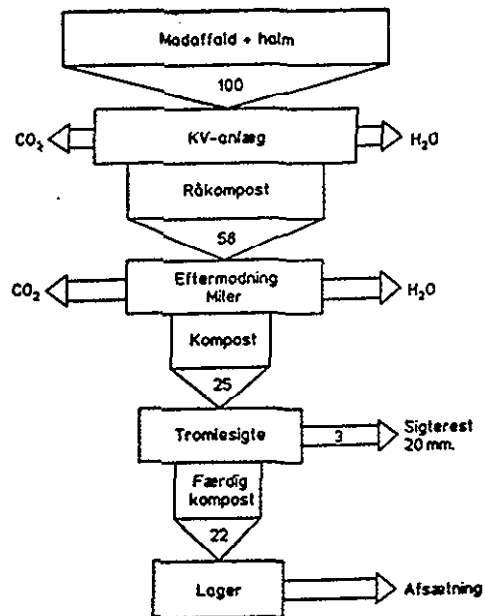
KV 1,5 (x, y), gennemsnit.



KV 1,10 (x, y), gennemsnit.



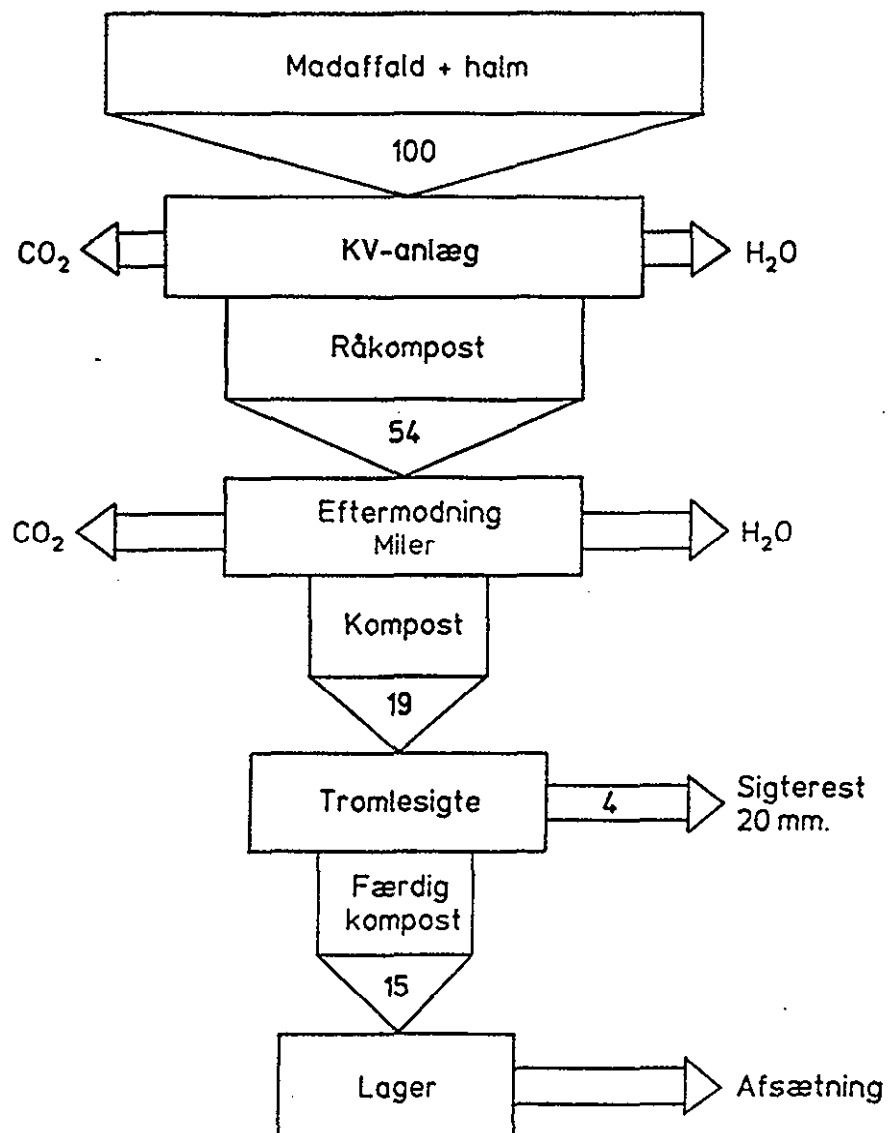
KV 2,5 (x, y), gennemsnit.



KV 2,10 (x, y), gennemsnit.

Figur 4.28.

Massebalance (tørstof) igennem komposterings-anlægget for de 4 forsøgsled.



Figur 4.29.

Massebalance (tørstof) igennem komposteringsanlægget. Gennemsnit af alle forsøgsled.

Tørstoffabet var under komposteringsforløbet ialt ca. 80, der var fordelt med 40 - 60% under forkomposteringen i KV-anlægget og 15 - 25% under eftermodningen på milerne. Tørstoffabet trin for trin er vist i tabel 4.9.

Tabel 4.9.

Summeret tørstoftab under kompostering af
madaffald iblandet halm.

	Affald + 5% halm	Affald + 10% halm
Efter ophold i KV-anlæg i 2 uger	51% +/- 22%	41% +/- 2%
Milekom- post i 6 uger	82% +/- 0%	79% +/- 24%

Tørstoftabet er her bestemt ud fra afvejninger og tørstofbestemmelser af affaldet, råkomposten og den færdige kompost.

Tørstoffet kan alternativt beregnes ud fra stigningen i tørstoffets askeprocent, idet denne stigning er et udtryk for tabet af organisk materiale.

Denne beregning forudsætter, at der ikke udvaskes næringsstoffer (aske) under komposteringsforløbet, og at askebestemmelsen er meget nøjagtig.

4.5.5

Kompostens modenhed.

Denne kompost betragtes som moden når:

- den er stabil, d.v.s.:
- den har været igennem den mesofile opvarmingsfase (1-2 døgn), den thermofile fase (domineret af aktinomyceter, 6-7 døgn) og afkølingsfasen (20 døgn).
- temperaturen er nede på omgivelsernes temperatur igen.
- der er sket en hygiejnisering (50-60°C i 3 dage, Golueke, 1983).
- den ikke indeholder vækstinhiberende stoffer
- germinationsindexet er over 85

Stabilitet er vurderet ud fra ændringer i indholdet af organisk tørstof (glødetabsbestemmelse).

Den mikrobielle aktivitet er bestemt udfra CO₂ - målinger.

Hvorvidt der er sket en tilfredsstillende hygiejniserings, er det svært at vurdere. Det gøres udfra hyppige temperaturmålinger, hvorved de forskellige faser også kan følges, samt gennem optælling af patogener og ukrudtsfrø.

Indholdet af vækstinhæberende stoffer (organiske syrer m.m.) er vurderet ud fra germinationsindexet, som er en spiringstest med kar-sefrø.

Glødetab

Det organiske indhold i komposten faldt i takt med modningen af komposten. Ifølge Wille (1988) falder det organiske indhold 20-25% i løbet af 40-50 ugers modning, hvorefter det stabiliserer sig.

I løbet af 5 - 10 uger var 15-20% af det oprindelige indhold af organisk tørstof i Amagerkomposten omsat i aktivt og passivt beluftede miler (efter KV-anlæg). Der var nogle steder tendens til stabilitet.

Respiration

Ved opsamling af CO₂ i base blev respirationen bestemt. Efterhånden som den mikrobielle aktivitet i komposten falder, og komposten bliver stabil, vil produktionen af CO₂ falde. CO₂ udtrykkes i mg CO₂/g tørstof og måles i 1 døgn.

Det kritiske ved denne målemetode er ilt-forholdene. Hvis ilt bliver den begrænsende faktor, vil CO₂ udviklingen blive hæmmet.

Målingerne på Amager-komposten svingede meget. I nogle tilfælde skete der øjensynligt en hæmning af den mikrobielle aktivitet i KV-anlægget. CO₂-produktionen steg derefter, for så igen at falde med tiden.

Reduktion i CO₂-produktionen, under de forskellige forsøgsbetingelser:

30%	1 uge, 5% halm, aktiv
43%	1 uge, 5% halm, passiv
37%	1 uge, 10% halm, aktiv
20%	1 uge, 10% halm, passiv
+10%	1 uge, 5% halm, aktiv
0%	1 uge, 5% halm, passiv
23%	2 uger, 5% halm, aktiv
33%	2 uger, 5% halm, passiv
17%	2 uger, 10% halm, aktiv
17%	2 uger, 10% halm, passiv

Temperaturfaser

Temperaturen i milerne forsøgsled KV2,5(x,y) fremgår af figur 4.25 og 4.26. Det ses, at opvarmningsfasen tog ca. 10 dage, hvilket var længere end forventet. Dette kan skyldes at bunkerne var for tørre, at bunkerne var for små og/eller at det lettest omsættelige materiale var blevet omdannet i KV-anlægget. I den termofile fase, der her varede ca. 15 dage, hvilket også var længere end beskrevet af Wille (1988), nåede temperaturen kun op på 45 til maksimalt 55°C.

Hvis temperaturen i komposten havde været oppe på 60°C i KV-anlægget, ville det ikke gøre noget, at den i milerne ikke kom helt derop. Dette var imidlertid kun tilfældet i enkelte perioder.

Afkølingen af den aktivt beluftede mile foregik ikke i nogen egentlig fase. Temperaturen faldt brat ca. 30°C fra den ene dag til den anden, ca. den 25. dag i perioden. Herefter faldt temperaturen kun yderligere et par grader, inden den nåede omgivelsernes temperatur. For den passivt beluftede mile skete afkølingen over 10-15 dage.

Generelt kan det siges, at den aktivt beluftede mile nåede højere temperaturer, og at den havde et mere "sikkert" forløb end den passivt beluftede mile. Til gengæld skete afkølingen af den aktivt beluftede mile "for hurtigt". Både den mesofile opvarmningsfase og den termofile fase varede i begge miler for lang tid.

Hygiejnisering

Der er ikke gennem temperaturstigning til 60°C eller derover sket en tilfredsstillende hygiejnisering.

Ukrudtsfrø

Der blev ved Institut for Landskabsplanter i begyndelsen af forsøgsperioden lavet en pilot-test for ukrudtsfrø, der var negativ. Da det heller ikke var forventet, at kompost af kil-desorteret husholdningsaffald skulle indeholde ukrudtsfrø, er der ikke lavet yderligere undersøgelser.

Patogener

Med hensyn til patogener i komposten blev der af Institut for veterinær mikrobiologi og hygiejne, Landbohøjskolen, lavet en enkelt analyse for totalkim, coliforme bakterier, fækale streptokokker, skimmel og salmonella på affald, råkompost og milekompost. Analyserne viste, at niveauet for disse bakterier og svampe ikke var højt. Det skal dog pointeres, at da analysen var enkeltstående, må den ikke tages som noget egentligt bevis for mængden af patogener i komposten. Skulle denne være belyst tilfredsstillende, burde der være udtaget 10-20 gange så mange prøver til analyse.

Spiringsforsøg

Germinations index = karse index =

$$\frac{(\% \text{ spirelængde i forhold til bl.pr.}) \times (\% \text{ spiring})}{\% \text{ spiring i bl.pr.}}$$

(bl.pr. = blindprøve = index 100)

Der blev kun udført karsetest og derfra beregnet germinationsindex på færdig kompost, d.v.s. kompost, der var behandlet i KV-anlægget i 1-2 uger og derefter havde ligget i eftermodningsmilen i 6-8 uger.

Germinations index skal ifølge Raffaldi et al., 1986 være over 85, for at komposten ikke indeholder inhiberende stoffer.

G.-index:

Forsøgsled:

72	1 uge, 5%, passiv
88	1 uge, 5%, aktiv
77	1 uge, 10%, passiv
57	1 uge, 10%, aktiv
33	1 uge, 5%, passiv
37	1 uge, 5%, aktiv
27	2 uger, 5%, passiv
27	2 uger, 5%, aktiv
62	2 uger, 10%, passiv
53	2 uger, 10%, aktiv

Forsøgsled KV1,5(x,y) blev gentaget, men der ses meget afvigende germinationsindex. Årsagen til dette er ukendt.

Komposten var ikke moden ifølge denne test. Det vil sige, at komposten ifølge denne test skulle have ligget længere i eftermodningsmiler, før den var velegnet til dyrkningsformål.

4.5.6

Tungmetalindhold i affald og kompost.

Der foreligger i dag ingen standardisering for prøveudtagning og kemisk metode til bestemmelse af tungmetalindholdet i affald og kompost. Dette medfører mulighed for store afvigelser i analyseresultater fra forskellige kildesorteringsforsøg i ind- og udland og forskellige laboratorier imellem.

Prøve- og analysesikkerhed

Den manglende standardisering betyder, at der i dette projekt blev foretaget en kvalitetssikring med henblik på at udtage repræsentative prøver, og dermed mindske usikkerheden på resultatet.

Kvalitetssikringen skete gennem en statistisk belysning af sikkerheden i stikprøveudtagningen, laboratorieprøveudtagningen og analyseprøven, se bilag 2.

Affald, kompost, sigterest og perkolat blev analyseret for indhold af bly (Pb), cadmium (Cd), kviksølv (Hg), arsen (As), nikkel (Ni), kobber (Cu) og chrom (Cr).

Usikkerheden ved udtagning af en affaldsprøve var størst i udtagningen af stikprøven, idet den relative spredning (den statistiske spredning udtrykt i procent af middeltallet) lå på 104% og 30% for henholdsvis Pb og Hg i affaldet.

Ved udtagning af laboratorieprøven var den relative spredning for Pb og Hg henholdsvis 27% og 23%, og endelig var den relative spredning for analyseprøven henholdsvis 8% og 14% for de to metaller.

Der er en klar tendens til, at jo flere og mindre portioner prøveudtagningen består af, des større bliver sikkerheden af resultatet.

For cadmium var den relative spredning i størrelsesordenen 31-43% i de tre prøveudtagningsled.

I den færdige kompost var usikkerheden ved prøveudtagningen mindre.

Kildesortering

Kildesortering af husholdningsaffald gav et godt grundlag for en kompost med et lavt niveau af tungmetaller. Det skyldes at materiale, der indeholder meget tungmetal, ikke bør forekomme i den grønne affaldsfraktion.

Affaldets tungmetalindhold.

Kompostens kvalitet er helt afhængig af tungmetalniveauet, idet anvendelsesmulighederne for den færdige kompost er tæt knyttet til tungmetalindholdet.

Sorteringsgrad

Tungmetalkoncentrationen var lav i affaldet fra forsøgsområdet, se tabel 4.10. Dette viser, at der var få fejlsorteringer.

	Prøveudtagningsdato											Gen- nem- snit	Gen- nem- snit *
	1/6 α	8/6	22/6 α	29/6 α	27/7	3/8	17/8	7/9	14/9	23/11			
Pb	266	12,3	10,2	19,2	5,7	2,7	3,2	7,6	6,7	2,6	20,5	6,1	
Cd	0,67	0,07	0,08	0,10	0,11	0,24	0,13	0,09	0,07	0,08	0,13	0,10	
Hg	0,34	0,07	0,07	0,08	0,10	0,20	0,11	0,1	0	0,1	0,1	0,1	
As	0,22	0,4	0,5	0,6	0,4	0,9	0,4	-	-	-	0,5	0,5	
Ni	30	0,69	0,68	0,82	1,21	1,71	1,88	-	-	-	5,6	1,2	
Cu	104	12,1	16,0	15,4	14,1	9,6	16,3	-	-	-	27,6	13,6	
Cr	81	0,61	0,39	0,34	2,6	3,7	2,6	-	-	-	14,2	1,7	
As- ke%	10,4	9,8	12,1	9,7	9,9	11,2	11,5	11,8	11,7	9,0	10,3	10,3	

* Prøve fra 1/6 ikke medtaget, idet den indholdt en ølkapsel.
α gennemsnit af flere prøver.

Tabel 4.10.

Tungmetalindholdet i det indsamlede affald (mg/kg tørstof).

Enkeltresultater samt prøveudtagnings- og analyseusikkerheden findes i bilag 2.

Det meget høje tungmetalniveau den 2/6 tillægges en uheldig prøveudtagning. Fra laboratoriets side er det oplyst, at der bl.a. medgik en ølkapsel under formalingen af prøven. Derfor er denne prøve ikke medtaget ved udregning af det gennemsnitlige tungmetalindhold i affaldet.

Tidligere
analyser

Det lave indhold af tungmetaller i affaldet er i overensstemmelse med tidligere analyser af madaffald, se tabel 4.11.

	Pb	Cd	Hg
	mg/kg TS = ppm		
Elmlund et al. (1979)	0,63-17,7	0,13-0,75	0,10-1,72
Hovsenius (1977)			
vegetabilsk	11-36	0,20-0,85	0,05-0,08
animalsk	1,5-12,0	0,06-0,75	0,05-0,17
Nelleman (1985)	16,3	<0,084	<0,04

Tabel 4.11.

Indhold af Cd, Hg og Pb i madaffald fundet i en række undersøgelser (efter Hoffman et al 1988).

Hoffman et al angiver tungmetalindholdet i dansk normalcost til at være 0,05 ppm Cd, 0,01 ppm Hg og 0,13 ppm Pb.

Mængdefordelingen af bly, kviksølv og cadmium i madaffald er iflg. Elmlund et al, 1980 henholdsvis 96,6; 76,1 og 92,5% i det vegetabiliske affald og 3,4, 23,9 og 7,5% i det animalske affald.

En svensk undersøgelse (Hovsenius 1977) viser, at det særligt er metaller, plast og papir/pap, der bidrager til tungmetalindhold i usorteret husholdningsaffald, se tabel 4.12.

Fejlsortering

Opgørelsen er medtaget for at give et billede af, hvilke fraktioner der ved en fejlsortering i et kildesorteringssystem vil bidrage med den største tungmetalforurening i affaldet.

Bly stammer særlig fra øldåser (8727 ppm), konserverdåser (4681 ppm), øvrige metaller (1059 ppm), PVC-plast (322 ppm), pergamentpapir (278 ppm) samt gummi/læder (381 ppm) (Hovsenius 1977).

Cadmium findes i særlig høje koncentrationer i metaller som konserverdåser, øldåser og tuber (113,7 ppm), PVC-plast (34,3 ppm), gummi og læder (26 ppm) (Hovsenius 1977).

Fraktion	Metal								
	Pb	Cd	Hg	Ni	Cu	Cr	Co	Zn	Mn
Plast	5	26	10	1	2	5	1	1	1
Papir/pap	3	4	13	3	11	7	5	11	18
Animalske materialer	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Vegetabiliske materialer	2	2	6	3	3	2	1	4	4
Tekstiler	1	1	4	1	2	1	1	1	1
Gummi og læder	2	4	3	1	1	42	1	9	1
Metaller	85	60	60	87	22	43	88	68	74
Ikke brændbart excl. metaller & glas	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sigterest (10 mm)	3	2	2	5	62	2	3	5	3

Tabel 4.12.

Forskellige fraktioners procentvise tungmetalbidrag i usorteret husholdningsaffald (Hovsenius 1977).

Kviksølv findes i høje niveauer i gummi/læder (6,5 ppm) og øvrige metaller som konserverdåser, øldåser og tuber (8,0 ppm) (Hovsenius 1977).

Fejlsortering af affaldet med disse affaldsfraktioner vil derfor være særligt medvirkende til et uacceptabelt højt tungmetalindhold i affaldet og komposten.

Kompostens tungmetalindhold.

Som det ses af tabel 4.13 og 4.14 lå Amagerkompostens tungmetalindhold for de fire tungmetaller Pb, Cd, Hg og Ni, der normalt underkastes de største restriktioner, tydeligt under de godkendte grænsevarier i Miljøstyrelsens tilladelse til AFAV-kompost (§11-tilladelse, Miljøstyrelsen 1988). Indholdet af Ni, Cu og Cr var til gengæld relativt højt, men kun Cr oversteg AFAV's tilladelse.

	KV2,10* (x,y)	KV2,5* (x,y)	KV1,5* (x,y)	KV1,10* (x,y)	gns.
Aske%	26,2	26,7	24,5	27,9	26,3
Pb	31,1	24,2	10,7	19,0	23,2
Cd	0,34	0,29	0,43	0,30	0,34
Hg	0,18	0,15	0,22	0,28	0,20
As	0,8	0,4	1,9	2,1	1,4
Cr	39,74	37,5	79,5	18,15	42,9
Ni	9,48	9,4	11,05	7,9	9,46
Cu	48,8	33,5	29,3	40,5	40,2

* gennemsnit af flere prøver

Tabel 4.13.

Tungmetalindhold i Amagerkompost, mg/kg tør stof.

Miljøstyrelsens
grænseværdier

I "Bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost til jordbrugsformål" har Miljøstyrelsen fastsat følgende grænseværdier for tungmetalindholdet i kompost, gældende fra 1990 til 1995:

Mg pr. kg tørstof (ppm):

Bly 120*

Kviksølv 1,2

Cadmium 1,2

Nikkel 45

* for privat havebrug dog kun 80 ppm.

Amagerkomposten indeholdt fra 1 til 18% af de tilladte mængder (for bly 26%, hvis komposten skal anvendes i private haver).

Efter 1995 skærpes grænseværdierne til:

Mg pr. kg tørstof (ppm):

Bly 120*

Kviksølv 0,8

Cadmium 0,8

Nikkel 30

* for private havebrug dog kun 60 mg.

Efter disse grænseværdier indeholdt Amagerkomposten fra 2 til 18% af de tilladte mængder (for bly 35%, hvis komposten skal anvendes i private haver).

	Gennemsnit af aktiv og passiv beluftning på mile	Grænseværdier for Miljøstyrelsens tilladelse til AFAV	Kvæg/svinegylle Håndb. f. driftspl.
Pb	23	120	4 (K)
Cd	0,3	0,8	0,7 (S)
Hg	0,2	0,8	
As	1	25	
Cr	43	20*	12 (S)
Ni	9	10*	15 (S)
Cu	40	50*	
aske-%	26,3		

* AFAV-kompostens forventede værdier, som Miljøstyrelsens §11-tilladelse bygger på.

(K) Kvæggylle

(S) Svinegylle

Tabel 4.14.

Tungmetalindhold i færdig kompost, mg/kg tørstof.

Til sammenligning er i tabel 4.14 anført Pb, Cd, Cr og Ni indholdet i kvæg- og svinegylle (Håndbog for plantedyrkning, 1989). Gylle spredes på landbrugsjord i mængder på op til 100 t/ha. Ved en tørstofprocent i gyllen på 8 betyder det f.eks., at der spredes 34 g Pb pr. ha med almindelig kvæggylle. Den samme Pb til- deling ville fås ved spredning af 5 t Amagerkompost pr. ha.

Andre ind- og udenlandske erfaringer

Erfaringer med indholdet af tungmetaller i kildesorteret kompost varierer meget. Til sammenligning er i tabel 4.15 medtaget en række resultater fra ind- og udland.

En direkte sammenligning mellem de forskellige landes resultater skal tages med forbehold overfor forskellige indsamlingssystemer, kompostalder, prøveudtagnings- og analysemetoder.

Tung-metal	Eslöv & Höör Sverige	AFAV*1	Göttin-gen*2	Witzen-hausen*3	Amager 1988
Pb	271	110	104	114	23
Cd	1,5	0,6	0,4	0,9	0,3
Hg	1,3	0,71	0,14	—	0,2
As	—	14,2	—	—	1
Cr	42	21,3	47	55	43
Ni	34	9,7	18	41	9
Cu	210	67	29	40	40
Co	3,3	2,3	—	—	—
Mn	475	—	—	—	—
Zn	835	330	213	317	—

*1: gennemsnit af 10 prøveudtagninger for Pb og Cd, resten kun én prøveudtagning.

*2: gennemsnit af 5 prøveudtagninger (alder 4 - 10 måneder.)

*3: gennemsnit over årene 1983, 1984 og 1985, Cr dog kun i 1984 og 1985.

Tabel 4.15.

Tungmetalindhold i kompost af kildesorteret husholdningsaffald. (mg/kg TS).

Det skal bemærkes, at tungmetalkoncentrationerne er opgivet på basis af tørstofindholdet.

Tungmetalindholdet i tørstoffet vil alt andet lige være stigende med kompostalderen, idet der bortgår tørstof som kuldioxid og vand, mens mængden af tungmetaller er konstant.

Tungmetalindholdet i kompost kan istedet re-
lateres til askeindholdet, da asken mængdemæ-
sigt er konstant under nedbrydningen af det
organiske materiale.

Sigterestens tungmetalindhold.

Sigterestens tungmetalindhold fremgår af tabel
4.16.

Forsøg	KV2,10 * (x)	KV2,10 α (y)	KV2,10 * (x)	KV2,10 α (y)	gns.	gns.
Soldst. mm	10	10	20	20	10	20
Pb	67,5	48,7	88,0	85,4	56	86
Cd	0,65	0,36	0,72	0,43	0,4	0,5
Hg	0,15	0,22	0,16	0,27	0,2	0,2
As	1,2	1,2	1,1	1,9	1	2
Cr	9,4	23,3	9,1	37,9	16	32
Ni	4,7	8,9	5,3	15,8	7	14
Cu	58,9	47,5	21,3	92,7	53	78
Aske%	33,6	37,4	33,6	37,4	40	40

α bygger på gennemsnit af flere værdier

* enkelte analyser

Tabel 4.16.

Tungmetalindhold i sigterest, ppm i tørstof.

Konklusion

Ud fra det samlede analysemateriale kan følg-
ende beregnes:

Nedenfor er angivet den færdige komposts gen-
nemsnitlige indhold af tungmetaller med an-
givelse af gennemsnitlig standardafvigelse i %
af gennemsnit:

23 ppm Pb $\pm$ 37%
0,3 ppm Cd $\pm$ 18%
0,2 ppm Hg $\pm$ 32%

43 ppm Cr $\pm$ 11%
9 ppm Ni $\pm$ 10%
40 ppm Cu $\pm$ 8%
1 ppm As $\pm$ 14%

Sigteresten efter 10 mm sold indeholdt gennemsnitligt:

56 ppm Pb $\pm$ 41%	16 ppm Cr
0,4 ppm Cd $\pm$ 14%	7 ppm Ni
0,2 ppm Hg $\pm$ 25%	53 ppm Cu
	1 ppm As

Sigteresten efter 20 mm sold indeholdt gennemsnitligt:

86 ppm Pb $\pm$ 10%	32 ppm Cr
0,5 ppm Cd $\pm$ 12%	14 ppm Ni
0,2 ppm Hg $\pm$ 9%	78 ppm Cu
	2 ppm As

Indholdet af cadmium og kviksølv var ikke signifikant forskelligt for kompost og sigterest. Der kan altså ikke med sikkerhed siges at fjernes cadmium og kviksølv gennem sigtning af komposten. Blyindholdet derimod ser ud til at være signifikant større i sigteresten efter 20 mm sold, men ikke efter 10 mm sold. En sigtning kan altså i nogle tilfælde sænke blyindholdet i den færdige kompost. Dette dog mere afhængigt af blyindholdet fra start, end af soldstørrelsen. Blyindholdet er sandsynligvis knyttet til de større partikler i affald/kompost.

Perkolatets tungmetalindhold.

Der blev opsamlet drænvand og kondensvand fra KV-anlægget. Tungmetalindholdet i perkolatet fremgår af tabel 4.17.

Metal	Kondensvand *1	Drænvand *2	K + D *3
Pb, mg/l	0,04	0,02	0,3
Cd, µg/l	0,6	0,7	5,5
Hg, µg/l	under 0,5	under 0,5	under 1
As, µg/l	2	-	2,8
Cr, µg/l	9	-	56
Ni, µg/l	1	-	11
Cu, µg/l	-	9	75
Aske, g/l	1,2	1,7	1,9

*1 gennemsnit af 2 prøver fra uge 50 og uge 3

*2 resultater af en prøve fra uge 5

*3 resultater af en prøve, der bestod af en blanding af kondensvand og drænvand fra uge 17.

Tabel 4.17.

Tungmetal- og askeindhold i perkolat.

Som det fremgår af tabellen svingede tungmetalindholdet i perkolatet meget. Dette beror på dårlig og uensartet prøveudtagning, som betyder, at tallene kun giver et udtryk for niveauet af tungmetalindholdet. Det kan ikke udfra disse prøver med sikkerhed fastslås hvor meget tungmetal, der hverken bortføres fra komposten eller eventuelt udledes med perkolat.

Regnormekompostering.

Der blev udført 2 forsøg med kompostering ved hjælp af regnorme. I det første forsøg blev ormene fodret med frisk affald, hakket affald og råkompost i 2 fodringsniveauer. I det andet forsøg blev ormene kun fodret med råkompost i 3 fodringsniveauer.

4.6.1

Kemiske analyser.

Der er kun lavet kemiske analyser på ormekompost fra første forsøg. Andet forsøg med 3 fodringsniveauer for råkompost blev bedømt visuelt/subjektivt. Der blev endvidere foretaget en optælling og vejning af orme og kompost ved afslutningen af begge forsøg. Resultaterne af de kemiske analyser fremgår af tabel 4.18.

Materiale fodrings- mængde i kg/uge	Råkom- post β	Regnormekompost fremstillet af									
		Hakket affald			affald		råkomp.		råkomp.		
		20	20*	40	20	40	10	10 α	20	20 α	
Tørstof-%	39	26	27	30	33	34	30	32	29	32	
Aske-%	13	53	55	49	65	37	40	54	65	40	
pH, frisk	7,0	7,8	8,3	7,9	7,3	7,8	8,8	8,3	8,8	8,3	
Lt, ms/cm	3,2	1,8	2,1	2,1	1,9	1,6	2,4	2,3	3,0	2,8	
C-%	45,3	28,3	24,9	27,9	18,2	19,8	31,4	24,3	35,5	33,7	
N-%	2,32	2,00	1,99	2,17	1,51	1,39	2,63	1,85	3,16	2,51	
heraf:											
NO ₃ -N, ppm	-	20,5	12,5	26,7	13,6	8,8	23,7	76,8	29,3	57,6	
NH ₄ -N, ppm	-	1,3	1,6	7,3	3,0	2,4	5,2	9,6	4,1	14,6	
P-%	0,74	0,77	0,96	0,74	0,41	0,44	0,66	0,63	0,75	0,78	
K-%	0,74	0,81	0,88	0,84	0,61	0,64	1,02	1,02	1,46	1,47	
Mg-%	-	0,18	0,21	0,17	0,15	0,16	0,17	0,22	0,18	0,23	
Ca-%	-	2,27	3,02	2,34	1,31	1,44	2,42	2,14	2,85	2,74	
Na-%	0,28	0,23	0,27	0,25	0,19	0,16	0,40	0,37	0,56	0,58	
C/N	20	14	13	13	12	14	12	13	11	13	

β gennemsnit i perioden uge 33 - 41 = fodringsuger.

* udtaget 6 uger senere

α udtaget 4 uger senere

Tabel 4.18

Kemisk sammensætning af råkompost og ormekompost, procent af tørstof. Analyserne er baseret på prøver, der er udtaget efter 6-8 ugers eftermodning i regnormebænkene.

Tørstof

Ved fodring af ormene med frisk affald, steg tørstofindholdet i komposten lidt ved begge fodringsniveauer: fra 31% i det friske affald til 33 - 34 % i komposten. Ved fodring med hakket affald faldt tørstofprocenten, lige som den gjorde ved fodring med råkompost.

Generelt var der en god omsætning af det rå affald, en dårligere omsætning af råkomposten og en meget dårlig omsætning i det hakkede affald.

Det hakkede affald var klægt og klasket og ikke let at gå til for ormene. Ormene "syntes bedst om" det rå affald, ifølge udtalelse fra dem, som passede forsøget.

Ved milekomposteringen steg tørstofprocenten til omkring 40 - 50%. Forklaringen på, at det ikke sket i ormekomposteringen, er den lave temperatur i bænke enten på grund af for vådt udgangsmateriale, for meget vanding eller for lille omsætning i bænke.

Aske %

Askeprocenten steg voldsomt i regnormebænke i forhold til udgangsmaterialet. Dette må tillægges podematerialet, som bestod af gødning, halm og orme - og så sikkert en del sand. Der ses nemlig et stort sandindhold i analyserne. Omsætningen af det organiske materiale kan derfor dårligt beregnes ud fra askeprocenten.

Det er altså svært at angive noget præcist om ormenes evne til at omsætte materialet. Bedømmelsen kan kun bygge på subjektive iagttagelser samt optælling og vejning af orme og kokoner.

pH

pH steg i alle forsøgsled, selv i det klæge, hakkede affald. Dette tyder altså på en vis omsætning, enten ved hjælp af ormene eller en almindelig aerob komposteringsproces.

Lt

Ledningstallet i ormekomposten var lavt og tilfredsstillende til plantedyrkning.

C/N og næringsstoffer

C/N forholdet og indholdet af næringsstoffer (N, P, K, Mg, Ca og Na) var i samme størrelsesorden som i milekomposten, se tabel 4.18 i sammenligning med tabel 4.2.a-e.

4.6.2

Fysiske og mekaniske egenskaber.

Volumenvægt

Volumenvægten for regnormekomposten efter ca. 6 ugers kompostering var lavere end både volumen vægt for kompost lige efter KV-anlægget og volumenvægten for milekomposten.

	Regnormekompost	Råkompost	Færdig kompost
volumenvægt	0,1 - 0,2	0,2 - 0,6	0,25 - 0,3

Tabel 4.19.

Volumenvægt af kompost.

4.6.3

Modenhed.

Åndingsintensitet

Som det ses af tabel 4.20 i sammenligning med tidligere værdier for milekomposten, var åndingsintensiteten udtrykt som mg CO₂/g TS x 24 h på samme niveau i regnormekomposten som i milekomposten. Generelt må det desværre siges at dette mål for åndingsintensitet og den usikkerhed, det gav at sende materialet fra København til Hornum, gør tallene særdeles usikre.

Foder	hakket affald			friskt affald		råkompost			
Forsøgsmængde kg/uge	20	20	40	20	40	10	10	20	20
Kompost alder uger	6	12	6	12	6	6	10	6	10
mg CO ₂ /g ts/24 h	8,8	9,7	8,9	6,8	7,1	9,0	10,9	9,5	13,8
Karseindex	40	36	0	20	77	38	45	35	43

Tabel 4.20.

Åndingsintensitet og karseindex for regnormekompost.

Karseindex

Karseindexet = germinationsindex er det eneste objektive og sikre tal, der er lavet for regnormekompostens kvalitet med hensyn til modenhed. I følge Raffaldi et al (1986) skal karseindexet være over 85, for at komposten ikke

indeholder spirehæmmende stoffer. Regnormekomposten er altså ikke ifølge denne metode af tilfredsstillende kvalitet.

4.6.4

Tungmetalindhold.

Pb, Cd og Hg indholdet i regnormekomposten fra det første forsøg fremgår af tabel 4.21.

Forsøgs- led	20 kg affald	40 kg affald	10 kg råkompost	20 kg råkompost	gennem- snit
aske%	58,1	54,2	41,3	37,7	47,8
Pb	15,8	4,7	36,0	33,0	22,4
Cd	0,29	0,18	0,36	0,23	0,26
Hg	0,11	0,08	0,24	0,12	0,14

Tabel 4.21.

Tungmetalindhold og askeprocent i færdig regnormekompost, ppm.

Indholdet af tungmetaller i regnormekomposten lå som forventet helt på samme forholdsvis lave niveau som indholdet i den færdige milekompost. Regnormekomposten var altså ud fra dette kriterium af ligeså god kvalitet som milekomposten.

4.6.5

Antal orme og mængde færdig kompost.

Antal orme

Som det fremgår af tabel 4.22 var der langt færre orme i andet forsøg end i første. Dette skyldes formentlig, at der blev podet med flere orme i første forsøg. De orme, der blev optalt efter andet forsøg var til gengæld større. De større orme medførte dog ikke, at biomassen pr. kg kompost nåede op på samme niveau som i forsøg 1. Variationen kan også skyldes årstiden. Forsøg 1 foregik fra midt i august til midt i september, og forsøg 2 fra februar til juni. Der var altså koldt i begyndelsen af andet forsøg, hvilket kan have givet en langsom start. Efter det andet forsøg blev der ved optælling og vejning fundet langt flere orme-kokoner end ved første forsøg.

Forsøg	nr. 1						nr. 2		
Foder	hakket affald		råkompost		friskt affald		råkompost		
Fodringsmængde kg/uge	20	40	10	20	10	20	10	15	20
Antal orm pr. kg kompost	78	44	20	16	47	26	9	7	8
Ormestørrelse g/orm	0,4	0,2	1,1	-	0,4	0,4	0,7	0,6	1,1
g orm pr. kg kompost	32	9	19	8	15	11	6	4	4

Tabel 4.22.

Ormetælling i regnormebænke, gennemsnit.

Der var tendens til, at der kom flere og større eller lige så store orme ved det lave fodringsniveau som ved det høje.

Der var flest orme i det hakkede affald, hvilket strider imod den subjektive opfattelse, der var hos dem, der passede forsøgene. Det så nemlig ikke ud til at ormene "kunne lide" det hakkede affald. Formodentlig på grund af den tætte og klæge struktur med tendens til anaerobe zoner.

Der var efter første forsøg færrest orme i råkomposten. Begrundelsen for alligevel i andet forsøg kun at anvende råkompost var de hygiejniske hensyn til det at basere et fremtidigt fuldskalaanlæg på kompostering af frisk affald.

Efter 2. forsøg blev ormekomposten vejjet og tørstofprocenten beregnet. Resultatet fremgår af tabel 4.23.

Bænk	Behand- ling uger, kg/uge	Kg affald ialt	Kg tørstof ialt	Kg færdig kompost	Tørstof %	Kg tørstof efter komp.	Omsæt- ning i %
1	5 uger 10 kg	50	15	53	39	21	+40
2	5 uger 15 kg	75	23	57	28	16	30
3	5 uger 20 kg	100	30	84	24	20	33

Tabel 4.23.

Færdig regnormekompost, kg, tørstofprocent og omsætning i %.

Konklusion.

Der er udført for få gentagelser af forsøgsledene til at kunne konkludere noget om eventuelle sammenhænge mellem omsætning og fodringsmængde og foder-type i regnormebænkene.

Indholdet af næringsstoffer og tungmetaller, pH-værdi og ledningsværdi lå på samme niveau i regnormekomposten som i milekomposten.

Volumenvægten var lavere for regnormekomposten end for både råkompost og milekompost.

Regnormekomposten var ikke ifølge karsetesten moden til plantedyrkning.

Med hensyn til ormemængde var der tendens til, at der kom flere og større orme ved et lavt fodringsniveau end ved et højt.

5.

FORSLAG TIL FREMTIDIGT BEHANDLINGSSYSTEM FOR
KILDESORTERET HUSHOLDNINGSAFFALD I KØBENHAVNS
OG FREDERIKSBERG KOMMUNER.

I pilotprojektets overordnede målsætning indgik, at der gives det nødvendige data- og erfaringsgrundlag til brug for dimensionering og opbygning af større anlæg. På baggrund af de i forsøget indhøstede resultater beskrives i dette kapitel konsekvenser og muligheder ved at udvide kildesortering til at gælde hele Københavns og Frederiksberg kommuner, som omfatter ialt ca. 300.000 husstande i etage-ejendomme.

Endvidere gives der forslag til problemløsninger i forbindelse med indsamling, komposteringsmaterial, dimensionering af kompostanlæg og afsætning af komposten.

5.1.

Forventede data omkring affaldsmængder, indsamling og kompost.

5.1.1

Etageejendomme.

Der er ifølge R-98 ca. 300.000 husstande med ca. 500.000 personer i København og Frederiksberg kommuner.

5.1.2

Potentiale.

De potentielle mængder organisk affald, der kan komposteres i København og Frederiksberg kommuner kan i friskvægt, når der regnes med ca. 56 kg/person/år (R-98's tal for 1988/89), opgøres til:

Kildesorteret madaffald	28.000 t/år
Grøntsagsaffald fra Grønttorvet	<u>3.000 t/år</u>
Total	31.000 t/år

Hvorvidt grøntsagsaffald skal undtages, indgår for øjeblikket i diskussionerne omkring affaldsplanlægningen. En potentialeundersøgelse af organisk affald fra erhverv forventes afleveret ultimo 1990, og resultatet vil indgå i den samlede vurdering af potentialet. I nærværende rapport er der taget udgangspunkt i det kildesorterede madaffald fra husholdninger.

5.1.3

Forventet indsamlet mængde.

Pilotforsøget viste, at der frivilligt blev indsamlet 43 % af det potentielle madaffald, svarende til ca. 12.000 ton pr. år fra 300.000 husstande med 500.000 personer. 10.000 t/år i København og 2.000 t/år i Frederiksberg kommune.

5.1.4

Kompostmængde.

Massebalancen for komposteringsanlægget viste, at der af den indsamlede mængde kildesorteret madaffald kunne produceres henholdsvis 17% kompost og 2% sigterest (se figur 4.27), hvilket ved en indsamlingsprocent på 43 svarer til ca. 2.000 t kompost pr. år og 360 t sigterest pr. år.

5.2

Opskalering af komposteringsanlæg.

De driftsmæssige erfaringer med forsøgsanlægget var dårlige. KV-anlægget havde for mange og for lange driftsstop. Der var også mange arbejdsmiljømæssige problemer under komposteringsprocessen. Derimod var de produktmæssige erfaringer med anlægget positive. Den færdige kompost havde et lavt indhold af tungmetaller og var et tiltalende muldagtigt produkt, der må forventes at kunne afsættes. Det lave tungmetallindhold skal dog tages med det forbehold, at komposten ikke var fuldstændig moden. Tungmetallindholdet vil stige lidt i takt med den yderligere modning.

Som løsning på de driftsmæssige problemer anbefales enten et mere simpelt system, f.eks. kammerkompostering i stedet for KV-anlægget, eller et KV-anlæg, der er bygget specielt til kompostering af husholdningsaffald. Anlægget skal bygges i robuste materialer, det vil sige fortrinsvis rustfrit stål, der kan tåle det sure miljø. Endvidere skal al mekanik og elektronik opholde sig så lidt som muligt inde i selve proceskammeret. De mekaniske dele kan f.eks. sidde uden på kammeret al den tid, de ikke lige er i drift, og den elektroniske styring bør sidde helt uden for komposteringsfeltet. Ved en opbygning som på forsøgsanlægget f.eks. i den tilstødende skurvogn.

Som løsning på de arbejdsmiljømæssige problemer, som dels opstod under det daglige arbejde, men som selvfølgelig især var en belastning under de mange driftsstop, anbefales:

- 1) at anlægget placeres i fri luft
- 2) at undgå situationer, hvor personalet skal ind i selve anlægget
- 3) friskluftforsynet åndedrætsværn under evt. arbejde i selve anlægget.

Se afsnittet om arbejdsmiljø, kap. 4.

5.3.

Afsætning af kompost.

Et anlæg i fuld skala for Københavns og Frederiksberg kommuner vil producere ca. 2.000 t (friskvægt) kompost om året. Kompostens massefylde er ca. 300 kg/m³, hvilket medfører en produktion på ca. 7.000 m³ kompost.

Udfra målingerne af tungmetalindholdet i komposten forventes den at have en sådan kvalitet, at den fint kan afsættes til jordbruget eller indgå i voksemedier til gartnerier, anlæg og private.

Ved udbringning af f.eks. 10 t kompost pr. ha landbrugsjord, vil der være behov for 200 ha pr. år, som skal aftage komposten. Sammenholdt med at landbrugsarealet på Amager udgør 1.110 ha fordelt med 753 ha i Dragør kommune og 357 ha i Tårnby kommune (landbrugsstatistik 1985, tabel 17.1), skal ca. 20 % af landbrugsarealet aftage komposten. I Københavns Amt er det samlede dyrkede areal på 9.885 ha, så set i denne sammenhæng, skal blot 2-3 % af arealet modtage 10 t/ha, for at komposten er afsat.

Københavns kommunes stadsgartner oplyser, at der årligt anvendes 10.000 m³ muldjord, heraf 5-6.000 m³ som fyld og jorddække, og ca. 4.000 m³ forbruges i kommunens eget gartneri.

På grund af kompostens høje ledningsværdi (et udtryk for mængden af opløste salte) kan det vise sig, at komposten primært kan anvendes som tilsætningsmateriale til iblanding af sphagnum.

Erhvervsgartnerne i Danmark blander 30-40.000 m³ pr. år af "andre materialer" i sphagnum, primært for at opnå en bedre struktur i dyrkningsmediet. I Københavns Amt findes 8 % af

Danmarks væksthuseareal. Det potentielle marked for komposten som iblandingsmateriale vil således være 2.500 - 3.400 m³ kompost.

Sammenfattende kan det siges, at komposten bør kunne afsættes lokalt i Københavns Amt.

Det kan vise sig nødvendigt, at produktudvikle komposten, så den tilpasses de enkelte aftagergrupper.

5.4.

Deklaration af kompost.

5.4.1.

Myndighedernes krav.

Ifølge Landbrugsministeriets bekendtgørelse om handel med gødning og grundforbedringsmidler m.m. falder komposten fra R98's komposteringsanlæg på Amager ind under betegnelsen et jordforbedringsmiddel. Den er ikke en gødning (for lille næringsstofindhold) og ikke et voksemedie på grund af for høj ledningsværdi. Ledningsværdien må højst være 7 i voksemedier, og gennemsnittet for Amagerkomposten er 23 (højeste værdi: 30,3, laveste værdi: 20,3).

Et jordforbedringsmiddel defineres i lov om handel med gødning og grundforbedringsmidler m.m., som "et stof, der er bestemt til ændring af jords eller voksemediers fysiske, kemiske eller biologiske tilstand, og hvis virkningen ikke eller kun i ringe grad beror på et indhold af plantenæringsstoffer."

I deklarereringen af komposten må ikke indgå ordene tørv eller sphagnum, da dette betinges af et maximalt indhold af ren aske på henholdsvis 10 og 3 %. Komposten indeholder mellem 16 og 27% aske.

Ifølge bekendtgørelsen defineres kompost som et stabiliseret produkt, der er fremstillet udfra jordbrugets affaldsprodukter, husholdningsaffald eller andet egnet organisk materiale, og som har været underkastet en biologisk-teknisk behandling, hvorved det har mistet sin oprindelige karakter.

Ved salg af kompost skal sælgeren give følgende oplysninger:

1. a) For importerede varer: Varens oprindelsesland.
b) For dansk producerede varer: Produktionssted.
2. Mængden i m³ (eller i liter) upresset tilstand som brugsvolumen.
3. Fremstillingsmåde (f.eks. mile, eller regnormekompostering).
4. Grundmateriale (f.eks. husholdningsaffald, svinegødning).
5. Tørstofindhold (Vægt% ± 5 enheder)
6. Askeindhold i tørstof (Vægt% ± 2 enheder)
7. Organisk stof i tørstof (Vægt% ± 3 enheder)
8. Totalkvælstof (N), g/liter (5 g interval)
9. Vandopl. kvælstof (N), g/liter (5 g interval)
10. Citratopl. fosfor (P), g/liter (5 g interval)
11. Vandopl. kalium (K), g/liter (5 g interval)
12. pH i vand (1 enhed)
13. Elektr. ledningsværdi $L_v = (\text{mS/cm}) \times 10$

Der kan gives oplysninger om en komposts indhold af andre næringsstoffer og mikronæringsstoffer udtrykt i g eller mg pr. liter produkt.

5.4.2

Kompostdeklaration.

Deklareringen af R-98 komposten skal altså se således ud:

Renholdningsselskabet af 1898, Kløvermarksvej 70, 2300 København S. Tlf. 31 95 18 98.

Organisk jordforbedringmiddel.
R-98 kompost

Grundmaterialer:	Kildesorteret husholdningsaffald, halm.
Produktionssted:	R-98, Amager.
Fremstillingsmetode:	Forkomposteret i lukket anlæg, derefter milekomposteret i 6 uger.

Tørstofindhold:	35-40 %	
Askeindhold i tørstof:	22-24 %	
Organisk stof i tørstof:	76-78 %	
Total kvælstof:	2,7 g/l	
Vandopløselig N:		Nitratværdi: 200-240
Citratopløselig P:	0-5 g/l	Fosforværdi: 125-145
Vandopløselig K:	0-5 g/l	Kaliumværdi: 445-465
pH i vand:	7,5-7,8	
Ledningsværdi:	21,5-23,5	

5.4.3

Sammenligning med andre jordforbedringsmidler.

Af tabel 5.1 og 5.2 ses, at R-98 komposten i forhold til såvel andre kompostprodukter som til tørve- og sphagnumprodukter, har et højt indhold af både N, P og K. Indholdet af disse næringsstoffer svarer til et meget højt niveau for voksemedier.

Den høje ledningsværdi gør det nødvendigt at opblande komposten med et andet materiale, før den er egnet til væksthudyrkning, hvilket så også vil betyde en fortynding af næringsstofferne.

pH-værdien ligger på linie med det høje væksthudniveau, hvilket kun er en fordel.

Dyrkningsforsøgene med Chrysanthemum og R-98 kompost viste, at 20 % kompost opblandet med sphagnum og grodan havde en særdeles gunstig effekt på substrat, pH-justering, L_t m.m., mens større mængder kompost havde mange negative påvirkninger af vækst og kvalitet.

	Nitratværdi (Nv)	Fosforværdi (Fv)	Kaliumværdi (Kv)	pH-værdi	Ledningsværdi (Lv)
Amager kompost gennemsn.	217	134	458	8,1	23
Væksthus niveau: lavt	5-20	5-15	5-10	3-5	0,5-1
middel	40-70	20-30	20-35	6-7	2-4
højt	100*	50*	50*	7,5-8,4	5*
Sphagnum gns. 6				3,4-5,7	
Sphagnum Bilka. 1	40-80	30-50	50-70	5,5-6,5	3,5-5,5
Sphagnum Dæhnfeldt 2	5-20	23-43	10-30	5-6	0,8-2,6
Sphagnum Gartner- nes 3	40-80	30-50	50-70	6-7	3,5-5,5
Sphagnum Pindstrup 4	40-80	65-85	40-60	5,6-6,6	3,5-5,5
Orme- kompost 5	35-75	80-100	30-50	5,4-6,4	1,9-3,9

*) og opefter.

- 1) Bilka Indkøb, Mundelstrup. Organisk voksemedium, hovedbestanddel: sphagnum.
- 2) A/S Dæhnfeldt Havefrø, Odense, org. voksemedium, hovedbestanddel: sphagnum.
- 3) Gartnerens Indkøbscenter, Mundelstrup, voksemedium, hovedbestanddel: sphagnum.
- 4) Pindstrup Chrysanthemumjord, Ryomgård, voksemedium, hovedbestanddel: sphagnum + lergranulat.
- 5) Selandia Regnormekompost, Ringsted, voksemedium, hovedbestanddel: sphagnum + ormekompost.
- 6) Sphagnum i lovens betydning (max 3 vægt-% ren aske i tørstof).

Tabel 5.1.

Sammenligning med andre jordforbedringsmidler
(kilde: Fortegnelse over fabrikater og importører af gødninger og grundforbedringsmidler m.m. 1988, samt notat fra K.O. Andersen, Dansk Erhvervsgartnerforening).

	Nitratværdi (Nv)	Fosforværdi (Fv)	Kaliumværdi (Kv)	pH-værdi	Ledningstal (Lv)
Amager kompost gennemsn.	217	134	458	8,1	23
Væksthus niveau: lavt	5-20	5-15	5-10	3-5	0,5-1
middel	40-70	20-30	20-35	6-7	2-4
højt	100*	50*	50*	7,5-8,4	5*
Afdrænet cham- pignon kompost 1	108-148	52-72	329-349	6,8-7,8	9,6-11,6
Heste- gødning + spagnum 2	200-240	80-100	300-320	7,5-8,5	23-25
Kogødning + spagnum 3	115-155	95-115	230-250	5,5-6,5	6,3-8,3
Kogødning + tørv 4	80-120	70-90	70-90	4-5	3,5-5,5

*) og opefter.

- 1) Kås Champingnon, Pandrup. Organisk jordforbedringsmiddel.
- 2) Lynge Naturgødning Aps, Lynge. Organisk jordforbedringsmiddel.
C-muld.
- 3) A. Møller & Co. Aps, Virum. Organisk jordforbedringsmiddel.
Komposteret kogødning.
- 4) Simontorp A/S, Vallensbæk. Organisk jordforbedringsmiddel.
Komposteret kogødning.

Tabel 5.2.

Sammenligning med andre jordforbedringsmidler
(kilde: Fortegnelse over fabrikater og impo-
tører af gødninger og grundforbedringsmidler
m.m. 1988, samt notat fra K.O. Andersen, Dansk
Erhvervsgartnerforening).

6.

DYRKNINGSFORSØG.

Der blev gennem Institut for Landskabsplanter, Hornum, udført 3 dyrkningsforsøg.

1. forsøg: Chrysanthemum, uge 42-52, 1988.
2. forsøg: Chrysanthemum, uge 12-21, 1989.
3. forsøg: Gul sennep, uge 42-52, 1988.

Formålet med forsøgene var at undersøge kompostens dyrkningsegenskaber i forskellige blandinger.

Færdigkompost

Komposten, der blev anvendt i de 3 dyrkningsforsøg, var færdigkompost. Det vil sige, at komposten var forkomposteret i KV-anlægget i 1-2 uger og eftermodnet i miler eller regnormebænke i 6-8 uger.

6.1

Første dyrkningsforsøg.

I første forsøg blev Chrysanthemum dyrket i blandinger af milekompost, sphagnum og grodan. Sphagnum er et tørveprodukt, der indeholder 1-3% renaske og højst 1% sand. pH i sphagnum er 4-6 og omsætningsgraden er høj, ca. 70-90%. Grodan er oliefri Rockwool (stenuld), der i gartneriet bruges som strukturmiddel og i kraft af sin vandholdende evne.

Blandingerne fremgår af tabel 6.1.

Forsøgsled	BLANDING		
	Kompost	Sphagnum	Grodan
0	X KONTROL		
1	0	100	0
2	20	80	0
3	40	60	0
4	60	40	0
5	80	20	0
6	100	0	0
7	0	80	20
8	20	60	20
9	40	40	20
10	60	20	20

Tabel 6.1 Forsøgsplan. 1. forsøg.

Blandingerne er sammensat på volumenbasis: f.eks. forsøgsled 1-6 = 0-100 dele kompost og modsat 100-0 dele sphagnum. Endvidere forsøgsled 7-10 = 0, 20, 40, 60 dele kompost og hele tiden 20 dele grodan udlignet med sphagnum til 100.

6.1.1

Forsøgsplan.

Dyrkningen blev startet uge 42 og afsluttet uge 52 1988.

Forsøgene blev udført hos gartneri-ejer John Englyst, Grundfør.

Formering

Der blev dyrket 3 stiklinger pr. potte (11 cm). Rodningen foregik i 2 uger under plastdække og tågevanding 22° C.

Dyrkning

Dyrkningen foregik i væksthuse. Temperatur: 20°C. Styret lys, daglængde, varme og fugtighed med CO₂ tilskud. Gødsning og vand blev tilført efter fordampningsstyring. Dyrkningsbordene var indrettet efter hæve/sænke-vandingsprincippet med blandecentral.

Gartneriets standardafstand og øvrige standardbehandlinger blev fulgt uden afvigelser. Der blev dyrket to hovedsorter af chrysanthemum: Surf, hvid og Lou, vinrød.

Substrater

Der var 10 forsøgsblandinger + kontrol = 11 forsøgsled. Kontrolplanterne blev dyrket i gartnerens standard-dyrkningssubstrat. Kontrol er mærket med x i følgende oversigt, og i tabeller i bilag 10.

Kultur: Chrysanthemum

Dato: Uge 42-52

Kompost: Fra forsøg KV2,10 (x,y) uge 24-26. Det vil sige kompost, der var forkomposteret i KV-anlægget i 2 uger, og som var tilsat 10% halm. Komposten var eftermodnet i miler i 6-8 uger. x og y refererer til henholdsvis aktiv og passiv beluftning i eftermodningsmilerne. 1013 x= Mile, 1014 = mile y.

Sphagnum: Kongerslev, mellem

Grodan: B-10

x Ler: Kjellerup 40 kg/m²

x Kalk: pH 6,2

x Kontrol: 0 = gartneriblanding med ler, kalk og grundgødning.

Der var ialt 24 planter pr. behandling x
2 komposttyper = 528 forsøgspotter.
(11 x 24 x 2 = 528)

Data	Målinger, karaktergivning og analyser blev opført i standardtabeller, og de enkelte resultater blev vurderet enkeltvis, se bilag 10. Forsøget blev vurderet løbende i formerings- og dyrkningsperioden med efterfølgende behandling og måling for skrumpning, vandholdende evne m.m. Plantematerialet og forsøgssubstrat blev løbende og efter dyrkning overført fra specialgartner til Institut for Landskabsplanter.
6.1.2	<u>Resultater.</u>
Formering	Rodning for sorten "SURF" viste, at indtil 40% kompost gav en tilfredsstillende rodning. Indblanding af 20 % grodan havde også en gunstig rodningpåvirkning. Rodning hæmmedes ved stigende kompostmængder. Saftspændingen og vandoptagelsen var ligeledes påvirket negativt af kompostiblanding på mere end 20 %.
Bladfarve	Bladfarven er et udtryk for næringsoptagelse. Jo mørkere, des bedre. Intensiteten øgedes med stigende kompostindhold i blandingerne.
Vækstkraft	Vækstkraften var for blandinger med 20 % kompost på et højere niveau end øvrige kombinationer og kontrol (0).
Topvægt	= Friskvægt i gram. Topvægten var størst for kompostblandingerne 20 og 40 %. Komposten fra mile x og y gav i denne juli/august produktionsperiode ens vækstbetingelser.
Tørstof	Tørstofproduktionen i % i planten øgedes (til en vis grænse) ved iblanding af kompost.
Vækstperioden	Ved målinger d. 9.11. var der efter knibning af planterne en tendens til større skudmængde for kompostiblanding på 20-60 %. Grodan havde yderligere en stimulerende påvirkning.
Rodvækst	Rodmængden (masse) svækkedes ikke ved tilsætning af 20 % kompost, det samme gælder karaktergivning for kvalitet (lyse, aktive rødder). 40-100 % komposttilsætning gav negativ rod-påvirkning.

Plantehøjde	Salgsfærdige planter i 2 sorter og substrat-kombinationer med milekompost, der var beluftet henholdsvis aktivt og passivt under eftermodningen, viste tilfredsstillende vækst for begge komposttyper ved 20-40 % iblanding. Dette var ikke tilfældet med de andre blandinger.
Plantebredde	Salgsfærdige planter i 2 sorter og substrat-kombinationer med aktivt/passivt beluftet milekompost viste tilfredsstillende vækst for begge komposttyper med 20-40 % iblanding.
Friskvægt	Vægten af top af salgsfærdige planter var øget væsentligt ved 20 % kompostiblandingerne.
Blomster	Blomstermængden, plantefylde og produktion var som øvrige vækstmålinger, gunstigt påvirket af 20 % kompost iblanding.
pH-målinger	pH i kontrol (0) = gartneriets standard var justeret til 6,2 med kalk og ler. En kompost-iblanding på 20-40 % gav en lignende pH-forøgelse (fra sphagnum-pH på 4,5). Komposten gav altså et basisk bidrag til substratet.
L _t -målinger	Den elektriske modstandsmåling viste ved dyrkningsperiodens afslutning, at der i komposten stadig var salte og næringsioner, som påvirkede L _t i betydelig grad. Påvirkning fra især klorid-ioner kan have en hæmmende effekt på plantevæksten.
Skrumpning	Komposten havde en sammentrækkende påvirkning af substratet ved iblandinger over 40 %. Grodan ændrede ikke skrumpningseffekten.

6.1.3

Konklusion.

Dyrkningsforsøg med Chrysanthemum i uge 42-52 1988 med to sorter og 10 substratblandinger af kompost, sphagnum og grodan viste:

- At 20 % milekompost fra sorteret husholdningsaffald blandet med sphagnum havde en særdeles gunstig effekt på substrat, pH-justering, L_t, rodning, plantevækst, total produktion, blomstring m.m. Grodan (20 vol.pct.) fremmede ligeledes nogle dyrkningsbetingelser.
- At 20 % kompostiblanding var gavnligt, mens større kompostmængder indtil 100 % havde mange negative påvirkninger af vækst og kvalitet ved standarddyrkning af Chrysanthemum på et højteknologisk niveau. (Se evt. tabeller i bilag 10).

Andet dyrkningsforsøg.

Forsøget med Chrysanthemum "SURF" i uge 12-21 1989 var planlagt på basis af forsøg 1, uge 42-52, 1988.

I andet forsøg blev Chrysanthemum dyrket i blandinger af milekompost, regnormekompost og sphagnum. I blandingerne indgik de to slags kompost med 10, 20 og 30 %.

Milekomposttyperne var kompost fra mile x og y med efterlagring i 6-8 uger.

Endvidere indgik et parti regnormekompost.

Til kontrol blev brugt gartneriets standardblanding: 1 m³ sphagnum, 40 kg ler, kalk + grundgødning.

6.2.1

Forsøgsplan.

Forsøgsplanen fremgår af tabel 6.2.

Forsøgs- led	Kompost- parti	Kompost vol.pct.	Sphagnum vol.pct.
1	KV2,10,x	10	90
2	KV2,10,y	10	90
3	KV2,5,x	10	90
4	KV2,5,y	10	90
5	KV1,5,x	10	90
6	KV1,5,y	10	90
7	ORMEKOMPOST	10	90
0	KONTROL	0	0
8	KV 2,10,x	20	80
9	KV 2,10,y	20	80
10	KV 2,5,x	20	80
11	KV 2,5,y	20	80
12	KV 1,5,x	20	80
13	KV 1,5,y	20	80
14	ORMEKOMPOST	20	80
0	KONTROL	0	0
15	KV 2,10,x	30	70
16	KV 2,10,y	30	70
17	KV 2,5,x	30	70
18	KV 2,5,y	30	70
19	KV 1,5,x	30	70
20	KV 1,5,y	30	70
21	ORMEKOMPOST	30	70
0	KONTROL	0	0

x = passiv beluftning under eftermodning.

y = aktiv beluftning under eftermodning.

Tabel 6.2.

Forsøgsplan. Kompostpartier. Kodeforklaring:
eks. KV2,10,x = opholdstid i KV-anlægget: 2
uger, halm i blanding: 10%, aktiv beluftning
under eftermodning.

Dyrkningen blev startet i uge 12 og afsluttet
i uge 21, 1989. Hvert forsøgsled blev gentaget
20 gange.

Forsøgene blev udført hos gartneriejer John
Englyst, Grundfør.

Formering

Der blev dyrket 3 stiklinger pr. potte (11 cm).
Rodningen foregik i 2 uger under plastdække og
tågevanding 22° C.

Dyrkning

Dyrkningen foregik i væksthuse. Temperatur: 20° C, Styret lys og daglængde, varme og fugtighed med CO₂ tilskud. Gødsning og vand blev tilført efter fordampningsstyring. Dyrkningsbordene var indrettet efter hæve/sænkevandings-princip med blandecentral. Gartneriets standardafstand og øvrige standardbehandlinger blev fulgt uden afvigelser.

Der blev dyrket sorten "SURF", der er en hvid hovedsort.

Substrater

Der var 21 forsøgsblandinger og kontrol (= gartneriets standard) for hver 7. forsøgsbehandling. Kontrol er her mærket med kryds og i forsøgsplanen benævnt forsøgsled 0.

Kultur: Chrysanthemum
Dato: Uge 12-21
Kompost: Kompost fra 3 forskellige forsøgsled med aktiv og passiv beluftning (x og y). KV2,10(x,y) = 2 ugers opholdstid, 10% halm i blanding. KV2,5(x,y) = 2 ugers opholdstid, 5% halmiblanding. KV1,5(x,y) = 1 uges opholdstid, 5% halmiblanding. Endvidere 1 forsøgsled med regnormekompost.

Sphagnum: Kongerslev, mellem
x Ler: Kjellerup 40 kg/m²
x Kalk: Justering til pH 6,2
x Kontrol: 0 = gartneriblanding med ler, kalk og grundgødning.
Vanding/gødsning: Gartneriets standard-procedure.

Data

Målinger, karaktergivning og analyser blev opført i standardtabeller nr. 1-11, se bilag 11. Resultaterne blev vurderet enkeltvis (i bilag 11) med afsluttende konklusion nedenfor.

Forsøget blev vurderet med løbende prøveudtagning i dyrkningsperioden. Planter blev løbende overført fra gartneriet til Institut for Landsskabsplanter.

6.2.2

Resultater.

Topvægt

Væksten målt som topproduktion var forskellige for de enkelte kompostpartier. Kompostprøverne fra det forsøgsled i KV-anlægget med 1 uges opholdstid og 5% halmiblanding gav svagere

topvækst end de øvrige milekomposter, som havde indtil 20 % merproduktion sammenlignet med kontrol. De højeste produktionstal blev nået for 20 % milekompost.

10 og 30 % kompostiblanding havde svagere topvækst end iblandingen af 20 % kompost, men vækstkraften var for alle milekompostblandinger større end kontrol.

Ormekompost-blandingerne var på niveau med kontrol.

Rodkvalitet

Karaktergivningen 0-10 viser, at rodvæksten generelt var på et højt niveau, alle målinger var over 8.

Ormekompost-blandingerne havde det kraftigste, lyseste og mest aktive rodsystem samt sunde bundrødder.

Blomstring

Optællingen af antal udsprungne blomster og veludviklede blomsterknopper viste en påvirkning af blomster- og knopmængden i retning af en øgning indtil 20 % for kompostiblandinger i forhold til kontrol.

Handelsværdi

Handelsværdien er et sammendrag af blomsterrigdom, rodvækst (kvalitet), vækstkraft og topvægt. Der blev opnået det bedste salgsprodukt i kompost/sphagnumblandingen 20/80.

Sammendrag

En total sammenstilling af værditallene for blomsterrigdom, rodvækst, vækstkraft, topvægt og handelsværdi viste en meget positiv effekt for kompostblandinger fra milekomposterne.

Ormekomposten afveg ikke fra kontrol.

I de anvendte 10-20-30 % blandinger kan 20/80 % blandingen fremhæves som den mest positive kombination. Se tabel 6.3.

Forsøgsled	10 %	20 %	30 %	GNS.	GNS. x + y
KV2,10,x	101	111	104	105	
KV2,10,y	107	109	102	106	106
KV2,5,x	100	112	106	106	
KV2,5,y	109	99	102	103	105
KV1,5,x	99	101	100	100	
KV1,5,y	102	108	103	104	102
gns.	103	107	103	104	104
Ormekompost	100	101	101	101	101
Kontrol (0)	100	100	100	100	100

Tabel 6.3.

Handelsværdien udtrykt i forholdstal. 100 = kontrol.

pH

Milekompost af sorteret husholdningsaffald var basisk med pH 8,0 - 8,5. Ved iblanding af kompost i sphagnum opnåedes stigende pH (sphagnum har pH 4,5). I blandingen 10/90 blev pH øget i gennemsnit til 5,5 - i blandingen 20/80 var pH over 6,0, i gennemsnit 6,3. I blandingen 30/70 viste pH en spredning fra 6,2 til 6,5, i gennemsnit 6,4.

Ormekomposten gav mindre pH øgning, fra 5,0 til 6,1. 20/80 blandingen gav her pH på samme niveau som kontrol (0).

Ledningsværdi

Milekompost havde et højt saltindhold. 10/90 blandingen havde dog lavere ledningsværdi end kontrol (0).

Ormekomposten havde ca. 30 % lavere ledningsværdi end kontrol.

Bedømmelse af rodkvalitet viste for alle kompostblandinger kun svage tendenser til svækket rodsystem, som kan tydes som saltskade = høj Lt.

Nitratværdi

Milekompostblandingerne gav et nitrattilskud. For 20/80 blandingen var nitratindholdet på niveau med kontrol. Der var stor variation mellem de enkelte kompostpartier.

Ormekomposten havde et lavt indhold af nitrat og kunne ikke udligne kvælstof tilført med grundgødning til kontrol.

Fosforværdi

Fosforindholdet var generelt højt for såvel mile- som ormekompost. Milekompost 20/80 blandingen viste en fosforfordobling i forhold til kontrol. Fosforgødsning kan reduceres eller eventuelt helt udelades ved brug af kompostblandede substrater.

Kaliumværdi

Iblanding af kompost øgede kaliumindholdet i blandingerne i forhold til kontrol. For 20/80 blandingen i gennemsnit ca. 20 %.

Ormekompost havde en svagere K-påvirkning.

Næringsindhold m.m. i kompost

På basis af analysering af én af kompostprøverne (g-12 = 1045 y) og en kontrolprøve viser tabel 6.3 næringsindholdet sommilligram pr. liter substrat (ppm).

	NO ₃ ⁻ N	P	K	Mg	Ca	Na	B	Cl ⁻
Kompost	331	135	560	280	1600	10	0,62	137
Kontrol	324	73	520	220	2090	8	0,54	121

Tabel 6.4.

Næringsindhold i 20 % kompost/sphagnum (KV2, 5,y) og kontrol. Målt i uge 22, 1989 d.v.s. efter dyrkning af Chrysanthemum til færdig salgsplante. Måleenhed = Milligram i 1 l substrat = mg/1000 ml = ppm.

Tabel 6.4. er baseret på en enkelt analysering af pottematerialet fra en 20 % blanding og en kontrolblanding, begge efter dyrkning af en chrysanthemumplante. Tallene i tabellen giver et udtryk for om planterne i den sidste vækstfase har været i underskud med næringsstoffer. Dette har ikke været tilfældet for planten i kompostblandingen i sammenligning med kontrolplanten.

Niveaumæssigt ses de største forskelle for fosfor, med ca. dobbelt fosforindhold i kompostblandingerne. I gennemsnit var næringsniveauet i komposten lidt højere end i grundgødet kontrol.

Natrium (Na), Chlorid (Cl) og Bor (B) er ikke stærkt afvigende i kompostblandingerne i forhold til kontrol. Et indhold som dette af Na, Cl og B i komposten har ikke en plante-skadelig virkning.

6.2.3

Konklusion.

Vækstmålinger, værdimålinger og analyser af pH, Lt, NO₃ (Nv), Pv, Kv, Mg, Ca, Na, B og Cl viste, at der var væsentlige bidrag af plantetilgængelige næringsstoffer i komposten. Der blev ikke målt planteskadeligt indhold af Natrium (Na), Chlorid (Cl) og Bor (B) i komposten.

Kompost/sphagnumblandingen 20/80 % havde positiv effekt som dyrkningssubstrat til en standard pottekultur med Chrysanthemum.

Milekompost i sphagnumblandinger gav en pH-regulering svarende til kalktilsætning til kontrol, samt en gødningsjustering svarende til grundgødskning af kontrol.

Ormekompost viste svagere pH-justering og et lavere næringsindhold end milekompost.

Variationen mellem de enkelte forsøgspartier af sorteret og komposteret husholdningsaffald har været tilfredsstillende, men for at udligne variationer bør kompostpartier til salg være store og eventuelt blandinger af flere partier.

Disse undersøgelser viser, at både milekompost og ormekompost i blanding med sphagnum med fordel kan anvendes som dyrkningssubstrat til pottekulturer. Et blandingsforhold på 20% kompost og 80% sphagnum er optimalt til Chrysanthemum.

6.3

Tredje dyrkningsforsøg.

6.3.1

Forsøgsplan.

Der blev dyrket gul sennep i 10 cm pletter med 10 frø pr. enhed og med 10 gentagelser.

Dyrkning

Dyrkningen foregik i væksthuse. Temperatur: 20°C. Styret lys, daglængde, varme og fugtighed med CO₂ tilskud. Gødskning og vand blev tilført efter fordampningsstyring. Dyrkningsbordene var indrettet efter hæve/sænke-vandingsprincippet med blandecentral.

Gartneriets standardafstand og øvrige standardbehandlinger blev fulgt uden afvigelser.

Substrater

Der var 10 forsøgsblandinger + kontrol = 11 forsøgsled. Kontrolplanterne blev dyrket i gartnerens standard-dyrkningssubstrat. Kontrol er mærket med x i følgende oversigt, og i tabeller i bilag 8.

Kultur: Gul sennep

Dato:

Kompost: Fra forsøg KV2,10 (x,y) uge 24-26.

Det vil sige kompost, der var forkomposteret i KV-anlægget i 2 uger, og som var tilsat 10% halm. Komposten var eftermodnet i miler i 6-8 uger. x og y refererer til henholdsvis aktiv og passiv beluftning i eftermodningsmillerne. 1013 x= Mile, 1014 = mile y.

Sphagnum: Kongerslev, gul

Grodan: B-10

x Ler: Kjellerup 40 kg/m²

x Kalk: pH 6,2

x Kontrol: 0 = gartneriblanding med ler, kalk og grundgødning.

Forsøgsplan

Forsøgsplanen fremgår af tabel 6.5.

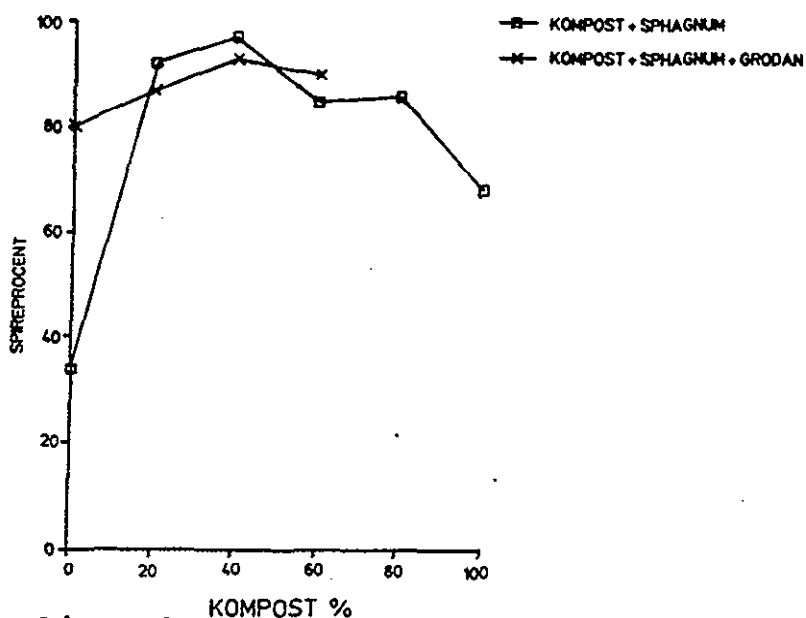
Blanding			
	kompost	sphagnum	grodan
0	x kontrol		
1	0	100	0
2	20	80	0
3	40	60	0
4	60	40	0
5	80	20	0
6	100	0	0
7	0	80	20
8	20	60	20
9	40	40	20
10	60	20	20

Tabel 6.5.

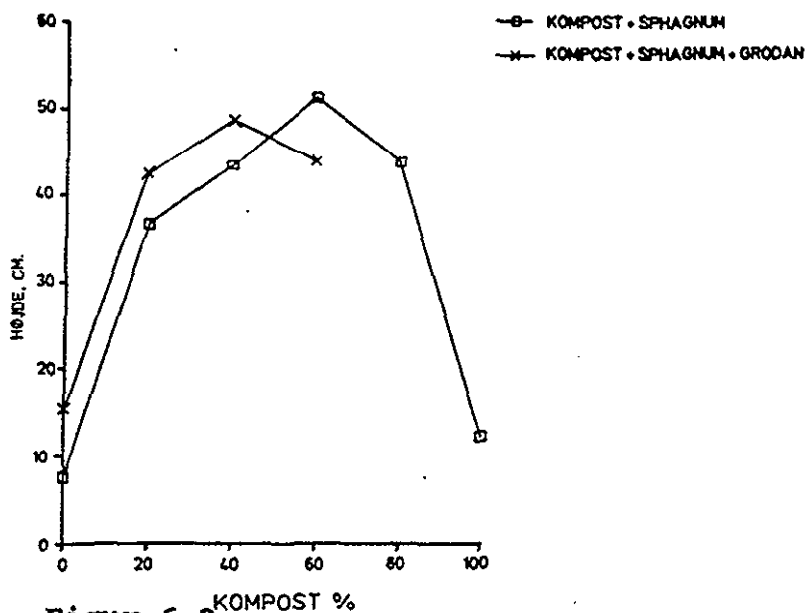
Forsøgsplan for 3. dyrkningsforsøg.

Resultater.

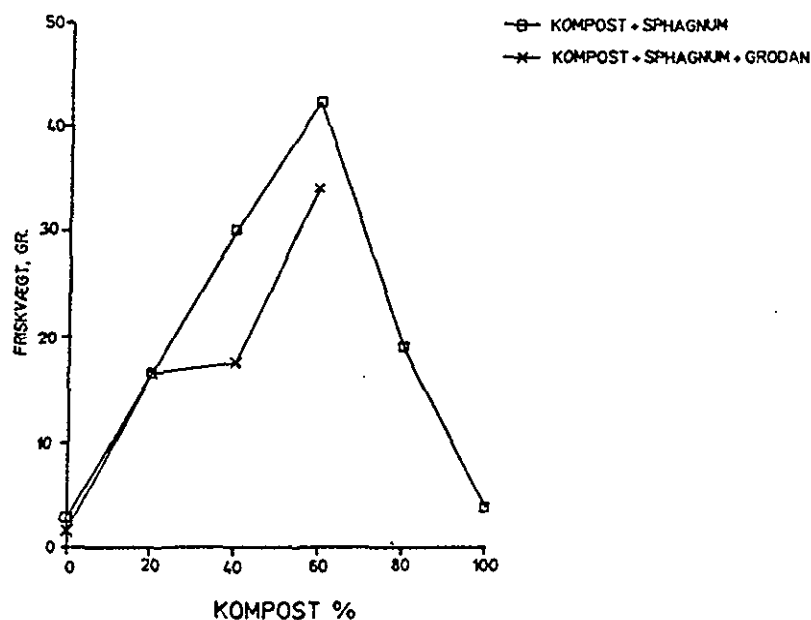
Figur 6.1, 6.2 og 6.3 viser spiringsprocent, højde (i cm) og stofproduktionen (friskvægt) af de forskellige forsøgsled.

Figur 6.1.

Spireprocent for gul sennep dyrket i kompost + sphagnum og kompost + sphagnum + grodan.

Figur 6.2.

Højde i cm af gul sennep dyrket i kompost + sphagnum og kompost + sphagnum + grodan.



Figur 6.3.

Friskvægt i g af gul sennep dyrket i kompost + sphagnum og kompost + sphagnum + grodan.

6.3.3.

Konklusion.

Spiringen i 100% sphagnum var meget lav. Iblanding af meget kompost (60-100%) i dyrkningssubstrat gav faldende spireprocent. Den højeste spireprocent fås ved 20-40 % kompostiblanding. Grodan øger kun spireprocenten ved stor (60 %) kompostiblanding.

De højeste produktionstal, målt som friskvægt, fås ved iblanding af 40-60 % kompost. Grodan øger ikke friskvægtudbyttet på nogle niveauer.

Under de givne forhold har gul sennep kvitteret bedre end chrysantemum (dyrkningsforsøg 1 og 2) for de større kompostkoncentrationer i dyrkningssubstratet.

KONKLUSION.

De 13 måneder med indsamling og kompostering af kildesorteret madaffald fra etageejendomme på Amager har givet en række erfaringer. Følgende konklusioner kan fremdrages.

Indsamling	Overordnet betragtet har indsamlingsdelen fungeret tilfredsstillende - dog med lavere indsamlingsmængde og i sommerperioden større lugt- og fluelarvegener i affaldsbeholderne end forudset. Det har medført en hyppigere vask af beholderne, end det var planlagt. Der er derfor behov for at arbejde videre med at finde den mest hensigtsmæssige måde at indsamle på, jvf. afrapporteringen af indsamlingsforsøget fra R98.
Indsamlingsmængde	Forsøgsordningen, der byggede på frivillig deltagelse, viste, at der ved kildesortering kan indsamles ca. 43% af madaffaldet svarende til ca. 10% af det samlede husholdningsaffald. Den potentielle mængde madaffald forudsættes at udgøre 23% af den samlede mængde husholdningsaffald.
Deltagelse	92% af husstandene deltog i den frivillige forsøgsordning, og sorteringsgraden var meget høj. Den indsamlede affaldsmængde tyder dog på, at den aktive deltagelse var lavere.
Papirposer	Anvendelse af papirposer i husstandene har fungeret tilfredsstillende. Poserne har tildels kunnet opsuge væden i madaffaldet, og hanken har været holdbar.
Komposteringsvarmeanlægget	Komposteringsforsøget har lidt under uforholdsmæssigt mange driftsstop med komposteringsvarmeanlægget (KV-anlægget). KV-anlægget var en prototype, med hvilken der ikke tidligere var udført forsøg med husholdningsaffald. Procesmiljøet i anlægget var mere aggressivt end erfaringer med svinegødning kunne forudsige. Især i starten af forsøgsperioden var miljøet i KV-anlægget meget surt. Dette har bevirket en kraftig tæring af struktureringsenheden i KV-anlægget. Anlægget har sammenlagt været i drift i 26 uger ud af periodens 60 uger.

Der var problemer med såvel struktureringsenheden, som indmaderen, udmaderen, ristene i bunden, afløbet, diverse kontakter samt el-forsyningen.

Det vurderes at være en alvorlig ulempe, at struktureringsenheden konstant var i procesrummets meget aggressive miljø, som forårsagede en kraftig tæring.

Det var den generelle opfattelse, at selv med den gennemførte renovering af KV-anlægget, samt udskiftning af el-kabler og indsættelse af komponenter af rustfrit stål i kammeret, kunne forventes driftsstop af kortere eller længere varighed ved en fortsat drift med KV-anlægget.

Temperatur

Temperaturen under forkomposteringen i komposteringsvarmeanlægget var 40-50°C, hvilket er ca. 10°C under det ønskede niveau for at sikre en effektiv hygiejnisering. Det skyldtes formentlig, at affaldsmængden i kammeret havde for stor en varmeafgivelse i forhold til lagtykkelsen.

Procestemperaturen bør kunne forøges ved at minimere friskluftindtaget eller forøge affaldsmængden i kammeret.

Eftermodning

Eftermodningen i miler fungerede efter hensigten. Beluftningskanalerne havde en god funktion også ved naturlig luftgennemstrømning. Fordampningen fra milerne var så stor, at der ikke sivede vand ned i kanalerne.

Når råkomposten efter komposteringsvarmeanlægget blev lagt i mile steg temperaturen til et maksimum på 60-70°C og holdt sig på 50-60°C i 2 - 3 uger.

Regnormebænke

Regnormebænkene dannede ligeledes tilfredsstillende fysiske rammer omkring regnormekomposten. Heller ikke her blev der konstateret drænvand, så drænkkanalerne kunne være sparet.

Maskiner

Kompostvendemaskinen og tromlesigten fungerede efter visse tilpasninger godt.

Forsøgsplan

Den oprindelige forsøgsplan måtte indskrænkes som følge af de mange driftsstop med komposteringsvarmeanlægget. Derfor var det ikke muligt at lave gentagelser af forsøgene.

Arbejdsmiljø

Da anlægget havde været i drift i en periode, var det klart, at der opstod arbejdsmiljøproblemer som følge af bl.a. endotoksiner, svampesporer og støv. Derfor blev indmadningsbordet og milepladsen inddækket og forsynet med punktudsugning, som blev ført op til de eksisterende ventilatorer. Dette reducerede samtidig støjgenerne til et minimum.

Endvidere blev personalet udstyret med friskluftforsynet åndedrætsværn.

Sammenfattende kan det konkluderes at et evt. lignende anlæg i fremtiden ikke skal placeres i et telt.

Kemiske analyser

Der blev udført kemiske analyser for tørstofindhold, organisk tørstofindhold, pH, Lt, C, N, NO₃, NH₄, P, K, Mg, Ca, Na, Mn, Zn og B. Et gennemsnit for alle forsøgsled fremgår af tabel 7.1.

Gennemsnit	Affald	Halm	Råkompost	Milekompost, uger		
				2	4	6
Tørstof-%	30	85	35	46	41	41
Aske-%	8	6	11	18	22	24
pH, frisk	5,0	-	5,0	8,0	8,0	8,5
Lt	2	-	3	3	3	3
C-%	47,0	-	46,7	42,5	42,0	40,7
N-%	2,14	0,66	2,36	2,82	2,46	3,63
heraf:						
NO ₃ -N, ppm	42	-	-	-	-	120
NH ₄ -N, ppm	95	-	-	-	-	61
P-%	0,45	0,16	0,53	0,79	0,61	0,96
K-%	0,79	0,39	0,88	1,15	-	1,84
Mg-%	0,10	0,14	0,12	-	-	0,27
Ca-%	1,45	0,24	0,93	0,46	-	3,84
Na-%	0,30	0,03	0,35	0,43	-	0,76
Mn, ppm	-	-	-	-	-	178
Zn, ppm	-	-	-	-	-	249
B, ppm	-	-	-	-	-	20
C/N	22	-	20	15	17	11

Tabel 7.1.

Kemisk sammensætning af affald; halm, råkompost og milekompost, procent af tørstof, gennemsnit af alle forsøgsled.

Tørstofprocenten steg gennem komposteringsprocessen fra ca. 30% i affaldet til 40-45% i den færdige kompost.

Samtidig var der et samlet tørstoftab på ca. 40-60% i KV-anlægget og ca. 15-25% under eftermodningen, ialt ca. 80%.

Indholdet af organisk tørstof faldt som følge af omsætningen. Omsætningsgraden var ca. 70% efter KV-anlæg og milekompostering i 6-8 uger.

pH-værdien steg generelt 1-2 enheder i milerne. Ialt steg pH fra ca. 5,0 i affaldet til ca. 8,0 i den færdige kompost.

Kulstofprocenten faldt gennem komposteringsprocessen, som følge af CO₂-fordampning og koncentrering af tørstoffet.

Kvælstofprocenten ser umiddelbart ud til at være steget gennem komposteringsprocessen, men når der korrigeres for tab af vand og CO₂ (tørstoftab), ses et reelt fald i kvælstofindholdet på ca. 40%, heraf halvdelen i KV-anlægget. ↵

C/N forholdet faldt fra gennemsnitlig 22 i affaldet til ca. 14 i den færdige kompost.

Perkolatet fra KV-anlægget indeholdt ikke i følge de gennemførte målinger nogle næringsstoffer af betydning.

Fysiske og mekaniske

Den gennemsnitlige massefylde af den færdige kompost var ca. 0,45 kg/l.

Sandprocenten i komposten var høj, ca. 10%.

Den færdige kompost havde en vandholdende evne på niveau med sphagnum. Ca. 36 volumenprocent af komposten kan indeholde vand, der er tilgængeligt for planterne.

Indholdet af ombyttelige kationer (CEC) i komposten var ca. 200 mækv./100 g.

Forsøgsled

Der blev gennemført 4 forsøgsled i KV-anlægget. Opholdstiden blev varieret, 1 og 2 uger, og halmtilsætningen blev varieret, 5 og 10%. Under eftermodningen i miler blev milerne beluftet aktivt og passivt.

Det havde ingen betydning for pH, P- og K-indhold eller ledningsværdi, hvilken af de 6 behandlinger komposten fik.

Opholdstid og halmiblanding har derimod betydning for kvælstofindholdet (målt som nitratværdi, Nv). Nv var højest, når komposten blev i-blandet 5% halm og ved en opholdstid på 2 uger. Beluftningen af milerne havde ingen indflydelse på pH, P-, K- og N-indhold eller ledningsværdien.

Stigningen i tørstofindhold gennem KV-anlægget var ikke påvirket af halmtilsætningen eller opholdstiden i KV-anlægget. Der skete en større udtørring af komposten i de aktivt beluftede miler end i de passivt beluftede. Det samlede tørstoftab var ikke påvirket af halmtilsætningen, derimod er der en tendens til, at 1 uges opholdstid gav mindre tørstof i forkomposteringen og større sigterest end 2 ugers opholdstid. Ligeledes er der tendens til, at 2 ugers opholdstid gav større mængde færdig kompost end 1 uges opholdstid.

Der er tendens til, at pH ligger ca. 1/2 enhed højere i de passivt beluftede miler end i de aktivt beluftede.

Tungmetalindhold

Tungmetalindholdet i affaldet fremviste følgende lave værdier, mg tungmetal/kg affalds tørstof (ppm), standardafvigelsen er angivet i % af gennemsnit:

Pb	21,	104%	Ni	5,6
Cd	0,1,	43%	Cu	28
Hg	0,1,	31%	Cr	14
As	0,5			

Tallene er et gennemsnit af alle 10 analyser, og den gennemsnitlige standardafvigelse i procent er 60.

I komposten var tungmetalindholdet også forholdsvist lavt, mg tungmetal/kg komposttørstof (ppm), standardafvigelsen er angivet i % af gennemsnit:

Pb	23,	37%	Ni	9,	10%
Cd	0,3,	18%	Cu	40,	8%
Hg	0,2,	32%	Cr	43,	11%
As	1,4,	14%			

Tallene er et gennemsnit af alle forsøgsled og alle målinger, og den gennemsnitlige standardafvigelse i procent er 29.

I "Bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost til jordbrugsformål" har Miljøstyrelsen fastsat grænseværdier for tungmetallindholdet i kompost. I forhold til de grænseværdier, der skal gælde for 1990-95 indeholder Amager-komposten 10-20% af det tilladte. Efter 1995 strammes grænseværdierne, således at Amagerkomposten indeholder 15-20% af de tilladte mængder.

Det er hermed vist, at der af madaffald kan produceres en kvalitetskompost med hensyn til et lavt tungmetallindhold.

Massebalance

Massebalancen for komposteringsforløbet viste, at processen var så effektiv, at den færdige kompost kun udgjorde ca. 20% af den indvejede affaldsmængde (friskvægt), og sigteresten kun udgjorde 2-3%.

Under forhold i stor skala skal sigteresten køres til forbrænding, og komposten skal anvendes som jordforbedringsmiddel.

Dyrkningsforsøg

Dyrkningsforsøg med Chrysanthemum og gul sennep har vist, at kompost i blanding med sphagnum har haft en særdeles gunstig effekt på handelsværdien, som er en sum af substrat, pH-justerings, Lt, rodning, plantevækst, total produktion, blomstring m.m. Et blandingsforhold mellem kompost og sphagnum på henholdsvis 20 og 80 % var optimalt. Denne blanding var lige så god eller bedre end gartnerens standardblanding af Grodan, sphagnum, ler, kalk og gødning. Regnormekomposten var på niveau med gartnerens standardblanding.

Både milekompost og regnormekompost kan med fordel anvendes som dyrkningssubstrat til pottekulturer (Chrysanthemum).

LITTERATURLISTE:

ALEXANDER (1927)

Alexander, M - Introduction to Soil Microbiology,
2. ed. pp. 128-147, pp. 224-249.

BERNTH og CHRISTIANSEN (1987)

Bernth, N., Christiansen, K. - Analyser af 8 prøver
af komposteret affald fra AFAV. Kemisk-Analytisk
Laboratorium, Teknologisk Institut.

DANIELSEN (1989)

Danielsen, Helle - Kar-, kasse- og pottforsøg med
kompost af kildesorteret husholdningsaffald, rap-
port. Inst. for kulturteknik og planteernæring,
KVL.

ELMLUND, HENTZE, MIKKELSEN og MORTENSEN (1980)

Elmlund, A., Hentze, E., Mikkelsen, T., Mortensen,
H. - Materialestrømme gennem private husholdninger.
4. del Materialer og dagrenovationen. Gendan a/s.

FÆLLES ARBEJDSMETODER FOR JORDBUNDSANALYSER (1986)

Landbrugsministeriet, H.M.Hedegård.

GENDAN (1986)

Pressemeddelelse 5/11.

GOLUEKE (1983)

Golueke, C.G. - Epidemiological Aspects of sludge
Handling and management, Biocycle, jul/aug. 24(4).
p.50-59.

HOFFMAN, CHRISTIANSEN, og JØRGENSEN, (1988)

Hoffman, L., Christiansen, K., Jørgensen, L. - For-
projekt, Kildesporing af bly og cadmium i kompost.
Rapport fra Renere Teknologi Center, Miljøteknik,
Teknologisk Institut.

HOVSENIUS, G. (1977)

Hovsenius, G. - Genereringstakt och sammensättning
av hushållsaffall i Laxå. Statens naturvårdsverk,
Fack S-171 20 Solna. SNV PM 902.

HÅNDBOG FOR PLANTEDYRKNING (1989)
Landbrugets informationskontor.

JENSEN og LETH (1985)

Jensen, B.E.; Leth, T. - Helsekostforretningernes varesortiment. Delrapport 2. Laboratorieundersøgelser og konklusioner. Statens Levnedsmiddelinstitut, Miljøministeriet, publ. nr. 111, ISBN 87-503-5730-1.

KOMPOSTTÖNNE GÖTTINGEN, ZWISCHENBERRIECHT (1986)

Zwölf Monate Erfahrungen mit dem System Komposttonne. Herausgeber: Der oberstadtdirektor der Stadt Göttingen.

LANDBRUGETS INFORMATIONS KONTOR, LIK (1988)

Kompostering af staldgødning, pjece.

LUNDSCAARD, SÖNDERRUP og THOMSEN (1987)

Lundsgaard, H., Sønderrup, M., Thomsen, J. - Genanvendelse af organisk dagrenovation fra private husstande i etageejendomme. Speciale i informationsspredning 6. semester fra Suhr's Seminarium.

MARKUSSEN (1986)

Markussen, L.B. - Regnormekompostering, en biologisk nicheproduktion i dansk landbrug. Meddelelse nr. 55 fra Jordbrugsteknisk institut, KVL.

MILJÖMINISTERIETS BEKENDTGÖRELSE nr. 736 af 26. okt 1989

Bekendtgörelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål.

PETTERSEN (1987)

Pettersen, C. - Vätt & torrt försök med åtevinning av hushållsavfall i Eslöv och Höör. Et REFORSK-projekt, Foll nr. 24.

RAFFALDI ET AL (1986)

Raffaldi et al - Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. Waste Management and Research, 4 (4), pp. 387-396.

STATISTISK ÅRBOG, DANMARK (1986)

Tabel 28, 57 og 62 under boligforhold.

THOSTRUP (1988)

Thostrup, P. - Kompostmetoder, anlægstyper i relation til teknik, miljø og økonomi. DAKOFA-seminar; Fremstilling og afsætning af kompost.

THOSTRUP og BERTHELTSEN (1983)

Thostrup, P., Berthelsen, L. - Komposteringsvarme fra fast staldgødning. Meddelelse nr. 43 fra Jordbrugsteknisk Inst., KVL.

WILLE (1988)

Wille, E. - Modningsundersøgelser af kompost. Litteraturreport over udvælgelse af analysemetoder. Eksamensprojekt ved Danmarks Ingeniørakademiske Kemiafdeling.

