Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 30 1991

De grønne huse, AFAV I/S

Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

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

628.473 : 628.4.032 : 628.1.042
B51-1
ex. 2

5679

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 30/1991

De grønne huse, AFAV I/S

Kompostering af kildesorteret grønt husholdningsaffald

Birger Lund A/S

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Rapporten er udgivet med tilskud fra Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi. De fremsatte synspunkter dækkes ikke nødvendigvis af Rådet eller Miljøstyrelsen.

Indholdsfortegnelse

Forord

1.	Sammendrag	10
1.1	Oplægget til "De grønne Huse"	10
1.2	Anlæg og maskinel	11
1.3	Proces	13
1.4	Produkt	15
1.5	Økonomi	16
1.6	Afsætning	18
2.	Baggrund og forventning	19
2.1	Baggrund	19
2.2	Forventninger	21
3.	Kildesortering og indsamling	23
3.1	Indsamlingsmetode	23
3.2	Affaldsmængder	24
	3.2.1 Potentielle mængder	24
	3.2.2 Aktuelle mængder	24
	3.2.3 Sæsonvariation	25
	3.2.4 Renhedsgrad	26
4.	Anlæg til forkompostering	27
4.1	Beskrivelse af bygninger	27
	4.1.1 Det anvendte areal	27
	4.1.2 Tunnelhal	28
	4.1.3 Forhaller	31
	4.1.3.1 Modtagehal	32
	4.1.3.2 Sigtehal	33
4.2	Beskrivelse af maskiner	34
	4.2.1 Traktorer	34
	4.2.2 Kompostvendemaskine	35
	4.2.3 Sigte	39
	4.2.4 Containere	40
4.3	Beskrivelse af kompostfilter	40

4.4 Beskrivelse af ventilation og beluftning 43

4.4.1 Ventilation af forhaller 43
4.4.1.1 Modtagehal 44
4.4.1.2 Sigtehal 44
4.4.2 Ventilation i tunnelen 45
4.4.3 Beluftning af milerne i tunnelen 46

5. Vurdering af anlæg til forkompostering..... 49

5.1 Vurdering af bygninger 49

5.1.1 Tunnelhal 49
5.1.1.1 Dimensionering 50
5.1.1.2 Materialer 52
5.1.2 Forhaller 52

5.2 Vurdering af maskiner 55

5.2.1 Traktorer 55
5.2.2 Kompostvendemaskinen 55
5.2.2.1 Kørsel i tunnelen 55
5.2.2.2 Indlastning af affald 57
5.2.2.3 Kørsel udenfor tunnelen 57
5.2.2.4 Konklusion 57
5.2.3 Sigte 58
5.2.4 Containere 58

5.3 Vurdering af kompostfilter 58

5.4 Vurdering af ventilation og beluftning 59

5.4.1 Vurdering af ventilation af forhallen 59
5.4.2 Vurdering af arbejdsmiljø 59
5.4.3 Vurdering af ventilation af tunnelhal 61
5.4.4 Vurdering af beluftning af miler i tunnelhal 62

6. Forkomposteringsprocessen.....68

6.1 Teori, praksis og problemer 68

6.1.1 Håndteringskæde og homogenisering 68
6.1.2 Beluftning 69
6.1.3 Opholdstid, sigtning og eftermodning 70

6.2 Gennemførte forsøg 71

6.2.1 Første forsøgsrunde 73
6.2.2 Anden forsøgsrunde 74
6.2.3 Tredje forsøgsrunde 76

6.2.4 Fjerde forsøgsrunde 77
6.2.5 Femte forsøgsrunde 78
6.2.6 Sjette forsøgsrunde 79

6.3 Resultater 79

6.3.1 Behandlede mængder, mileprofil, milehøjde 79
6.3.2 Massebalance 82
6.3.3 Tørstofændring 87
6.3.3.1 Prøveudtagning 87
6.3.3.2 Resultater 89
6.3.4 Omsætning af organisk stof 94
6.3.5 Temperatur 97
6.3.5.1 Målemetode 97
6.3.5.2 Resultater, mht. forsøgsrunder 100
6.3.5.3 Resultater, mht. gradienter 113
6.3.5.4 Resultater mht. hygiejniseringskrav 116
6.3.6 Konklusion 117

7. Eftermodning.....118

7.1 Beskrivelse 118

7.2 Resultater 119

7.2.1 Praktiske erfaringer 119
7.2.2 Massebalance 119
7.2.3 Tørstofændring 120
7.2.4 Temperaturudvikling 121
7.2.5 Modenhed 122

7.3 Konklusion 123

8. Kompostkvalitet.....125

8.1 Næringsstofindhold 125

8.1.1 Prøveudtagning 125
8.1.2 Resultater 126
8.1.3 Diskussion 128
8.1.4 Konklusion 131

8.2 Kompostdeklaration 132

8.2.1 Myndighedernes krav 132
8.2.2 Kompostdeklaration 133

8.3 Tungmetalanalyser 133

8.3.1 Prøveudtagning og analyseprogram 134
8.3.2 Resultater 135

8.3.3 Diskussion 136
8.3.4 Konklusion 142

8.4 Modenhedsanalyser 142

8.4.1 Formål og forsøgsbeskrivelse 142
8.4.2 Resultater 144
8.4.3 Diskussion og konklusion 146

8.5 Konklusion 150

9. Økonomi.....151

9.1 AFAV's pris 153

9.1.1. Forkompostering 153
9.1.1.1. Anlægsudgifter pr. år 153
9.1.1.2. Driftsomkostninger pr.år 154
9.1.1.3. Pris pr. t ialt 154
9.1.1.4 Forventet pris efter kapacitetsudvidelse 155
9.1.2. Eftermodning 156
9.1.2.1. Anlægsudgifter 156
9.1.2.2. Driftsomkostninger 156
9.1.2.3. Pris pr. t ialt 156
9.1.2.4 Forventet pris efter kapacitetsudvidelse 156
9.1.3. Samlet pris 157

9.2. Pris ved nyetablering 157

9.2.1. Forkompostering 157
9.2.1.1. Anlægsudgifter 157
9.2.1.2. Driftsomkostninger 158
9.2.1.3. Pris pr. t ialt 159
9.2.2. Eftermodning 159
9.2.2.1. Anlægsudgifter 159
9.2.2.2. Driftsomkostninger 160
9.2.2.3. Pris pr. t ialt 160
9.2.3. Samlet pris 160

10. Afsætning af komposten..... 161

10.1 Kompostkvalitet 161

10.1.1 Næringsindhold 161
10.1.2 Tungmetalindhold 161
10.1.3 Markeder 161

10.2 Afsætning indtil nu 162

10.2.1 Mængder 162
10.2.2 Tilfredshed med produktet 163

10.3 Afsætning fremover 164

10.3.1 Prisfastsættelse 165

10.4 Konklusion 165

Litteraturliste..... 167

Bilag (separat rapport):

Bilag 1: Bekendtgørelse nr. 736, 26.10.1989, om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål.
Bilag 2: 2 notater om beluftningsmålinger.
Bilag 3: Notat om temperaturmålinger.
Bilag 4: Analysemetoder, næringsstofanalyser.
Bilag 5: Analysemetoder, tungmetalanalyser.
Bilag 6: Driftsvejledning for De grønne Huse.
Bilag 7: Vurdering af tromleanlæg.
Bilag 8: Temperaturkurver, eftermodningsmiler.
Bilag 9: Analysemetode, modenhedsanalyser.
Bilag 10: Beluftningsmængder og spjældindstillinger.

Forord

Denne rapport beskriver og vurderer komposteringsanlægget "De grønne Huse" (AFAV I/S) og det ca. 1-årige komposteringsforsøg, der er gennemført i perioden november 1989 - januar 1991.

Forsøget har primært givet en række drifts- og økonomi-erfaringer om optimering i produktionen af kvalitetskompost udfra kildesorteret, grønt husholdningsaffald i et mellemteknologisk anlæg.

læsevejledning

Kompostering er en proces, der påvirkes af mange variable faktorer. For at sikre en logisk og letlæselig tekst, er beskrivelser og vurderinger opdelt i 3 hovedgrupper:

- bygninger og maskiner (kapitel 4 og 5)
- proces (kapitel 6 og 7)
- produkt (kapitel 8)

Indenfor hvert af disse kapitler er der knyttet kommentarer og bemærkninger, som henviser til en grundigere gennemgang i de øvrige kapitler.

Endvidere er indsamling og kildesortering kort beskrevet i kapitel 3, og økonomien i anlæg og produktion er beskrevet i kapitel 9.

Désuden er der i kapitel 1 udarbejdet et sammendrag, der dækker samtlige kapitler.

De detaljerede oplysninger om målinger, metoder m.m. er samlet i bilagsdelen. Bilagsdelen er udleveret til deltagerne i følgegruppen. Andre interesserede kan rekvirere bilagene ved henvendelse til Birger Lund A/S.

følgegruppe

Til at følge projektets udvikling og drøfte resultaterne af forsøg og drift blev der nedsat en følgegruppe bestående af

Lone Lykke Nielsen	Miljøstyrelsen
Claus Petersen	RenDan
Flemming Skov	AFAV I/S
Jørgen Hildebrandt	AFAV I/S
Birger Lund	Birger Lund A/S
Anne Bechsgaard	Birger Lund A/S

Projektet er støttet af Genanvendelsesrådet.

Birger Lund A/S har projekteret anlægget, udarbejdet driftsvejledning, gennemført forsøg samt afrapporteret projektet.

1. Sammendrag

1.1 Oplægget til "De grønne Huse"

baggrund

AFAV I/S har siden 1978 behandlet husholdsningsaffald i et tromleanlæg. Udvalgte områder, med ialt 8500 husstande, i AFAVs 8 kommuner har siden 1986 kildesorteret deres husholdningsaffald i en organisk del (grøn) og en rest del. Siden kildesorteringen blev indført, har tromleanlægget periodevis kørt udelukkende med grønt affald. På baggrund af de erfaringer, der er opnået med indsamling og behandling af det grønne affald, besluttede AFAV I/S i 1988 at opføre et selvstændigt anlæg, "De grønne Huse", til behandling af det grønne affald. Samtidig blev indsamlingsområdet for kildesorteret husholdningsaffald udvidet til 18.000 husstand.

De grønne Huse blev opført som et demonstrationsanlæg med økonomisk støtte fra Genanvendelsesrådet.

formål

Formålet med opførelsen af De grønne Huse var at undersøge, om man af husholdningsaffald kunne fremstille en kvalitetskompost i et anlæg

- uden lugtgener til det ydre miljø
- med effektiv hygiejnisering
- med minimale anlægs- og driftsudgifter
- uden arbejdsmiljøproblemer

De grønne Huse på AFAV har været i drift fra nov. 1989 til jan. 1991. Gennem drift og forsøg er der opnået en række resultater, der kan sammenfattes til følgende erfaringer og konklusioner:

indsamling

Det kildesorterede grønne affald blev indsamlet fra 18.000 husstande hver 14. dag, i en turnusordning, således at der kom affald til AFAV mandag til fredag.

mængder

Der blev i perioden 1.5.1989 til 1.1.1991 indsamlet ca. 90 t grønt affald pr. uge. Der har ikke været store sæsonmæssige udsving i affaldsmængden.

renhed

Renhedsgraden af det indsamlede affald har været faldende i forsøgsperioden. Dette ses tydeligt i den færdige komposts indhold af tungmetaller. Den dårligere sortering skyldes formodentlig dalende motivation, der i givet fald kunne afhjælpes ved udsendelse af mere informationsmateriale.

1.2 Anlæg og maskinel

De grønne huse består af en tunnel, der er 24 x 9 x 4 m (l x b x h).

tunnel

Tunnelen er udført som en tæt konstruktion for at undgå lugtgener i det ydre miljø og for at kunne holde en konstant temperatur omkring milerne. Tunnelhallen har fungeret tilfredsstillende og levet op til forventningerne med hensyn til at modstå det meget aggressive miljø.

Tunnelhallen blev dimensioneret ud fra en forventning om, at kontrolleret kompostering kunne opnås ved temperaturer på 55°C eller derover i én uge. Imidlertid viste det sig ved udsendelse af bekendtgørelse nr. 736 af 26.10.1989 om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål, at der krævedes temperaturer på 55°C eller derover i to uger for at det færdige kompostprodukt kunne kaldes kontrolleret komposteret.

Ved fremtidige anlæg med samme kompostvendemaskine bør tunnelens mål være ca. 50 x 8 x 4 m (l x b x h). Tunnelen bør være dobbelt så lang, for at komposten kan gennemgå en kontrolleret kompostering i tunnelen i stedet for på eftermodningspladsen. Tunnelen bør, hvis der ikke ønskes en skillevæg, være smallere for at mindske det luftvolumen, komposten skal opvarme. En skillevæg har den fordel, at den muliggør produktion i den ene tunnel, hvis der skulle indtræde driftsstop med tømning til følge i den anden tunnel.

Der blev behandlet ca. 46 t affald pr. uge i De grønne Huse i uge 13-47, 1990. I slutningen af forsøgsperioden blev der fundet frem til en forbedret indlastningsmetode, således at der kunne behandles ca. 80 t affald pr. uge i De grønne Huse.

Den forbedrede indlastningsmetode og dermed større indlastet mængde affald blev etableret

ved optimering af kompostvendemaskinens hastighed (både mht. fremkørsel og pick-up-tromlens hastighed), staksætterens facon og transportbåndets effekt.

beluftning

Kompostmilerne i tunnelen kan beluftes nedefra gennem 5 beluftningsgruber i hver mile. Disse beluftningsgruber skulle samtidig fungere som afløb for procesvand.

Ved fremtidige anlæg bør der etableres et andet system til afløb af procesvand og beluftning af milerne, så det bliver mindre følsomt overfor tilstopning med kompostmateriale.

Som følge af tilstopning af beluftningsgruberne blev beluftningen af milerne ikke tilfredsstillende. Der blev gennemført målinger af ydelse og modtryk på beluftningsventilatorerne. Ud fra disse målinger skønnes det, at modtrykket i rør, gruber og kompostmile var ca. 135 mmVS i begyndelsen af milen (ved indlastning) og ca. 110 mmVS i slutningen af milen. Dette modtryk har de benyttede beluftningsventilatorer ikke kunnet overvinde p.g.a. tilstopning i gruberne. Det høje modtryk kan f.eks. mindskes ved

1) ændret beluftnings- og afløbssystem.
2) en mindre kompakt mile.

En mindre kompakt mile kunne f.eks. fås ved tilsætning af halm til affaldet.

forhaller

For hver ende af tunnelen er der opført forhaller, kaldet modtagehal og sigtehal. Forhallerne har opfyldt deres formål nemlig at reducere lugten til det ydre miljø. Til gengæld har de resulteret i et mere belastende arbejdsmiljø.

Arbejdsmiljøproblemet er søgt afhjulpet gennem ventilation og opsætning af skærmgardiner. Endvidere er der påbud om brug af åndedrætsværn under længere ophold uden for traktoren ved indlastning, udlastning og sigtning af affald og råkompost.

ydre miljø

Den luft, der blev suget ud fra tunnelen og de to forhaller, blev renset gennem et kompostfilter bagved De grønne Huse. Kompostfilteret rensede luften, så der ikke kom lugtgener til det ydre miljø.

vendemaskine

Til vending af milerne blev benyttet en specialbygget kompostvendemaskine fra Veflinge Maskinfabrik. I løbet af indkøringsperioden (de første 3 måneder) blev der gennemført en række

tilpasninger og småændringer på maskinen. Endvidere blev der på maskinen monteret to bevægelige "skrabere" foran trækhjulene. Disse "skrabere" skal sikre, at maskinen kan køre, selvom der ligger affald i køresporet.

andre maskiner

Udover kompostvendemaskinen blev der anvendt 2 traktorer, 2 mini-containere og en sigte. Disse maskiner/ordninger har fungeret fuldt ud tilfredsstillende.

arbejdsmiljø

Der blev i maj 1990 gennemført et omfattende måleprogram med hensyn til svampe, bakterier, endotoxiner, støv m.m. i forhallerne. Ingen af disse målinger indikerede høje belastninger. Undersøgelsen indskærper dog vigtigheden af brug af åndedrætsværn under sigtning af råkompost og rengøring af maskiner og forhaller.

Opsætningen af skærmgardiner har kun delvis afhjulpet lugtgener m.m. i forhallerne.

I tilknytning til de arbejdsmiljømæssige målinger af luften i forhallerne, blev de to ansatte på anlægget undersøgt. De ansatte fik testet deres åndedrætsfunktioner, og der blev taget blodprøver m.m. Ingen af undersøgelserne tydede på, at de ansatte var påvirket af arbejdet på anlægget.

eftermodning

Råkomposten blev eftermodnet i udendørs miler i 3-4 måneder. Milerne blev beluftet aktivt og passivt gennem kanaler i bunden. Endvidere blev de vendt hver 3.- 4. uge.

1.3 Proces

Når det grønne affald blev modtaget på AFAV, var det maximalt 14 dage gammelt. I De grønne Huse blev affaldet omdannet til råkompost i løbet af 7 dage. Forkomposteringsprocessen foregik i to miler. Hver mile var ca. 2 m bred. Ved oplægning var milerne ca. 2 m høje og ved udlastning ca. 1 m høje. Milerne blev vendt en gang dagligt, 5 dage om ugen. Under vendingen blev af-faldet flyttet ca. 5 m ned i tunnelen, og den sidste femtedel af affaldet blev flyttet helt ud af tunnelen. På denne måde blev der plads til indlastning af nyt affald.

massebalance

Følgende massebalance var forventet for den totale omsætning af affaldet (det vil sige for-

kompostering i De grønne Huse + udendørs eftermodning):

100 kg affald → 20 kg kompost (50% ts)
100 kg affald → 20 kg sigterest

Følgende massebalance blev opnået:

100 kg affald → 15 kg kompost (50-60% ts)
100 kg affald → 28 kg sigterest

sigterest

Sigterestens andel var større end forventet. Dette skyldes udelukkende dårligere kildesortering end forventet og ikke, at sigteresten indeholdt meget organisk materiale. Sigteresten er velegnet til forbrænding i kraftvarmeværker, da den overvejende består af plast.

kompost

Mængden af færdig kompost var lidt mindre end forventet.

temperatur

Temperaturen i miler og tunnel lå i gennemsnit på ca. 45°C. Dette er ca. 10°C under den forventede temperatur under for-komposteringsprocessen. Imidlertid er reglerne for hygiejnisering af kompost blevet fastlagt således, at en kontrolleret kompostering kræver 2 ugers kompostering ved 55°C eller derover. Da affaldet kun ligger i tunnelen 1 uge, er ønsket om at opnå 55°C i tunnelen blevet mindre vigtigt at opfylde. Kravene til hygiejnisering opfyldes i stedet på eftermodningspladsen.

De højeste temperaturer blev opnået i 2. forsøgsrunde. Her blev beluftet med ca. 300 m^3/h pr. grube i den sidste femtedel af tunnelen, og med ca. 185 m^3/h pr. grube i resten af tunnelen. I alt blev der beluftet med ca. 1050 m^3/h pr. mile. Heraf var ca. 40% frisk luft og ca. 60% recirkuleret luft.

haveaffald

Der blev gennemført to forsøgsrunder med tilsætning af haveaffald. Her blev det erfaret, at tilsætning af 5-15% haveaffald bedrede mileprofilen og milehøjden. Det medførte, at milerne blev højere og mere stabile. Endvidere øgedes omsætningen af organisk stof under for-komposteringen med 30-50%. Der blev, mod forventning, ikke målt højere temperaturer efter tilsætningen af haveaffald.

længere opholdstid

Der blev gennemført forsøg med en opholdstid i tunnelen på 14 dage mod normalt 7 dage. Herved blev anlæggets kapacitet nedsat til det halve, idet der kun blev indlastet affald hver anden dag. Ved 14 dages opholdstid blev omsætningen af organisk stof i tunnelen øget med ca. 60%, og den totale omsætning af organisk stof gennem hele komposteringsforløbet blev øget med ca. 10%. Der blev, mod forventning, ikke målt højere temperaturer ved længere opholdstid.

eftermodning

Temperaturen i milerne var konstant i måleperiodens 5 måneder over 55°C undtagen lige efter vending eller kraftig beluftning. Herved blev Miljøstyrelsens regler for kontrolleret kompostering overholdt.

Komposten er ifølge de undersøgte parametre moden efter 3½-6 måneder. Den nødvendige modningstid er helt afhængig af, hvem der skal bruge komposten. Kompostens indhold af tungmetaller er stabilt efter 20 ugers modning. For at kunne dokumentere tungmetalindholdet i forhold til kravene i Bekendtgørelse nr. 736, 26.10.89 skal komposten minimum være 20 uger.

1.4 Produkt

færdig kompost

Den færdige kompost blev analyseret for næringsindhold og tungmetalindhold. Endvidere blev der lavet modenhedsforsøg med spiring af karsefrø.

tørstof%

Den færdige komposts tørstofindhold var 50-60%, og dens massefylde var ca. 0,3 kg/l. pH i komposten var ca. 7.

kvælstof

Indholdet af total-kvælstof var 3,5-4,0 g/l kompost. Indholdet af ammonium- og nitrat-kvælstof var ca. 0,4 g/l.

fosfor og

Indholdet af citratopløseligt fosfor var ca. kalium 0,7 g/l. Indholdet af vandopløseligt kalium var ca. 1,7 g/l kompost.

Ved anvendelse af komposten på landbrugsjord doseres komposten efter afgrødens P og K behov. Komposten vil kunne dække de fleste afgrøders P og K behov. Derefter suppleres med N-gødning.

ledningsevne

Kompostens ledningsevne var ca. 1,1 mS/cm.

deklaration

På baggrund af de gennemførte analyser er der udarbejdet en deklaration jævnfør Gødningstilsynets retningslinier. Ved anvendelse af komposten på landbrugsjord, bør komposten doseres efter afgrødens fosfor- og kaliumbehov. Derefter suppleres med kvælstof ved hjælp af en anden gødning.

tungmetaller

Der blev udtaget prøver til tungmetalanalyser 12 gange i løbet af forsøgsperioden.

Kompostens gennemsnitlige indhold af tungmetaller var, udtrykt som ppm i tørstof: (standardafvigelse i % af gennemsnit)

Pb	93	(50)
Cd	0,83	(69)
Hg	0,22	(32)
Ni	12,8	(29)

Komposten overholder umiddelbart Miljøstyrelsens grænseværdier for indhold af tungmetaller. Der er imidlertid i løbet af forsøgsperioden sket en udvikling i retning af højere tungmetalindhold. I en enkelt analyse blev der fundet et bly-indhold på 192 ppm i tørstof. Sorteringsgraden af affaldet synes at være den mest bestemmende faktor for tungmetalindholdet i den færdige kompost.

Udover bly, cadmium, kviksølv og nikkel blev komposten analyseret for krom, kobber, arsen, cobolt, zink, tin, mangan og jern.

modenhedstest

Kompostens modenhed blev undersøgt ved hjælp af spiringsforsøg med karsefrø. Når komposten er ca. 20 uger, er germinationsindexet omkring 80, hvilket er yderst tilfredsstillende. Komposten kan således efter 20 uger betegnes som moden i følge denne test.

1.5 Økonomi

2 priser

Der er beregnet 2 priser på behandling af affald i tunnelanlægget.

AFAV's pris:

den pris, det i 1989/90 har kostet AFAV I/S at behandle affaldet. Prisen er beregnet udfra de faktiske omkostninger og er baseret på 1989/90-prisniveau.

Pris ved nyetablering:

den pris, det skønsmæssigt vil koste et lignende affaldsselskab at behandle affald ved etablering af et tilsvarende anlæg helt fra grunden. Prisen er baseret på 1991-prisniveau.

Prisen for at behandle 1 t affald på AFAV I/S kan opdeles i 3 del-priser:

1) forkompostering (i tunnel eller tromle)
2) eftermodning udendørs
3) daglig drift (ledelse, administration, bygninger, skatter og afgifter, faciliteter m.m.)

daglig drift

Prisen på "daglig drift" antages i disse beregninger at være ens for de 2 situationer.

Prisen på daglig drift er beregnet til ca. 225 kr./t.

AFAV's pris

Det er beregnet, at forkompostering af grønt affald ved en kapacitet på ca. 3200 t/år koster ca. 470 kr./t. Heraf er ca. 2/3 anlægsudgifter og ca. 1/3 driftsomkostninger. Ved en kapacitetsudvidelse til ca. 4000 t/år vil prisen på forkompostering være ca. 390 kr./t.

Det er beregnet, at eftermodning af grønt affald ved en kapacitet på ca. 3200 t affald pr. år koster ca. 230 kr./t. Der er ikke regnet med udgifter til anlæg. Ved en kapacitetsudvidelse til ca 4000 t/år vil prisen på eftermodning være ca. 220 kr./t.

Den samlede pris for behandling af grønt affald i det nuværende anlæg er således beregnet til:

Ved 3200 t/år		Ved 4000 t/år	
daglig drift	225		225
forkompostering	470		390
eftermodning	230		220
Ialt kr./t	925	Ialt kr./t	835

pris ved nyetablering

Det er skønnet og beregnet, at forkompostering af grønt affald i et nyetableret anlæg med en kapacitet på ca. 5000 t/år koster ca. 300 kr./t. Heraf er ca. 2/3 anlægsudgifter og ca. 1/3 driftsomkostninger.

Det er skønnet og beregnet, at eftermodning af grønt affald i et nyetableret anlæg med en kapacitet på ca. 5000 t affald pr. år koster ca.

350 kr./t. Heraf er ca. 2/5 anlægsudgifter og ca. 3/5 driftsomkostninger. De høje driftsomkostninger skyldes primært udgifter til afsætning af sigteresten.

Den samlede pris for behandling af grønt affald i et nyetableret anlæg med en kapacitet på ca. 5000 t/år skønnes således at være:

Ved 5000 t/år	
daglig drift	225
forkompostering	300
eftermodning	350
Ialt kr./t	875

tromleanlæg

Disse priser skal sammenlignes med den samlede pris ved behandling af affald i det eksisterende tromleanlæg. Denne pris er af AFAV I/S skønnet at være ca. 1000 kr./t.

1.6 Afsætning

produktion

De grønne Huse producerede i 1990 ca. 350 t kompost med et tørstofindhold på 55-60%.

marked

Komposten kan, jvf. Bekendtgørelse nr. 736, 26.10.89, afsættes til landbrud, skovbrug, gartnerier, have-, park- og kirkegårdsdrift, dog ikke private haver p.g.a. for højt blyindhold.

I AFAV-området er der ca. 12 økologiske landbrug med et areal på ca. 360 ha.

dosering

Komposten må, jvf. ovennævnte bekendtgørelse, maximalt doseres med 10 t tørstof pr. ha pr. år. AFAV's nuværende produktion dækker ca. 6% af det potentielle økologiske landbrugsareal, hvis der doseres maximalt.

afsætning indtil nu

Hidtil er komposten fra De grønne Huse afsat til økologiske landmænd, Hedeland I/S og til landsforsøgene. Samtlige aftagere har været tilfredse med komposten.

afsætning fremover

Det er AFAV's holdning til afsætning af komposten, at den skal afsættes i store portioner til få aftagere for at minimere administrations- og transportomkostningerne.

2. Baggrund og forventninger

2.1 Baggrund

"AFAV"

"AFAV" står for Affaldsdestru Frederiksborg Amt Vest. Interessentselskabet AFAV I/S består af Frederikssund, Frederiksværk, Helsinge, Hundested, Jægerspris, Slangerup, Stenløse og Ølstykke kommuner.

det grønne affaldssystem

Genanvendelsesrådet bevilgede i april 1986 2.9 mill. kr. til et 1-årigt forsøg med "Det grønne Affaldssystem i AFAV". Dette forsøg er afrapporteret i Miljøprojekt nr. 141, 1990.

Forsøget skulle vise, om det var muligt ved kildesortering at fremstille en kompost med et så lavt tungmetalindhold, at den kunne sælges uden restriktioner med hensyn til anvendelse.

sorteringsgrad

Forsøget viste, at husstandene er meget villige til at sortere husholdningsaffaldet i hhv. en grøn, komposterbar fraktion og en rød restfraktion. Forsøget blev gennemført i udvalgte områder i de 8 kommuner. Over 99% af de udvalgte husstande deltog i forsøget, og over 90% sorterede affaldet i grønt og rødt affald. Endvidere frasorteredes aviser og glas til kommunale genanvendelsesordninger.

kompostkvalitet

Forsøget viste endvidere, at kompostkvaliteten blev væsentligt forbedret ved kildesortering. Indholdet af tungmetaller blev reduceret til 1/10 - 1/4 af koncentrationen før kildesortering indførtes (Miljøstyrelsen, 1990).

Komposten blev fremstillet ved den metode, der hidtil var anvendt: forkompostering i tromle samt eftermodning i miler.

afsætning

På baggrund af resultaterne fik AFAV en §11-tilladelse til at afsætte denne grønne kompost til landbrug, erhvervsgartnerier og private på visse vilkår (Miljøstyrelsen 1988). Vilkårene for anvendelse på landbrugsjord og i gartnerier forventes at kunne overholdes uden, at komposten bliver blandet op med f.eks. grus, såfremt husstandene kan opretholde en sorteringsgrad for grønt affald på ca. 90%. Derimod vil vilkårene for privat anvendelse ikke kunne over holdes uden, at der sker en opblanding med andre materialer.

Dette skyldes især kravet til det maksimale indhold af bly. Af hensyn til sundhedsrisikoen for børn er grænseværdien ved privat anvendelse foreslået sat til 40 ppm bly pr. kg. 40 ppm (mg bly/kg jord) er lidt over baggrundsniveauet for landbrugsjord, mens niveauet i byjord normalt ligger på 60 - 120 ppm bly (Larsen, 1988). Indholdet af bly i grøn kompost fra AFAV er på ca. 100 ppm.

Miljøstyrelsens tidligere direktør Jens Kampmann har i forbindelse med drøftelserne vedrørende komposttilladelsen tilkendegivet, at man bakker AFAV op i bestræbelserne på at få etableret et velfungerende grønt affaldssystem omfattende samtlige husstande i AFAV kommunerne.

Bestyrelsen i AFAV tog på denne baggrund komposttilladelsen til efterretning og besluttede derefter at udbygge Det grønne Affaldssystem til i første omgang at omfatte 18.000 enfamilie-boliger.

tromleanlæg

Forsøget i 1987 viste imidlertid, at grønt affald kun kan overholde de nye vilkår med hensyn til tungmetalindhold, såfremt komposttromlen renses for 35 - 40 tons usorteret husholdningsaffald (sort affald) iblandet slam, mellem hver gang der køres grønt og sort affald igennem. Der vil således først kunne køres rent grønt affald i komposttromlen, når samtlige husstande er gået over til det grønne system, og der er fundet en alternativ løsning på slambortskaffelsen.

Forsøget viste også at komposttromlen, som er bygget i 1978 til behandling af usorteret affald iblandet slam, teknisk ikke er tilpasset behandlingen af grønt affald, og sandsynligvis på nogle områder er teknologisk forældet. Endvidere gav anlægget anledning til lugtgener, med deraf følgende klager fra naboer.

Bestyrelsen for AFAV fandt det på daværende tidspunkt af afgørende betydning, ikke alene for AFAV men for kompostsagen som sådan, at det grønne affaldssystem blev gjort permanent og blev udbygget hurtigst muligt. Endvidere var det vigtigt overfor husstandene at påvise, at komposten kunne anvendes under de nye vilkår.

Andre kommuner i landet overvejer at indføre grønne affaldssystemer til husholdningsaffald, men afventer AFAV's erfaringer på baggrund af den givne § 11-godkendelse.

Forudsætningerne for at kunne indhente driftserfaringer på grundlag af Miljøstyrelsens vilkår var et anlæg, der kunne arbejde uafhængigt af AFAV's eksisterende anlæg og med en tilstrækkelig kapacitet.

2.2 Forventninger

Ovennævnte overvejelser begrundede opførelsen af et parallelt komposteringsanlæg, der samtidig kunne være et demonstrationsanlæg for fremtidens affaldskomposteringsanlæg.

kort beskrivelse

Demonstrationsanlægget består af en 25 m lang lukket tunnel, hvori der kan ligge to kompostmiler.

fordele

Da demonstrationsanlægget er et lukket system, forventes følgende fordele fremfor AFAV's tidligere system.

lugt

- Lugtreduktion:

  Den kraftige proces i starten af komposteringen sker i en lukket tunnel med lufttilførsel. Afgangsluften renses i et kompostfilter.

  Efter 7-14 dage i tunnelen er materialet omsat i en sådan grad, at det lugter mindre under eftermodningen i miler.

  Lugtgener under aflæsning og opbevaring af affaldet (maximum 5 timer) inden det behandles i anlægget forhindres. Der er opført en modtagehal, hvorfra udsugningsluften renses gennem et kompostfilter.

hygiejnisering

- *Hygiejnisering:*

  Temperaturen i tunnelen antages at kunne ligge imellem 55 - 60°C. Da husholdningsaffaldet vil være i tunnelen 7 - 10 dage er hygiejniseringen af komposten sikret.

økonomi

- Anlægs- og driftsomkostninger:

  Demonstrationsanlægget forventes at have lave driftsomkostninger, idet det kan drives af 1-1½ person. Driftsomkostningerne forventes i et færdigt anlæg at ligge på ca. det halve af driftsomkostningerne i det nuværende AFAV-anlæg (tromlen).

Den kraftige omsætning under forkomposteringen i tunnelen vil reducere den samlede behandlingstid til det halve eller derunder. Dette betyder alt andet lige mindre anlægsudgifter.

Komposteringsmetoden vil medføre, at der opnås en større reduktion i materialemængden under forkomposteringen. Der bliver således mindre mængder råkompost til eftermodning, og sigteresten forventes også mindsket væsentligt. Det betyder mindre materiale til deponering/forbrænding.

modul-anlæg

Opbygningen af demonstrationsanlægget i moduler forventes at give anlægget følgende fordele:

- Driftsvariable som opholdstid, beluftningsmængde og temperatur kan undersøges sideløbende på ens affald. Sektionsopdelingen muliggør, at forsøg kan udføres uafhængigt af anlæggets øvrige behandling.

- Modulernes størrelse er valgt, så de forventes at passe til fremtidige fuldskala-anlæg. De kan således indgå i det fuldt udbyggede anlæg. Erfaringerne fra demonstrationsforsøgene kan derfor bruges til dimensionering af anlæg til andre kommuner f.eks. Århus og Vejle, der overvejer at etablere grønne systemer.

arbejdsmiljø

Arbejdsmiljøforholdene kom til at spille en stor rolle ved udformningen af anlægget, da det blev bestemt, at indlastning og sigtning skulle foregå i haller. I det oprindelige oplæg til anlægsudformning skulle indlastning og sigtning foregå udendørs. Forhallerne blev opført for at undgå lugtgener til det ydre miljø. Forhallerne blev opført efter politisk pres fra Frederikssund Kommune, der har indbyggere forholdsvis tæt på AFAV. Der er lagt megen vægt på at afhjælpe de gener, der måtte være fremkommet som følge af, at en række arbejdsprocesser (aflæsning, indlastning af affald, sigtning og lignende) skal udføres i lukkede rum af hensyn til det eksterne miljø. Det vedrører bl.a:

- indretning af ventilationsanlæg
- regler for håndtering af affald
- arbejdsrutiner i tilfælde af driftsstop
- rengøringsprocedurer.

3. Kildesortering og indsamling

Dette kapitel beskriver kort indsamlingsmetoden og indsamlingsmængden. En grundigere beskrivelse af dette samt forsøg m.m. fås i Miljøprojekt nr. 141, 1990, fra Miljøstyrelsen.

3.1 Indsamlingsmetode

kildesortering

I AFAV-området indsamles det grønne affald i små (15 l) grønne plastposer i køkkenet. Derefter opsamles plastposerne udenfor huset i plastbeholdere på hjul (120 l) eller hos ca. 20% af husstandene i papirssække (110 l).

Kildesorteringen i hhv. rødt, grønt, genbrugeligt og miljøfarligt affald sker udfra den vejledning den enkelte kommune har givet borgerne. Vejledningen er dels udarbejdet på baggrund af oplæg fra Rendan a/s om hvilke affaldstyper, der ønskes i den grønne fraktion, dels på baggrund af de ordninger, der eksisterer i kommunerne. Vejledningen kan f.eks. se ud som i figur 1.

Det grønne affald indsamles i alle 8 kommuner i komprimatorvogne. Dog bruger 4 kommuner også i mindre omfang ladvogne til indsamling. Der indsamles fra hver husstand hver 14. dag i en turnusordning således, at der kommer grønt affald til AFAV hver dag. Affaldet aflæssés direkte i modtagehallen i De grønne Huse.

Figur 1
Eksempel på sorteringsvejledning. Helsinge kommune.

3.2 Affaldsmængder

3.2.1 Potentielle affaldsmængder

Udfra erfaringer med AFAVs grønne affaldsprojekt i 1987 var det forventet, at der kunne indsamles 5,4 kg grønt affald pr. husstand pr. uge (AFAV, 1989). Når indsamlingsområdet udvides fra 8.500 husstande til at omfatte 18.000 husstande, betyder det, at der forventes indsamlet 97 t grønt affald om ugen, det vil sige ca. 19 t pr. dag. Sæsonvariationen ses i figur 2.

3.2.2 Aktuelle affaldsmængder

t/uge ialt

kg/husstand

Der er i perioden 1.5.89 - 1.1.91 i gennemsnit indsamlet 90 t grønt affald pr. uge i AFAV-området. Der indsamles fra ca. 18.000 husstande, hvilket vil sige, at der indsamles 5,0 kg/husstand/uge (+/÷ 0,45 kg). Det er altså ca. 1/2 kg mindre pr. husstand pr. uge end forventet. Dette kan enten skyldes, at det grønne affald

ikke sorteres fra den røde fraktion eller, at affaldsmængden simpelthen er faldende.

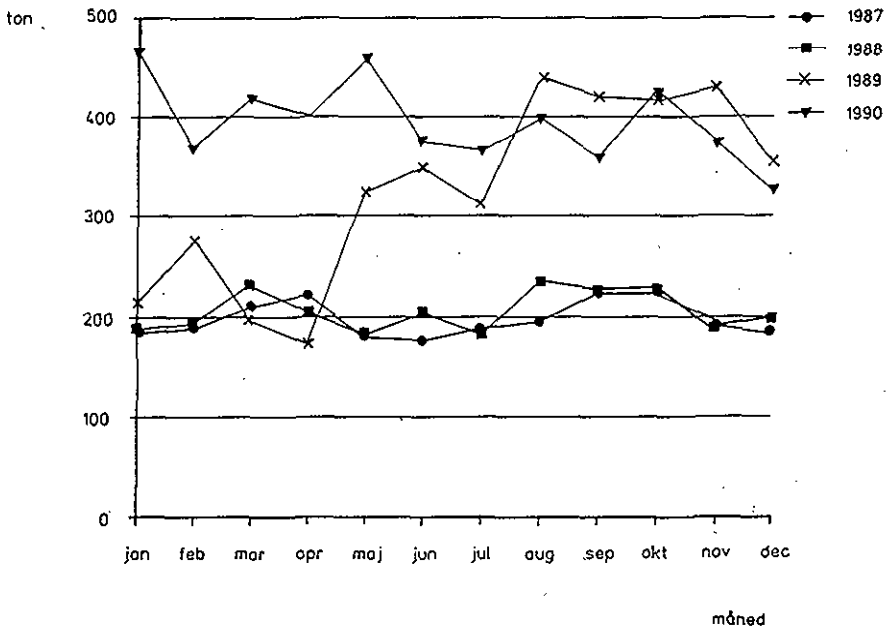
kg/person/år

En undersøgelse foretaget af gendan a/s i 1987 viste, at det gennemsnitlige antal personer pr. husstand i det daværende indsamlingsområde på 8.500 husstande var 2,9. Hvis samme forhold gør sig gældende i det udvidede område, er der indsamlet 1,7 kg grønt affald/person/uge i perioden 1.5.1989-1.1.1991. Dette giver en indsamlingsmængde på ca. 90 kg grønt affald/person/år.

3.2.3 Sæsonvariation

1987 og 1988

Der var i 1987 og 1988 ikke store sæsonmæssige udsving i den indsamlede affaldsmængde. Se figur 2. Gennemsnitlig blev der tilført AFAV ca. 200 t grønt affald pr. måned.



Figur 2
Sæsonvariation i indsamlede affaldsmængder. Grønt affald. AFAV-området. 1987-1990.

1989 og 1990

I maj 1989 blev indsamlingsområdet udvidet fra 8.500 til 18.000 husstande. Hermed steg den gennemsnitlige indsamlede mængde. Efter 1.5.89 har den indsamlede mængde pr. måned svinget op og ned. Det er ikke muligt i de noget svingende mængder at konstatere nogen egentlig sæsonvariation.

3.2.4 Renhedsgrad

Renhedsgraden af det indsamlede grønne affald blev undersøgt af AFAV I/S i august 1989 (AFAV-notat, 1989). Ca. 6% af indsamlingsområdet ialt 18.000 husstande blev besøgt ved indsamling af det grønne affald.

Undersøgelsen var kvalitativ og viste, at 2 kommuner (ud af de 8) sorterede meget dårligt. I disse kommuner var kun 28-47% af sækkene/spandene korrekt sorteret. I de 6 andre kommuner var gennemsnitlig ca. 90% af sækkene/spandene korrekt sorteret.

fejlsortering

Det fejlsorterede affald bestod hovedsagelig af mælkekartoner, plastemballage, foliebakker, pap og papir. Endvidere var der en mindre del konservesdåser, ugeblade, støvsugerposer og tøjstykker.

forkerte poser

Undersøgelsen viste, at de udleverede grønne plastposer til det grønne affald blev brugt i 94% af tilfældene, når indsamlingen sker i spande, men kun i 70% af tilfældene, når indsamlingen sker i sække. Som alternativ bliver der brugt almindelige (indkøbs-)plastposer. Årsagen er formodentlig, at papirsækkene bliver våde, fordi de udleverede små grønne plastikposer ikke er tætte.

Undersøgelsen peger i retning af, at man bør udskifte papirsækkene med spande i hele indsamlingsområdet.

mider

Dette vil også påvirke antallet af mider i affaldet i den rigtige retning. I følge undersøgelsen var der mider i 15% af papirsækkene, men kun i 3% af spandene.

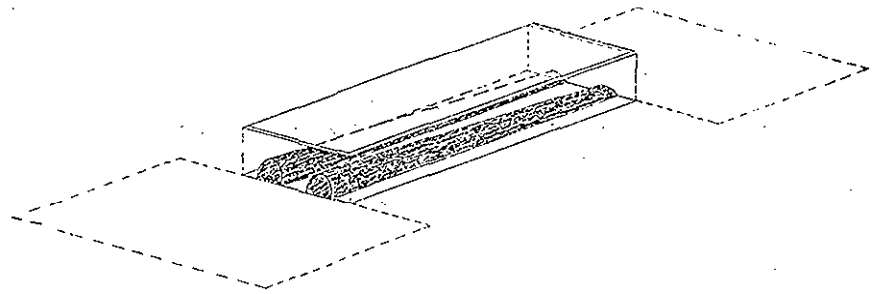
tungmetaller

Dansk Teknologisk Institut undersøger i øjeblikket i et projekt, der forventes afsluttet i sommeren 1991, tungmetalindholdet i affald indsamlet i AFAV-området. Projektets formål er, at spore kilderne til tungmetal i affaldet, for på den måde at kunne nedbringe tungmetalindholdet i den færdige kompost (Hoffmann & Kristiansen, 1989).

4. Anlæg til forkompostering

4.1 Beskrivelse af bygninger

I De grønne Huse omdannes kildesorteret, grønt affald til råkompost i løbet af ca. 7 dage. Forkomposteringsprocessen foregår i to miler i en 25 m lang tunnel, se figur 3. Komposten vendes ved hjælp af en kompostvendemaskine og luftes ved aktiv beluftning.



Figur 3
Komposteringstunnelen og omridset af forhallerne på De grønne Huse, AFAV I/S.

4.1.1 Det anvendte areal

Tunnelhal og forhaller er opført på et areal, der tidligere har været anvendt som kontrolleret losseplads. Der var derfor nedlagt en plastmembran (Monarflex, 500) i ca. 30 cms dybde. Under støbning af fundament, gravearbejde m.m. er der taget hensyn til denne membran, og eventuelle gennembrydninger er efterfølgende lappet.

4.1.2 Tunnelhal

Tunnelhallen er 25 m lang, 9 m bred, og der er 4 m til loftet. Taget er fladt med svag hæld ning mod nordøst (pult-tag). Tunnelens længderetning er nordvest-sydøst.

Hver af de 2 miler fylder ca. 1,8 x 23 m (grundareal) og er ca. 2 m høje i starten af tunnelen og ca. 1 m i slutningen af tunnelen.

I tunnelen er der gjort plads til at adskille de to miler med en væg, således at der kunne køres separate forsøg med hver mile.

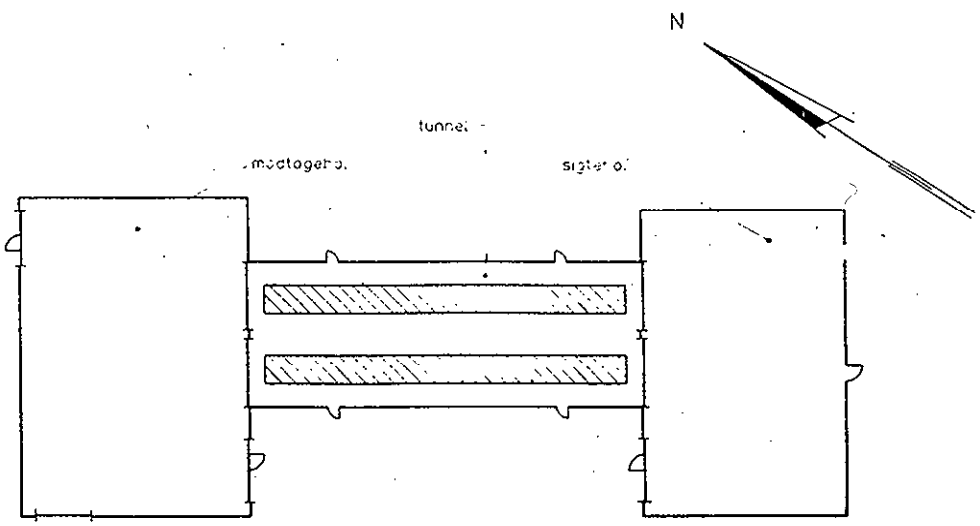
Kompostvendemaskinens ydre mål er ca. 6,5 x 3,0 x 3,0 (l x b x h). Afstanden mellem maskine og bygning er ca. 0,75 m til ydervæg og 1 m til loft. Denne ekstra plads er nødvendig af både sikkerhedsmæssige og driftsmæssige grunde.

porte

Tunnelhallen er adskilt fra de to forhaller med 2 manuelt betjente ledhejseporte i hver ende. Portene er lavet af polyurethan, stål og yderst en polyester lakering, der skulle kunne modstå det aggressive miljø i tunnelhallen. Portene er langs alle kanter tætnet med gummilister. Portenes mål er ca. 4x4 m.

Forhal 1 (modtagehallen) er forsynet med 3 manuelt betjente ledhejseporte mod det fri. Forhal 2 (sigtehallen) er forsynet med en manuelt betjent ledhejseport mod det fri.

I alle porte mod det fri er der indbygget en dør.



Figur 4
Plantegning af De grønne Huse, milerne er skraveret i tunnelen.

nødudgange

Endvidere er der i tunnelen 2 nødudgangsdøre på hver side, se figur 4. Nødudgangsdørene er ca. 1,5 x 0,7 m (h x b). Dørtrin er placeret ca. 0,6 m over jorden. Dørene er lavet af samme materiale som vægge og tag.

vægge og tag

Tunnelhallens vægge og tag består af polyurethan sandwich-elementer, der både på yder- og inderside er beklædt med en 0,5 mm galvaniseret stålplade. Tykkelsen af isoleringsmaterialet er ca. 80 mm. Indvendig er vægge og tag yderligere belagt med en speciel lak for at modstå det aggressive miljø. Konstruktionsstålrammen er placeret udenfor tunnelen af hensyn til det aggressive miljø indvendig i tunnelen.

Miljøet i tunnelhallen er karakteriseret som korrosionsklasse 4, se tabel 1. Der må påregnes at være bl.a. ammoniak-dampe, organiske syrer, temperaturer på mellem -12 og +80°C samtidig med en relativ fugtighed på 100% og en pH-værdi på 4-9.

I de to forhaller er alt stål korrosionsbeskyttet til korrosionsklasse 2 og beklædningsstykkerne på væg og tag er tilsvarende beskyttet.

korrosions-klasse	miljøets aggresivitet	miljøeksempler
0	ingen	- indendørs i tørre lokaler (relativ fugtighed < 60%)
1	ubetydelig	- indendørs i uopvarmede, velventilerede rum
2	middel	- indendørs ved skiftende fugtpåvirkning - i landatmosfære langt fra industri og tæt bebyggelse
3	stor	- ved tæt bebyggelse - i industriområder - over vand og ved kysten
4	meget stor	- i konstant fugtigt miljø, i vand og jord - ved kemiske fabrikker

Tabel 1
Korrosionsklasser ifølge Dansk Ingeniørforening (DIF, 1982).

tæt konstruktion

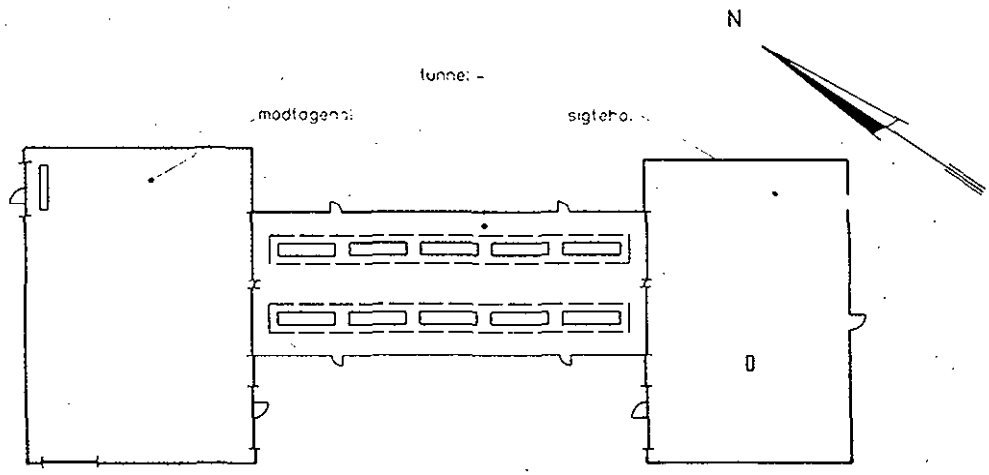
Tunnelhallen er udført som en tæt konstruktion, idet der, for at undgå lugtproblemer i det ydre miljø, skal kunne opretholdes et undertryk på 30 mm VS ved hjælp af mekanisk ventilation.

gulve

Gulvene i tunnelhal og forhaller er støbt i armeret beton. I hver forhal er der afløb for procesvand og rengøringsvand. I modtagehallen er afløbet placeret i aflæsningsområdet, og i sigtehallen er afløbet placeret i kørselsområdet, se figur 5.

gruber

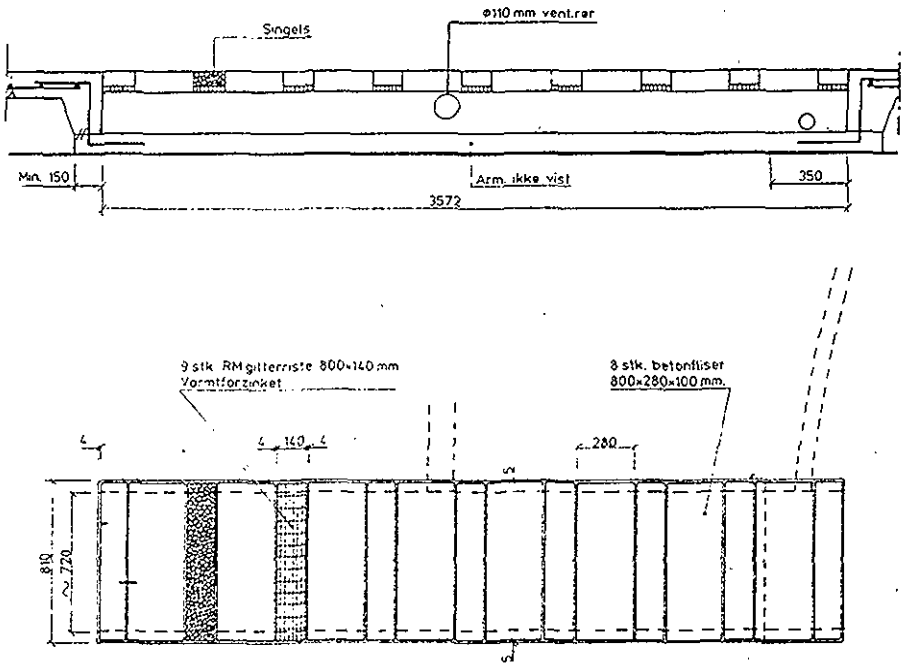
I tunnelhallens gulv er der 10 gruber til beluftning af de 2 miler. Gruberne er indtegnet på figur 5.



Figur 5
Plantegning af De grønne Huse, råhus, porte, døre, gulvafløb og beluftningsgruber.

Gruberne er ca. 3,5 m lange og 0,8 m brede, og ligger midt i hver mile i milens længderetning, se figur 4. Hver grube består af 8 betonfliser (0,8 x 0,3 m) og 9 riste (0,8 x 0,1 m), hvorpå der er udlagt singels (store sten), se figur 6.

Gruberne er placeret med ca. 1 meters mellemrum og ca. 1 m fra milens start og afslutning. Hver grube står i forbindelse med en af de 6 ventilatorer, der er placeret udenfor tunnelen. Herfra beluftes med 0-400 m^3/h, se senere afsnit. Endvidere er der fra hver grube afløb for procesvand.



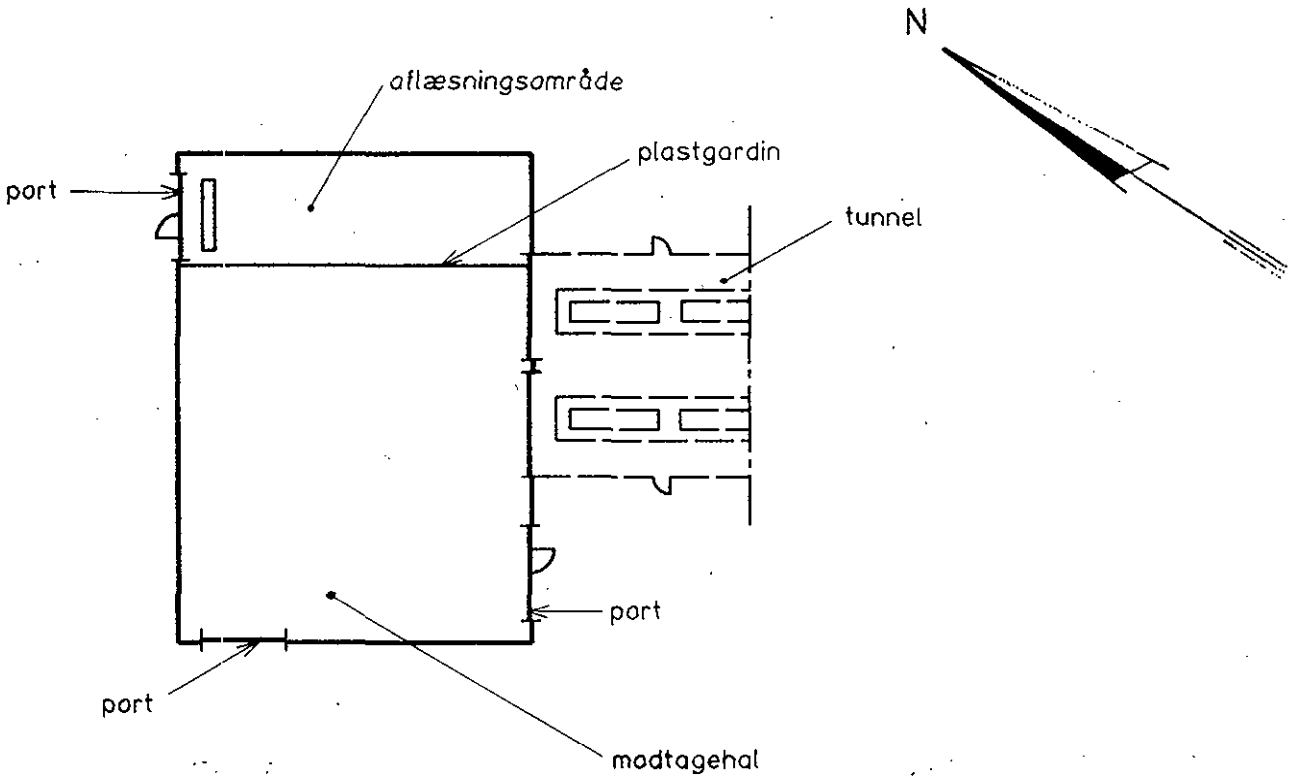
Figur 6
Længdesnit og plan af beluftningsgrube med afdækning.

4.1.3 Forhaller

I direkte tilknytning til hver ende af tunnelen er der opført 2 forhaller for at begrænse lugtgenerne til det ydre miljø ved modtagelse af affaldet og under sigtning af råkomposten. Forhallerne var ikke med i projekteringen af anlægget oprindeligt, men blev tilføjet, fordi Frederikssund Kommune lagde politisk pres på AFAV I/S. I Frederikssund Kommune var man meget nervøs for, at lugtgenerene fra AFAV skulle forværres ved opførelsen af De grønne Huse.

De to forhaller omtales i det følgende som modtagehal (hal 1) og sigtehal (hal 2).

4.1.3.1 Modtagehal. Modtagehallen er 14 x 20 m. Begge forhaller har sadeltag. Højden til tag er 9 m i modtagehallen og 7 m i sigtehallen. Forskellen skyldes, at der i modtagehallen skal være plads til at en komprimatorvogn kan læsse affald af. Modtagehallen er opdelt i 2 arbejdsområder: Aflæsningsområdet og kørselsområdet, se figur 7.



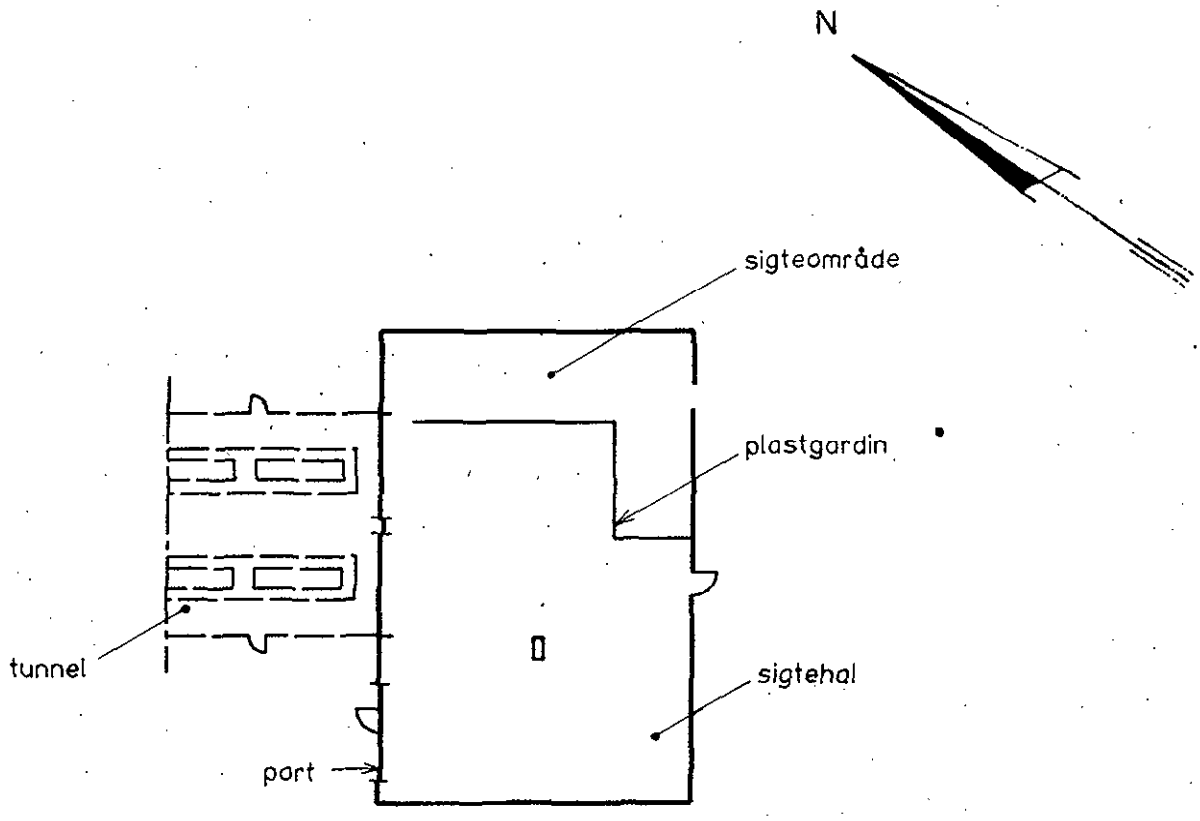
Figur 7
Plantegning af modtagehallens arbejdsområde.

aflæsnings-område

Aflæsningsområdet er afgrænset af et plastgardin, der hænger ned fra taget til ca. 4 m over gulvet. Dette gardin er opsat efter krav fra arbejdstilsynet for at hindre lugt og mikroorganismer fra affaldet i at brede sig til resten af rummet.

Affaldet kommer til De grønne Huse i komprimatorvogne eller ladvogne, der bakker ind gennem porten i modtagehallens nordvestlige hjørne. Affaldet aflæsses herefter direkte på gulvet i aflæsningsområdet, se figur 8.

Modsat porten sidder udsugningsspjældet til modtagehallens ventilationsanlæg, se senere generel omtale af dette. Endvidere har modtage hallen 4 indsugningsspjæld for friskluft.



Figur 9
Plantegning af sigtehallens arbejdsområde.

4.2 Beskrivelse af maskiner

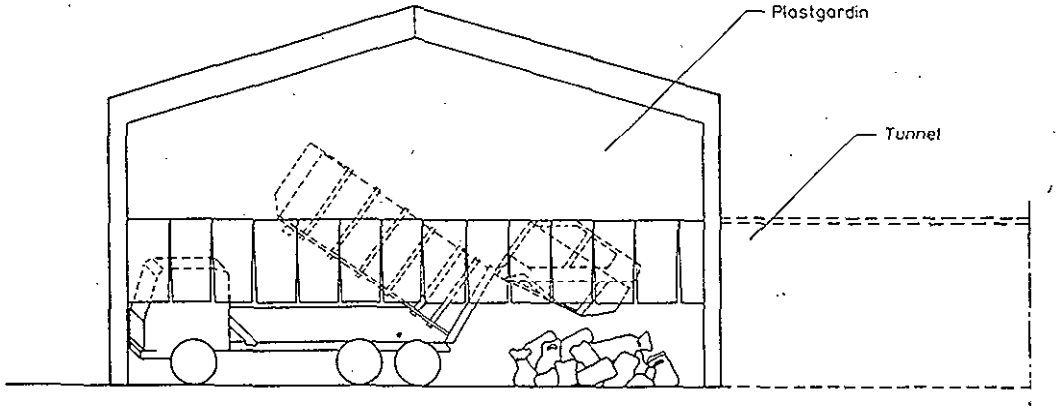
Driften af De grønne Huse kræver følgende maskineri:

- en traktor med frontlæsser
- en traktor til transport af containere
- en kompostvendemaskine incl. ifyldervogn
- en sigte
- et antal containere til intern transport af sigterest, råkompost m.m.

4.2.1 Traktorer

Den anvendte frontlæssetraktor er en Case, mo del 580 G med en frontlæsserskovl, der er 2,4 m bred og rummer ca. 0,8 m³. Traktoren bruges både til indlæsning af affald i tunnelen og til flytning af råkompost og sigterest ved sigtning af råkompost sigtehallen.

Endvidere benyttes en traktor til at transportere minicontainerne med råkompost og sigterest internt på AFAV's område. Den benyttede traktor er en Massey Ferguson 690.



Figur 8
Aflæsning af affald i modtagehallen, tværsnit.

4.1.3.2 Sigtehal. Sigtehallen er 12,5 x 19 m. Sigtehallen er opdelt i 2 arbejdsområder: Sigteområdet og kørselsområdet.

Sigteområdet er afgrænset af et plastgardin ligesom aflæsningsområdet i modtagehallen, se figur 9.

Modsat sigten sidder udsugningsspjældet til sigtehallens ventilationsanlæg, se senere generel omtale af dette. Endvidere har sigtehallen 4 indsugningsspjæld for friskluft.

4.2.2 Kompostvendemaskine

Erfaringerne fra kompostering af husholdningsaffald på Amager (arbejdsrapport nr. 38, 1990, Miljøstyrelsen) viste, at al mekanik og elektronik skal opholde sig i selve komposteringsrummet så kort tid som overhovedet muligt. Derfor var kravet en kompostvendemaskine, der kunne vende og homogenisere affaldet hurtigt og derefter transporteres ud af tunnelen.

fabrikat

Den anvendte kompostvendemaskine er fra Veflinge Maskinfabrik, af typen VM60, se figur 10. Maskinen drives af el-motorer og er forsynet med gear. Maskinens fremdrift og styring foregår trinløst variabelt ved hjælp af frekvensstyring. Kompostvendemaskinen har 6 hjul, hvoraf de 2 forreste er styrbare, og de 2 midterste er trækhjul.

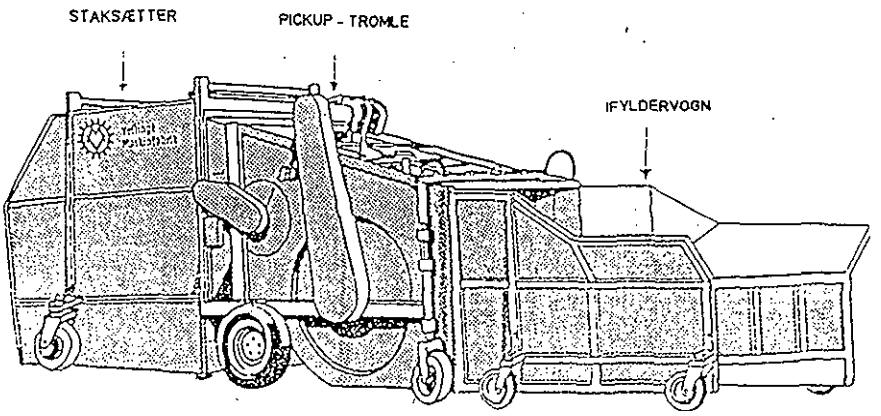
funktion

Kompostvendemaskinen skal

- udlaste råkomposten fra tunnel til sigtehal
- vende affaldet i tunnelen 4 gange
- indlaste nyt affald fra modtagehal mod tunnel.

Kompostvendemaskinens kørselsretning i tunnelen er altid fra sigtehal mod modtagehal.

Kompostvendemaskinen består i grove træk af 3 dele. Bagest en staksætter, midterst en pick-up-tromle + transportbånd og forrest en ifyldervogn, se figur 10. Ifyldervognen er dog kun tilkoblet under indlastning af affald.



Figur 10
Principtegning af kompostvendemaskinen set i perspektiv.

arbejdsgang

En arbejdsgang starter med at kompostvendemaskinen (excl. ifyldervogn) køres ind i tunnelen fra sigtehallen. Herved udlastes 1/5 af milen til sigtehallen. Herefter kører kompostvenderen igennem tunnelen, hvorved hele milen blandes og sættes op på ny, ved at materialet smides bag-ud. Når kompostvendemaskinen er nået gennem milen og ned til modtagehallen, tilkobles ifyldervognen. Herefter fyldes affald i ved hjælp af frontlæsseren.

styring

Inde i tunnelen styres kompostvendemaskinen automatisk ved hjælp af en styrearm, der sættes i en styreskinne i loftet. Styrearmen påvirker nogle switze, der bestemmer styrehjulenes drejning. Endvidere låses det forreste hjulpar fast, så de ikke ændrer retning, hvis de kører over noget affald. Når kompostvendemaskinen når til modtagehallens port, standser den automatisk, idet styrearmen kører mod en stopklods og derved påvirker en switz, der standser maskinen. Kompostvendemaskinen er 1/2-1 time om at køre gennem tunnelen.

Udenfor tunnelen styres maskinen manuelt ved hjælp af betjeningstavlen på maskinen.

hastighed

Kompostvendemaskinens hastighed kan reguleres trinløst på en skala fra 0-10. Endvidere er der højt og lavt gear. Maximal-hastigheden i højt gear er ca. 3,5 m/min. Minimal-hastigheden i lavt gear er ca. 0,15 m/min.

opbygning

Kompostvendemaskinen består af et stålskelet (chassis), hvori der er monteret

- en pick-up-tromle
- en 4-vinget rotor (kastetromle)
- et transportbånd
- en staksætter.

Herunder gennemgåes de enkelte dele på kompostvendemaskinen:

chassis

Kompostvendemaskinen til AFAVs grønne huse er i hovedtræk opbygget og konstrueret efter samme princip som tidligere Veflinge-maskiner, der anvendes hos champignondyrkere til at blande bl.a. hestegødning og halm. AFAV-kompostvendemaskinens chassis er dog noget kraftigere. Det består af profilstål, der indvendig er beklædt med rustfast stål. Lede- og indføringsplader er helgalvaniserede og den øvrige stålkonstruktion er malet og lakeret. Endvidere er maskinen i modsætning til standardmodelerne forsynet med kraftigere akselleje og lejer for roterende

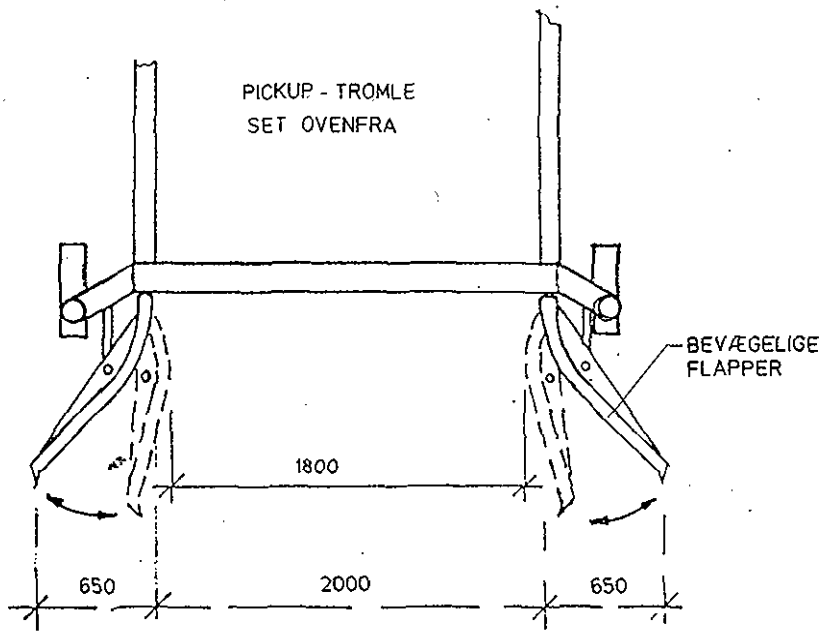
enheder. Gennemløbsåbningen, det vil sige frihøjden over pick-up-tromlen, er forøget fra 2,0 m til 2,2 m for at opnå en optimal iltning af materialet.

pick-up-tromle

Pick-up-tromlen er 1,8 m bred og har en diameter på 1,2 m. Den er forsynet med 64 vendbare stålspidser. Stålspidserne er 20 cm lange.

Tromlen er specielt konstrueret til store belastninger.

For at undgå at kompostvendemaskinens trækhjul fedtes ind i affald, der siden sidste gennemkørsel er faldet ned ved siden af milen, er der forrest monteret 2 bevægelige "flapper". Flapperne bevæger sig frem og tilbage ca. 5 gange i minuttet under maskinens fremdrift, og sørger således for, at nedfaldet affald skrabes ind i pick-up-tromlens bredde. Flapperne ses i yderpositionerne i figur 11.



Figur 11
Flappernes placering på pick-up-tromlen, mål i mm.

kastetromle

Herefter rammer affaldet kastetromlen, der kaster det yderligere bagud, så det enten lander ude bag maskinen i milen eller på transportbåndet.

Affaldet samles op fra milen eller ifyldervognen af pick-up-tromlen, der dels river affaldet i stykker, dels smider det opad og bagud. Pick-up-tromlen roterer 80 gange pr. minut.

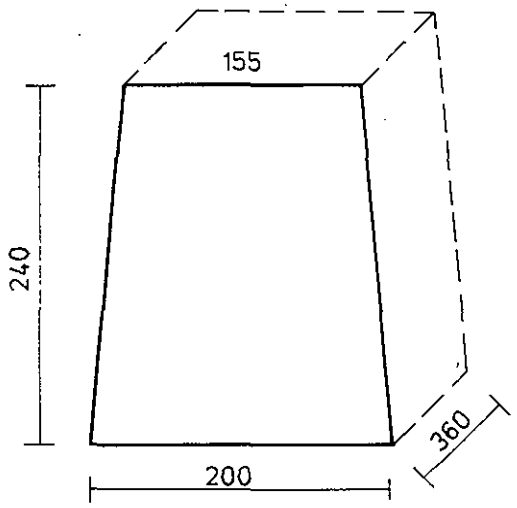
Kastetromlen er 0,8 m i diameter, konstrueret af stålplader og roterer ca. 640 omgange pr. minut.

transportbånd

Transportbåndet, der transporterer affaldet op i 2,2 m højde, er et hydraulisk drevet gummibånd, der er modstandsdygtigt overfor såvel olie som ætsende væsker. På transportbåndet er der påsvejset 15 medbringere, så affaldet ikke kan trille tilbage. Transportbåndet er 2,1 m bredt. Transporthastigheden er ca. 9 m/sek.

staksætter

Bagest har kompostvendemaskinen en staksætter, der består af glasfiberplader, der danner en vinkel (med lodret) på 5°, således at milen bliver smallest foroven, se figur 12.



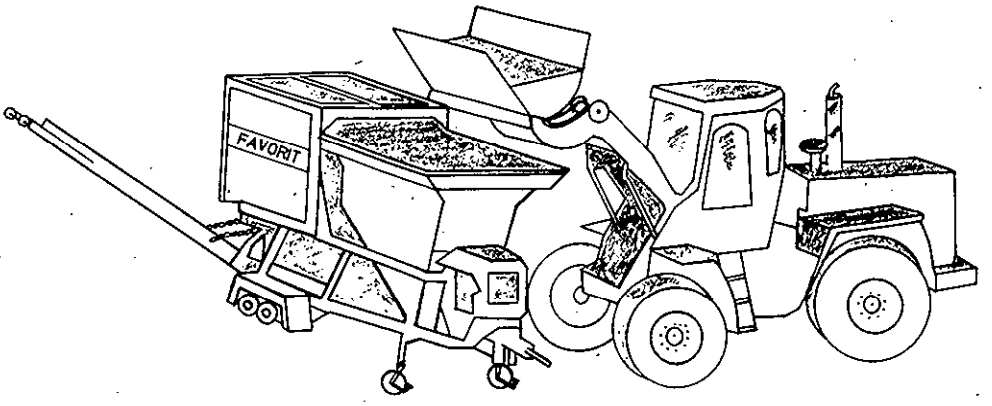
Figur 12
Principskitse af kompostvendemaskinens staksætter, mål i cm.

ifyldervognen

Forrest på kompostvenderen tilkobles under indlastning af affald i tunnelen en ifyldervogn, se figur 13.

Ifyldervognen er udført af profilstål, og alle enkeltdele er varmforzinkede. Vognen er forsynet med kraftige drejelige hjul og koblingsarrangement for sammenkobling med hovedmaskinen.

Ifyldervognens volumen er ca. 16 m³, og den er forsynet med en bevægelig bagkant. Bagkanten har nederst to "støtteben". Når ifyldervognen ønskes tømt, slås "støttebenene" ned i to fordybninger i gulvet således, at bagkanten står fast, og resten af ifyldervognen bevæger sig fremad. På den måde arbejder pick-up-tromlen sig henimod den faststående bagkant og ifylder-



Figur 14
Perspektivtegning af den anvendte sigte, Favorit super III.

4.2.4 Containere

De anvendte containere til transport af sigterest og råkompost på AFAVs område er af fabrikatet Svegma. Containeren er af stål og rummer ca. 8 m^3.

4.3 Beskrivelse af kompostfilter

baggrund

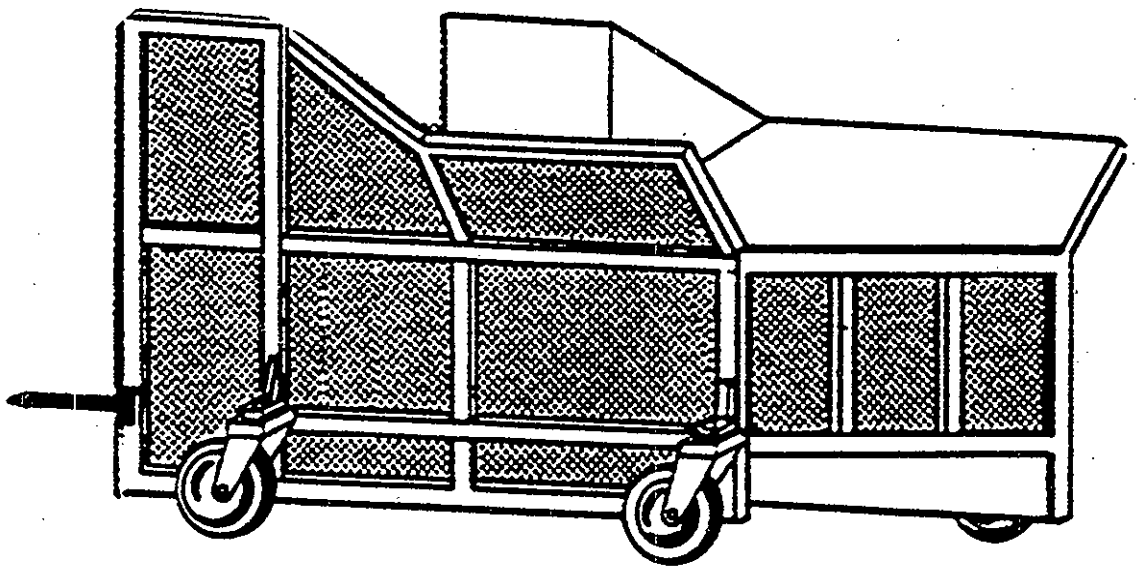
Lugt er et diffust begreb. Svovlforbindelser siges at lugte grimt, og ammoniak siges at lugte "stærkt", men det er svært at definere, hvorfor affald lugter "dårligt". Derfor er det også svært at gøre noget ved den dårlige lugt.

Den luft, der suges ud gennem De grønne Huses ventilationssystem, sendes gennem et filter for at mindske lugtgenerne fra anlægget. Filteret består af barkflis og kompost, og kaldes derfor et kompostfilter.

naturligt filter

Ideen til lugtrensning gennem et biofilter er startet med iagttagelser af, at en kompostbunke ikke lugter, når den har ligget et stykke tid. Det skyldes ikke manglende omsætning eller, at lugten er "forsvundet". Hvis man graver lidt ind i bunken kommer lugten igen. Bunken vil ligeledes lugte igen, når den omstikkes. Det yderste lag af kompostbunken kommer simpelthen til at virke som et filter, der fjerner lugten.

vognen tømmes. Den nederste ca. halve meter af ifyldervognens bagkant er endvidere bueformet, således at pick-up-tromlen kan tømme den fuldstændigt.



Figur 13
Perspektivtegning kompostvendemaskinens ifyldervogn.

4.2.3 Sigte

Den anvendte sigte er en tromlesigte af mærket Favorit model super III, se figur 14.

Sigten drives af en dieselmotor og har en kapacitet på 20-25 m³ pr. time. Sigten er udstyret med et cylindrisk sigtesold med en længde på 2,7 m og en diameter på 1,3 m. Sigtesoldet kan udskiftes således, at soldstørrelsen kan varieres mellem 10, 15, 20, 30 og 40 mm.

soldstørrelser

Sigten bliver både anvendt til sigtning af råkompost og færdigmodnet kompost. Når der sigtes råkompost benyttes soldstørrelse 25 mm. Når der sigtes færdig kompost benyttes soldstørrelsen 15 mm.

filter på AFAV

Ventilationsluften fra De grønne Huse føres til filteret gennem en række rør. Alle rørene er lukket i enden, så luften fordeles jævnt ud gennem nogle slidser, der er skåret i rørene. Derefter siver luften op gennem filteret, se figur 15.

Ifølge Jäger og Jager (1980) er kilden til lugt fra byaffald og slam bl.a. de flygtige fede syrer, ketoner, alkoholer og aldehyder, der dannes under første fase af komposteringen. Under den efterfølgende thermofile fase udvikles bl.a. flygtige forbindelser som pyridin og pyrazin. I nogle tilfælde også svovlforbindelser som dimethylsulfid.

I biofilteret sker der først omdannelse af lugtens tilstandsform fra gas til flydende og fra flydende til fast form. Derefter sker der en mikrobiel nedbrydning af lugtkomponenterne.

Lugtfjernelsen sker ved mikrobiologiske processer i væskefilmen på filtermaterialet efter absorbtion fra luften. Luftens opholdstid og fordeling i filteret er altså af afgørende betydning for effektiviteten (Rambøll & Hannemann, 1987). Endvidere er tilstedeværelsen af et tilstrækkeligt vandindhold i filtermaterialet en nødvendighed for at få renseprocessen igang. Det nødvendige vandindhold udgør ca. 40-60% for affaldskompost.

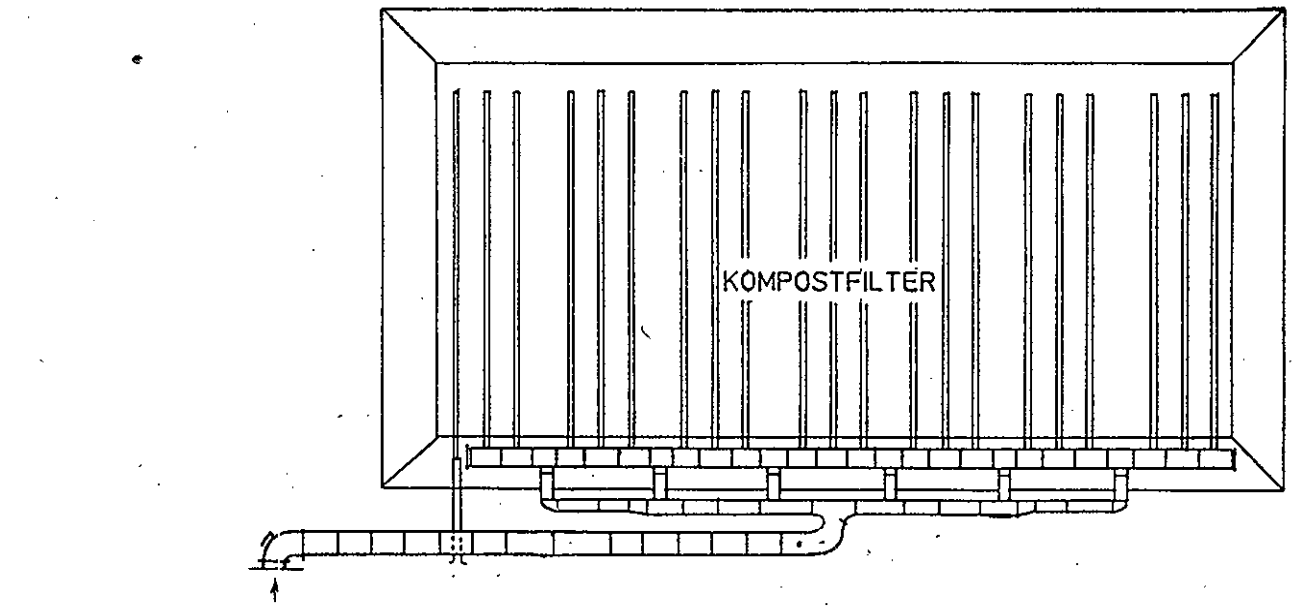
Renseeffekten afhænger af luftarternes opløselighed i vand. Tungtopløselige gasarter nedbrydes derfor meget langsomt i et biofilter.

Renseeffekten i lugtenheder er typisk over 90%, men der vil altid være en vis "egen lugt" tilbage fra selve filteret.

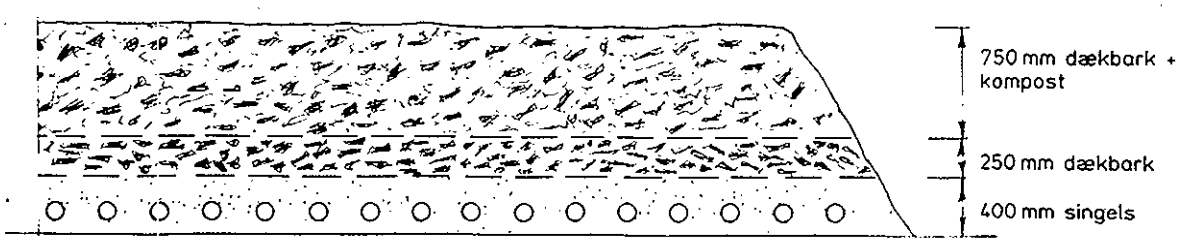
Kompostfilteret ligner en stor, flad kompostbunke på 24 x 13 m i areal og ca. 1 m i højden. Filteret er opbygget af store sten (singels) i bunden (400 mm), derefter et lag dækbark (250 mm) og øverst et tykt lag, der består af barkflis og kompost (ca. 750 mm). Figur 16 viser et snit gennem kompostfilteret. Stenene sørger for ensartet tilstrømning til filterfladen.

Kompostfilterets øverste lag består af 38 (vægt)-procent kompost og 62 (vægt-)procent dækbark. Komposten er fra AFAVs komposteringstromle (sort kompost). Dækbarken er en meget grov egeflis, 7-8 mm i diameter, indkøbt hos Forst Skovprodukter.

Luften fordeles i filteret v.hj.a. 21 beluftningsrør, Ø 160. Rørene har et slidsareal på ca. 212 cm^2/m.



Figur 15
Kompostfilteret set ovenfra. Grundareal ca. 24 x 13 m, topareal ca. 21 x 10 m.



Figur 16
Kompostfilteret set fra siden (gennemskåret).

4.4 Beskrivelse af ventilation og beluftning

Erfaringerne fra kompostering af husholdningsaffald på Amager (arbejdsrapport nr. 38, 1990, Miljøstyrelsen) viste, at rengøring og ventilation er altafgørende for at sikre et godt arbejdsmiljø.

4.4.1 Ventilation af forhaller

Af hensyn til arbejdsmiljøet er der etableret et effektivt ventilationsanlæg i både modtagehal (hal 1) og sigtehal (hal 2).

Den ventilator, der ventilerer de to forhaller kan stilles, så den udelukkende ventilerer hal 1, udelukkende hal 2 eller 1/2 ventilering i begge haller, eller 1/3 i hal 1 og 2/3 i hal 2 eller omvendt.

luftskifte

Når ventilationen stilles på fuld ventilering i hal 1, svarer ventileringen til et luftskifte i hele hallen på ca. 13 gange pr. time. Det er dog ikke sandsynligt, at hele hallens luftmængde cirkulerer og altså skiftes ud. Den varme luft vil ligge "fast" øverst i hallen. Jalousispjældene, hvor igennem den friske luft suges ind, sidder i højden 0,8 - 1,6 meter over gulvet, og plast-gardinet er placeret ca. 2,5 m over gulvet. Det er altså sandsynligt, at det største luftskifte vil være at finde 0-3 meter over gulvet, samt at luftskiftet under taget (i trekanten) er minimalt. Væggenes højde er 7 m i hal 1 og 5,5 m i hal 2. Luftskiftet i hal 1 og 2, beregnet udfra ovennævnte forudsætninger, fremgår af tabel 2 ved fuld ventilation.

Det realistiske luftskifte ligger et sted mellem 15 og 35 m^3/h for hal 1 og mellem 22 og 41 m^3/h for hal 2 ved fuld ventilation.

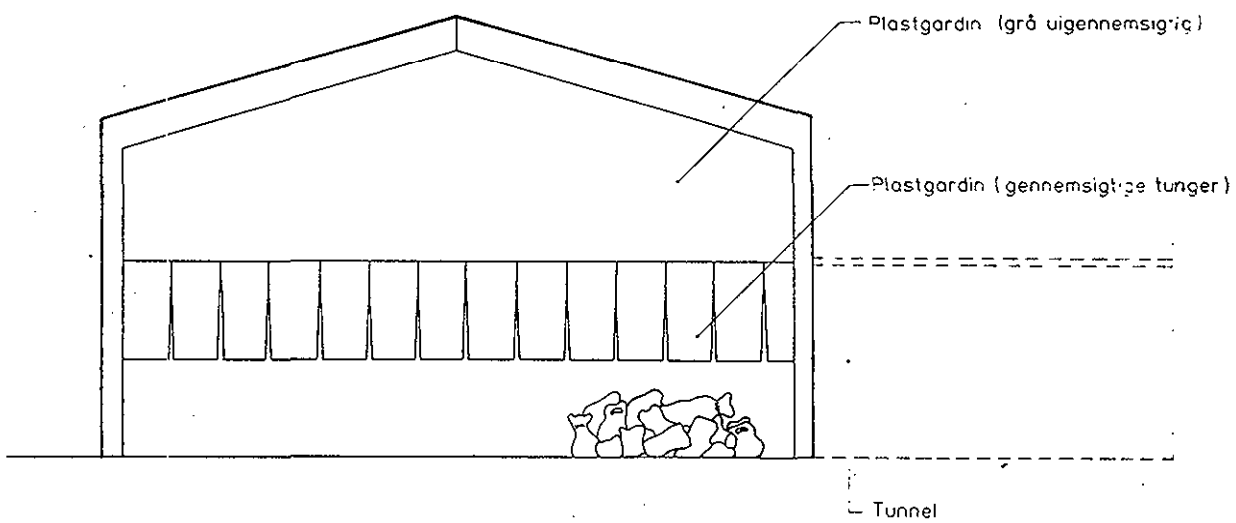
luftskifte pr. time	hal 1	hal 2
hele rummet	13	19
h = 7/5,5 m	15	22
h = 3 m	35	41

Tabel 2
Luftskiftet i hal 1 og 2 udfra ovennævnte forudsætninger, se teksten.

ventilator-type

Den anvendte ventilator er en centrifugalventilator, 22 kW, der kan yde ca. 30.000 m³ ved et modtryk på 150 mmVS.

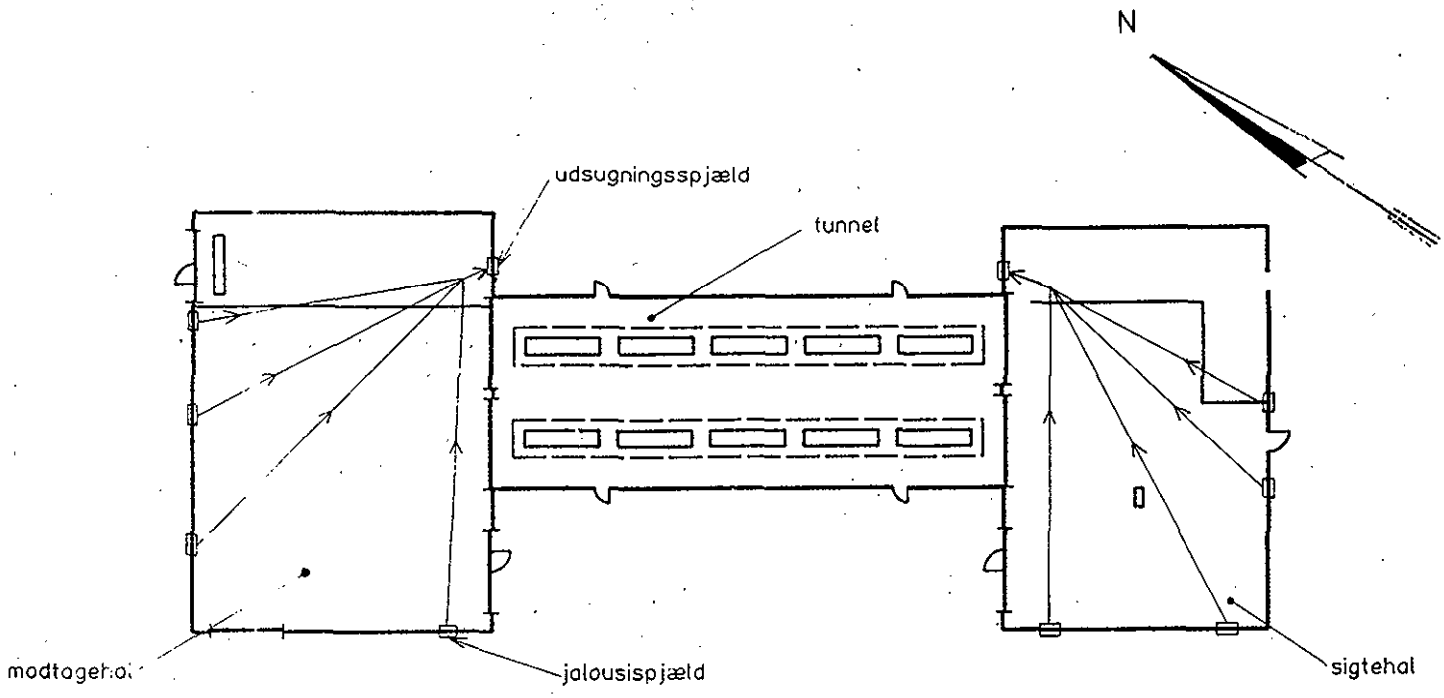
4.4.1.1 Modtagehal. I modtagehallen er der 4,5 m fra endevæggen og 2 m over gulvet monteret et plastgardin for at holde lugten fra affaldet væk fra resten af modtagehallen, se figur 17. Bag plastgardinet modsat indkørselsporten sidder et udsugningsspjæld, hvorfra ventilatoren suger. Udsugningsspjældet, der er automatisk, og ventilatoren betjenes fra betjeningstavlen i den modsatte ende af hal 1. I facaden mod nordvest er placeret 3 manuelt betjente jalousispjæld og i facaden mod sydvest 1 manuelt betjent jalousispjæld.



Figur 17
Tværsnit, der viser plastgardin i modtagehal.

Luftstrømmen vil, når porte og døre er lukkede og jalousispjældene er åbne, suges ind gennem de 4 jalousispjæld, derefter gennem modtagehallen, ind under plastgardinet og ud gennem udsugningsspjældet, se figur 18.

4.4.1.2 Sigtehal. Ventilationen af sigtehallen foregår på tilsvarende måde. Her er plastgardinet monteret, så det omslutter sigten, og oplagspladsen til råkompost og sigterest. Jalousispjældene er i sigtehallen fordelt med 2 spjæld i den sydvestlige facade og 2 i den sydøstlige.



Figur 18
Tværsnit, der viser ventilationsluftens vej gennem modtagehal og sigtehal.

4.4.2 Ventilation i tunnelen

formål

Af hensyn til arbejdsmiljøet under ind- og udlastning af affald og råkompost er der etableret et ventilationssystem i tunnelen.

Tunnelens ventilationssystem består af en ventilator, der er placeret udendørs mellem tunnelhal og kompostfilter, og et stort udsugningsspjæld, der er placeret i tunnelhallens nordøstlige ydervæg.

Spjæld og ventilator betjenes fra eltavlen i modtagehallen.

Ventilationssystemet skal sikre, at der ikke, når portene åbnes, slipper procesluft fra tunnelen ud til forhallerne, hvor personalet opholder sig. Procesluften er varm og fugtig og kan let indeholde støv, ophvirvlet affald, mikroorganismer m.m., der kan være lokalt irriterende eller sygdomsfremkaldende.

arbejdsgang

10 minutter inden en port ind til tunnelen ønskes åbnet, åbnes det store udsugningsspjæld i tunnelen. Derefter slukkes for beluftningssystemet, og den store ventilator aktiveres. Den port, der ønskes åbnet, åbnes 10 cm.

Den lille ventilator, der er etableret for under processen at kompensere for det overtryk beluftningsventilatorerne ville danne (se næste afsnit), stoppes ikke under denne procedure.

"skylning"

Ved hjælp af den store og den lille ventilator "skylles" tunnelen. Det vil sige, at al luft i tunnelen udskiftes 1-2 gange med frisk luft fra modtagehallen eller sigtehallen. Det er vigtigt, at jalousispjældene i forhallerne er åbne under denne procedure.

Når tunnelen efter ca. 10 min. er skyllet, kan porten åbnes helt. Det anbefales at lade begge ventilatorer køre, indtil porten lukkes igen.

luftskifte

Den store og den lille ventilator yder tilsammen ca. 8000 m³ pr. time. Luftskiftet bestemmes af den tid, som porten står 10 cm åben, jævnfør tabel 3.

Det store udsugningsspjæld er placeret midt i tunnelen og ca. en halv meter under loftet. Det skønnes således, at hele tunnelens luftmængde udskiftes ved "skylning".

minutter	luftskifte
5	0,7
10	1,5
15	2,2
20	3,0
30	4,4

Tabel 3
Luftskiftet i tunnelen, når begge ventilatorer kører, og porten er åbnet 10 cm i forskellige antal minutter.

Det er altså vigtigt, at den store ventilator tændes og, at porten åbnes 10 cm i mindst 10 min. før, kompostvendemaskinen skal ind eller ud af tunnelen.

4.4.3 Beluftning af milerne i tunnelen

For at få komposteringsprocessen i milerne til at forløbe optimalt, er der i tunnelens gulv anbragt 5 gruber under hver mile (se beskrivelsen under bygninger, afsnit 4.1.2). Herigennem blæser 6 ventilatorer luft op gennem milerne. Ventilatorerne er placeret udenfor tunnelen, og kører hele døgnet undtagen under "skylning" af tunnelen før ind- og udkørsel med kompostvende maskinen.

ventilator-type

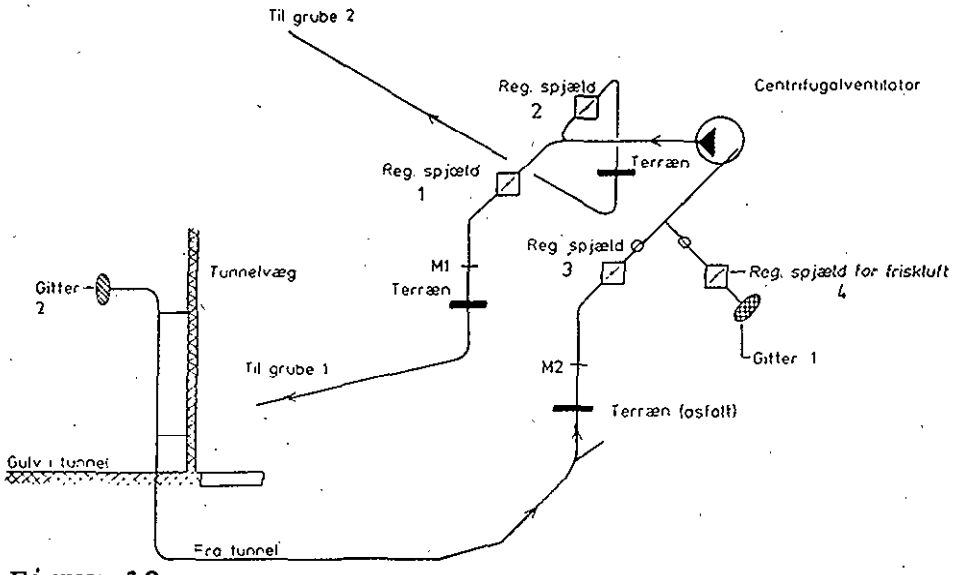
De 6 ventilatorer er centrifugalventilatorer, der kan yde ca. 400 m³/h ved et modtryk på 120 mmVS. Ventilatorhus m.m. samt diverse rør er udført i galvaniseret jern eller stål.

Hver mile beluftes af tre ventilatorer, således at to af ventilatorerne betjener hver to gruber, og den sidste ventilator betjener én grube. Herved fås den kraftigste beluftning af materialet lige inden, det skal sigtes.

Hver ventilator kan yde ca. 400 m³/h. Luftstrømmen gennem de 4 første gruber i hver mile er altså max. 200 m³/h og gennem den sidste max. 400 m³/h.

Beluftningen kan reguleres, så den enten består af recirkuleret luft fra tunnelen, frisk luft ude fra eller en blanding af disse.

Indstilling af mængden af friskluft og recirkuleret luft foregår manuelt ved at stille på spjældene til ventilatorerne, se figur 19.



Figur 19
Ventilationsarrangement for grube 1 og 2.

Den friske luft suges ind ved gitter 1. Mængden reguleres ved spjæld nr. 4. Den recirkulerede luft suges ud af tunnelen ved gitter 2 og mængden reguleres ved spjæld nr. 3. Derefter sendes blandingen af frisk luft og recirkuleret luft ind til grube 1 og 2. Reguleringsspjæld 1 og 2 bruges kun, hvis milen skal beluftes forskelligt ned gennem tunnelen.

Indstillingen af spjældene foregår med håndhjul. Håndhjulene har 4 indstillinger: åben (1), 2/3 åben, 1/3 åben og lukket (0).

Forsøgene har vist hvilken beluftningsmængde og sammensætning, der er den optimale for kompostering af organisk husholdningsaffald i tunnelen, se senere omtale.

lille ventilator

Når de 6 beluftningsventilatorer yder deres maximale kapacitet, og når alle porte og døre ind til tunnelen er lukkede, vil der skabes et overtryk i tunnelen. For at hindre dette overtryk i at udlignes gennem revner og sprækker, med udslip af lugt til det ydre miljø til følge, er der installeret et lille udsugningsspjæld og en lille ventilator, der kører samtidig med beluftningsventilatorerne. Den lille ventilator og det lille spjæld er installeret lige ved siden af den store ventilator til skylning af tunnelen, og betjenes ligeledes fra eltavlen i modtagehallen.

ventilator-type

Den lille ventilator er en centrifugalventilator, der kan yde ca. 1500 m^3/h ved et modtryk på 70 mmVS.

5.0 Vurdering af anlæg til forkompostering

5.1 Vurdering af bygninger

5.1.1 Tunnelhal

Siden projekteringen og opførelsen af forkomposteringsanlægget De grønne Huse blev påbegyndt i 1988, er der sket en vigtig ændring i reglerne omkring kompostering.

Før ibrugtagning af De grønne Huse i september/oktober 1989 hørte kompostering af kildesorteret husholdningsaffald ind under Miljøbeskyttelsesloven § 11.

ny bekendtgørelse

I oktober 1989 blev anvendelse af bl.a. kompost til jordbrugsformål yderligere specificeret i bekendtgørelse nr. 736, 26.10.1989, om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål. Denne bekendtgørelse udmønter reglerne i Miljøbeskyttelseslovens § 11, angående anvendelse af bl.a. kompost som jordforbedringsmiddel på landbrugs- og skovjord og som vækstmedium i private husholdninger o.a.

Tidligere har lovgivningen på dette område været udformet således, at anvendelse af kompost fremstillet af kildesorteret affald ikke umiddelbart var tilladt. Enhver anvendelse - og (dermed) fremstillingsmetode - skulle tillades særskilt efter Miljøbeskyttelseslovens § 11.

Med bekendtgørelsen er anvendelse - og (dermed) fremstilling - af kompost tilladt udfra de i bekendtgørelsen nærmere specificerede krav til hygiejnisering, tungmetalindhold, dosering m.m.

Bekendtgørelse nr. 736 fra d. 26. oktober 1989 er vist i bilag 1.

hygiejnisering

Det krav i bekendtgørelsen, der har størst betydning under kompostfremstillingen i De grønne Huse, er kravet til hygiejnisering.

Det har tidligere været praksis i de tilladelser, der er givet af Miljøstyrelsen, at komposten skulle hygiejniseres ved en temperatur på minimum 55°C i 2 x 2 uger. Disse tilladelser er givet ud fra en forventning om, at komposten lå udendørs i disse perioder á 2 uger. Formålet, med at temperaturen 55°C skulle nåes to gange,

var, at det materiale, der havde ligget yderst - og altså været koldere end 55°C - ved vending kom til at ligge inde i zonen med 55°C og dermed også opnåede hygiejnisering.

Ved forkomposteringen i et indendørs anlæg, der er velisoleret og tæt som f.eks. De grønne Huse, må det formodes, at der kun optræder en begrænset temperaturforskel i milen.

De fleste erfaringer til dato peger på, at fremtidig kompostering af kildesorteret husholdningsaffald skal foregå indendørs for at minimere lugtgenerne til det ydre miljø. Dog skal det nævnes, at anlægget i Høng fungerer uden lugtgener til det ydre miljø. Det var således forudset, at reglerne i bekendtgørelsen ville omfatte indendørs forkompostering. Men det var forventet, at man i reglerne omkring hygiejnisering af kompost ville fastsætte én uge ved 55°C, hvis alt materiale havde den samme temperatur.

Det var udfra denne forventning, at tunnelen blev dimensioneret til en opholdstid på 7 dage.

Imidlertid blev der i bilag 3 til bekendtgørelsen stillet krav om, at alt materiale skal underkastes en temperatur på minimum 55°C i minimum 2 uger.

Dette krav kan ikke opfyldes i De grønne Huse i dag, fordi tunnelen er dimensioneret til én uges opholdstid.

Ved fremtidige anlæg bør tunnelen således være dobbelt så lang.

5.1.1.1. Dimensionering. For at opnå så høj temperatur som muligt, og for at minimere materialeomkostningerne, er det hensigtsmæssigt med så lille et rumfang i tunnelen, som muligt.

længde

Tunnelhallens længde er valgt udfra kompostvendemaskinens bredde og et ønske om en opholdstid i anlægget på 7 dage.

bredde

Tunnelhallens bredde er valgt udfra kompostvendemaskinens bredde og et ønske om en skillevæg mellem de to miler. Denne skillevæg blev imidlertid sparet væk midtvejs i opførelsen af anlægget. Ved fremtidige anlæg kan tunnelen dimensioneres ca. 0,8 m smallere, såfremt der ikke ønskes skillevæg.

skillevæg

Fordelen ved en skillevæg er, at de to tunneler kører uafhængigt. Det vil sige, at den ene tunnel kan tømmes ved evt. problemer samtidig med, at der er kompost i den anden tunnel. Skillevæggen giver større driftssikkerhed. Ulemperne ved en skillevæg er dels, at der er mindre arbejdsplads i tunnelerne ved evt. tømning, dels at det samlede luftvolumen i tunnelen bliver større og endelig, at det koster lidt ekstra at opføre en skillevæg.

højde

Tunnelens højde er valgt ud fra kompostvendemaskinens højde.

Både for højde og bredde af tunnelen er der dimensioneret en sikkerhedsafstand, der ikke kan minimeres ved fremtidige anlæg.

Som det ses af ovenstående, er tunnelens størrelse fuldstændigt underordnet kompostvendemaskinens mål (se senere vurdering af kompostvendemaskinen) og opholdstiden.

gruber

Gruberne i tunnelhallens gulv har 2 formål:

1) afledning af procesvand
2) beluftning af milerne

Gruberne har ikke opfyldt disse to formål tilfredsstillende, fordi kompostmaterialet har tilstoppet stenene øverst i gruberne. Dette har hindret både afløb af procesvand og beluftning af milen.

Ved fremtidige anlæg bør der findes en anden måde at kombinere afløb og beluftning på. F.eks. kunne man tænke sig en rensningsprocedure indlagt ved hver gennemkørsel med kompostvendemaskinen, f.eks. ved hjælp af en påmonteret kost. Denne løsning er det iøvrigt stadig muligt at udføre på det eksisterende anlæg.

Endvidere ville det sandsynligvis hjælpe på afløbet, hvis gulvet omkring gruberne skrånede mere. Endelig kunne man tænke sig et andet "filtersystem" end riste og sten.

Det manglende afløb af procesvand har betydet, at kompostvendemaskinen har haft problemer med at køre gennem tunnelen. Disse problemer kunne løses ved at give hele tunnelen et svagt fald i længderetningen. Hermed ville overskydende procesvand løbe ned i den ene ende, hvor der kunne indbygges et extra afløb.

konklusion

Ved fremtidige anlæg med samme type kompostvendemaskine og med samme kapacitet bør tunnelens mål være ca. 50 x 8 x 4 m (l x b x h).

Der bør etableres et andet system til afløb af procesvand og indblæsning af luft til milerne. Systemet skal være mindre følsomt overfor tilstopning med kompostmaterialet.

vægge og tag

5.1.1.2 Materialer. Væg- og tagmaterialet (polyurethan, galvaniseret stål, speciallak) har modstået det aggressive miljø tilfredsstillende.

porte og nødudgangsdøre

Funktionsmæssigt har der ikke været problemer med porte og nødudgangsdøre, men materialet er kraftigt korroderet efter det første års brug. Tunnelhallen er stadig tæt, dvs., at der kan opretholdes et undertryk. Ved fremtidige anlæg bør det dog overvejes at bruge andre materialer til porte og døre, f.eks. 100% plast eller varmforzinket stål.

gulve

Den beton, der er anvendt i både tunnelhal og forhaller, har modstået det aggressive miljø samt tryk m.m. fra maskiner tilfredsstillende.

gruber

Betonfliser, riste og sten i gruberne har modstået det aggressive miljø tilfredsstillende. Selve systemet med sten og riste har ikke fungeret tilfredsstillende, jvf. tidligere omtale.

5.1.2 Forhaller

Forhallerne blev indføjet sent i forløbet af projekteringen af De grønne Huse.

formål

Formålet med opførelsen af forhallerne var at minimere lugtgenerne i det ydre miljø. Forhallerne blev opført efter krav fra Frederikssund kommune. Frederikssund kommune har boligkvarterer, der grænser tæt op til AFAV's område.

ydre miljø

AFAV har ikke modtaget klager over lugt, der kunne relateres til aktiviteter i De grønne Huse i forsøgsperioden. Forhallerne må således siges at have levet op til forventningerne.

Det er imidlertid hverken rådgivers eller AFAV's opfattelse, at de processer, der foregår i forhallerne, dvs., aflæsning af affald, indlastning i tunnelen og sigtning af råkomposten, giver anledning til kraftige lugtproblemer sammenlignet med den lugt, der "frigives" under

vending af de udendørs miler på eftermodningspladsen.

arbejdsmiljø

Derimod har forhallerne uden tvivl betydet en forringelse af arbejdsmiljøet, idet arbejdsprocesserne medfører så høje koncentrationer af støv, vanddamp og mikroorganismer i forhallerne, at brug af åndedrætsværn er påbudt. Åndedrætsværn skal benyttes ved længere ophold uden for traktoren, når der arbejdes med affald eller råkompost. Dette ville formodentlig kun være nødvendigt i mindre omfang, hvis arbejdsprocesserne kunne udføres i det fri.

materialer

Forhallerne har både rent funktionsmæssigt og materialemæssigt levet op til forventningerne. Vægge, gulve, tag m.m. har modstået det forholdsvis aggressive miljø samt tryk fra maskiner m.m. tilfredsstillende.

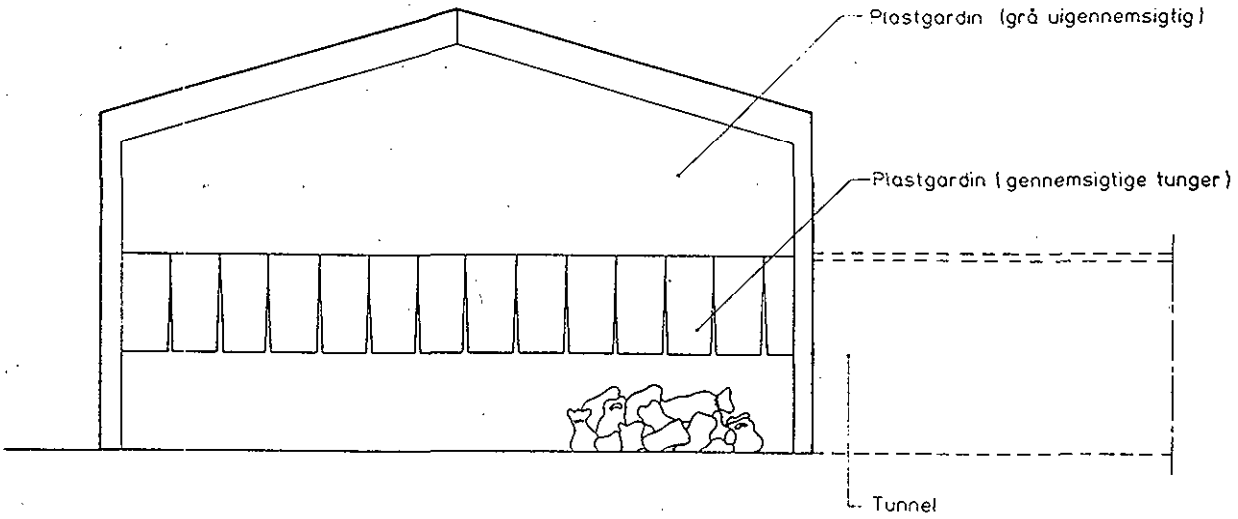
porte

En effektiv minimering af lugtudslip fra De grønne Huse opnås kun, hvis porte og døre er lukkede. Det er således meningen, at portene skal lukkes igen straks efter ind- og udkørsel med maskinerne. Imidlertid giver dette mange extra arbejdsgange op og ned af traktoren. I praksis står de to porte, der bruges ofte, næsten åbne hele arbejdsdagen. Dette kunne mindskes med automatiske porte, der betjenes fra traktorens førerhus.

arbejdsområder

Opdelingen af de to forhaller i arbejdsområder ved hjælp af plastgardiner har ikke fungeret 100% efter hensigten.

Plastgardinerne bestod øverst af et helt stykke gråt plast og nederst af gennemsigtig kraftig plast i "tunger", se figur 20.



Figur 20
Plastgardinet i modtagehallen, tværsnit.

Hensigten var, at traktorens frontlæsser-skovl skulle kunne arbejde uafhængigt af plastgardinet. Resultatet blev dog, at skovlen meget hurtigt rev "tungerne" af gardinet. Selv efter påsætning af nye "tunger" og henstilling til personalet om at være forsigtige, blev "tungerne" stadig revet af.

Opsætningen af plastgardin i sigtehallen har endvidere bevirket, at den vanddamp m.m., der udvikles under udlastning af råkomposten, har svært ved at "finde" udsugningsspjældet. I stedet stiger den varme luft med vanddamp m.m. op under loftet i sigtehallen. Herfra falder den ned igen, når den er blevet afkølet.

konklusion

Forhallerne har opfyldt deres formål m.h.t. reduktion af lugt til det ydre miljø. Til gengæld har de skabt et arbejdsmiljøproblem.

Arbejdsmiljøproblemet er søgt afhjulpet gennem ventilation (se senere omtale), gennem opsætning af "skærm"-gardiner, og gennem påbudt brug af åndedrætsværn.

M.h.t. gardinerne kan følgende konklusion drages:

Den øverste grå del af plastgardinet i modtagehallen har fungeret efter hensigten.

"Tungerne" på begge gardiner er blevet revet mere eller mindre af p.g.a. arbejdet med traktorens frontlæsserskovl.

Den øverste del af plastgardinet i sigtehallen har virket efter hensigten m.h.t. det støv, vanddamp m.m., der kommer under sigtning. Til gengæld har gardinet hindret den vanddamp m.m., der fremkommer under udlastning af råkomposten, i at nå hen til udsugningsspjældet. Det skal i den forbindelse nævnes, at mængden af vanddamp, støv m.m., er mindst lige så stor under udlastning, som under sigtning af råkomposten.

5.2 Vurdering af maskiner

5.2.1 Traktorer

De anvendte traktorer har fungeret tilfredsstillende.

5.2.2 Kompostvendemaskinen

I de 3 første måneder af driftsperioden er der foretaget en række tilpasninger af kompostvendemaskinen. Tilpasningerne kan opdeles i 3 kategorier.

Tilpasninger, der har at gøre med
1) kørsel i tunnelen
2) indlastning af affald
3) kørsel udenfor tunnelen

5.2.2.1 Kørsel i tunnelen. Omtalen af maskinens kørsel i tunnelen opdeles i:

- kørsel
- styring
- staksætning

kørsel

Kørsel omfatter opsamlingen af affald i tunnelen og fremdrift af maskinen.

I indkøringsperioden var der en del problemer med affald, der faldt ned fra milens næsten lodrette sider. Problemerne opstod, når maskinens trækhjul ikke kunne køre frem på grund af affald eller væske. Trækhjulene fedtede rundt enten direkte på nedfaldent affald eller på den væskeglatte overflade af betonen.

ændret opsætning

Dette problem blev dels afhjulpet ved at ændre hældningen på staksætterens lodrette sider, således at affaldet ikke så let rutchede ned, dels ved forrest på maskinen at påmontere bevægelige flapper, der kunne skrabe evt. nedfal-

flapper

dent affald væk fra trækhjulenes kørespor og ind i pick-up-tromlens opsamlingsbredde.

kørespor

Endvidere blev der i tunnelhallens gulv præget kørespor á ca. 1/2 meters bredde. Dvs., at betonen blev "kradset op", således at overfladen i våd tilstand ikke var så glat.

styring

Maskinen styres (ved hjælp af følere og switze) af den stak, den skal køre igennem. Det vil sige, at der er tæt sammenhæng mellem den automatiske styring og den stak, der skal køres igennem, idet styringen sker efter den sidste staksætning. Det er derfor vigtigt, at små uregelmæssigheder i styring og staksætning rettes med det samme, idet uopdagede fejl virker selvforstærkende. I dette afsnit er styring, kørsel og staksætning gennemgået hver for sig, men det er vigtigt hele tiden at huske sammenhængen.

Det krævede finjustering og etablering af ekstra følere og switze at få kompostvendemaskinen til automatisk at køre lige efter stakken i tunnelen, samt at stoppe i indlastningsenden af tunnelen. Efter disse justeringer har styringen fungeret tilfredsstillende. Dvs., at der ikke løbende har skulle justeres af betydning.

staksætning

Vigtigt for staksætning af milen er:

1) staksætterens facon
2) transportbåndets effekt

Under indkøringen af maskinen blev staksætterens facon tilpasset ad flere omgange. Det drejede sig primært om staksætterens lodrette sider, der er bestemmende for den facon, den opsatte mile får. Tilpasningen gjaldt den vinkel, som staksætterens sider danner med lodret.

Efter disse tilpasninger fungerer staksætteren tilfredsstillende, dvs., at milen har en stabil facon, hvorfra affaldet kun i begrænset omfang skrider ned. Herefter er det primært affaldets sammensætning, der er bestemmende for milens stabilitet. Hvis affaldet indeholdet meget plast eller store papir- og papstykker, kan dette betyde, at milen skrider ud til siderne.

transportbånd

Ved de første gennemkørsler med affald viste det sig, at affaldet kunne rutche imod den tilsigtede retning på transportbåndet. Derfor blev der påsat nogle ca. 5 cm høje stykker gummi ("medbringere") på tværs af bevægelsesretningen. Ialt blev påsat 15 stk.

ekstra valser

Endvidere blev der under transportbåndet monteret ekstra valser til styring af båndet, og de eksisterende valser blev finjusteret, da båndet havde tendens til at køre skævt.

Efter disse ændringer fungerer transportbåndet fuldtud tilfredsstillende. Der har ikke været problemer med, at båndet har ændret længde (p.g.a. ændrede fugtigheds-, temperatur- eller andre forhold) eler senere har kørt skævt.

pick-ud-tromlen

5.2.2.2 Indlastning af affald. Ved de første indlastninger af affald havde pick-up-tromlen svært ved at "få fat i" affaldet. Dette problem opstod primært, når affaldet kom fra de kommuner, der udelukkende indsamler i papirsække. Da den mængde affald, der indsamles, er større end kapaciteten i De grønne Huse, blev det besluttet at undgå affald i papirsække i det omfang, det er muligt. Endvidere blev den tværstang (til afstivning af maskinen), der sad øverst foran tromlen, flyttet opad således, at affaldet bedre kunne falde hen mod pick-up-tromlen.

Indlastningen af affald fungerer tilfredsstillende efter disse tilpasninger, og efter at personalet har fået rutine i indlastningsproceduren, således, at der indlastes maximal mængde hver dag.

5.2.2.3 Kørsel udenfor tunnelen. Maskinen kan ikke køre på underlag, der skråner kraftigt. Det har derfor været nødvendigt at etablere flade ramper mellem forhallerne og det omkringliggende areal.

Transporten af maskinen fra modtagehal til sigtehal foregår herefter tilfredsstillende. Ligeledes fungerer tilkobling af ifyldevogn og rengøring af maskinen godt.

5.2.2.4 Konklusion. I perioden fra levering af kompostvendemaskinen til driften med den kan betegnes som fuldt tilfredsstillende, er der sket følgende tilpasninger:

1) ændring af staksætter
2) påmontering af flapper
3) etablering af kørespor
4) finjustering og etablering af ekstra switze
5) påsætning af medbringere på transportbåndet
6) justering og etablering af ekstra valser under transportbåndet
7) flytning af tværstang ved pick-up-tromle

8) fravælgning af affald i papirsække
9) etablering af ramper ved begge forhaller

De fleste af disse tilpasninger blev gennemført i de første 3 måneder, dvs. i indkøringsperioden.

Kompostvendemaskinen fungerede herefter tilfredsstillende.

Når det gælder pkt. 8 angående affald indsamlet i papirsække kan det ved fremtidige anlæg anbefales at udstyre pick-up-tromlen med flere og længere tænder. Endvidere bør maskinens minimalhastighed (i fremdrift) være endnu lavere. I så tilfælde vil der ikke være nogle problemer med indlastning og itu-rivning af papirsække.

5.2.3 Sigte

Sigten har ikke givet anledning til nogle driftsmæssige problemer. Det kræver en del rutine at udskifre soldet hurtigt, men udover det har sigten fungeret tilfredsstillende.

5.2.4 Containere

Den interne transport af både sigterest og råkompost har kunnet udføres uden overdækning. Der har ikke været problemer med plastflugt eller lignende.

5.3 Vurdering af kompostfilteret

Der har ikke været klaget fra beboerne i Frederikssund kommune over lugt, der kunne relateres til De grønne Huse.

Der er heller ikke internt på AFAV problemer med lugt fra kompostfilteret. Selv i umiddelbar nærhed af filteret kan den karakteristiske "affaldslugt" ikke genkendes. Filteret kræver ingen vedligeholdelse udover vanding i tørre perioder.

I koldt vejr ses vanddamp stige op fra filteret i et jævnt mønster. Der er således intet, der tyder på tilstopning af fordelingsrørene. Den opstigende vanddamp er lugtfri.

5.4 Vurdering af ventilation og beluftning

5.4.1 Vurdering af ventilation af forhaller

Ventilationssystemet i forhallerne har to formål:

1. at begrænse mængden af vanddamp, støv, mikroorganismer m.m. mest muligt, således at arbejdsmiljøet lever op til arbejdstilsynets krav.

2. at styre luftstrømmene i forhallerne, så ledes at der hele tiden er frisk luft i det område, hvor medarbejderne opholder sig.

5.4.2 Vurdering af arbejdsmiljøet

Det er både rådgivers, AFAV's og arbejdstilsynets overbevisning, at det anvendte ventilationssystem nedbringer mængden af vanddamp, støv og mikroorganismer i forhallerne væsentligt. Mængden af mikroorganismer er udfra de gennemførte målinger bragt ned på et acceptabelt niveau.

målinger

I maj 1990 gennemførte Birger Lund A/S og Skandinavisk Biomedicinsk Institut en arbejdsmiljøundersøgelse i forhallerne under forskellige arbejdsprocesser.

Undersøgelserne blev gennemført med portene åbne, idet det var de aktuelle og realistiske arbejdsbetingelser på anlægget på daværende tidspunkt.

Arbejdsmiljøundersøgelsen omfattede målinger af

- total støv
- bakterier (total kim)
- gram negative bakterier
- svampe
- endotoxiner

Undersøgelsen omfatter 3 typer målinger:

- stationære målinger
- personbårne målinger
- spidsbelastningsmålinger

De stationære målinger blev udført 3 steder (+ 2 referencesteder) og omfattede målinger af

- total støv
- bakterier (total kim)
- gram negative bakterier
- svampe
- endotoxiner

De personbårne målinger blev udført på begge medarbejdere på anlægget og omfattede måling af

- total støv
- bakterier (total kim)
- gram negative bakterier
- svampe
- endotoxiner

Spidsbelastningsmålingerne blev udført 6 steder i arbejdsproceduren. Der blev målt på bakterier (total kim) og svampe.

I rapporten sammenlignes de opnåede resultater med officielle og uofficielle grænseværdier og andre lignende målinger.

Undersøgelserne viste, at totalstøvmængderne og endotoxin-niveauet generelt var lave, og at kimtalsmålingerne ved spidsbelastninger og vaskeflaskemålingerne med hensyn til bakterier og svampe viste lave værdier, (Birger Lund A/S, 1990).

Undersøgelserne understregede vigtigheden af grundig rengøring af rendegraver-kabinen, da der ophobes meget støv og snavs her. Endvidere pegede undersøgelsen på vigtigheden af brug af åndedrætsværn under sigtning, af hensyn til den totale kimbelastning, og under rengøring af forhaller og maskinen, af hensyn til svampebelastninger.

konklusion

Ingen af målingerne af disse parametre nåede et niveau, der kan anses for kritisk i henseende til indendørs arbejdsmiljø.

På baggrund af dette vurderes det etablerede ventilationssystem at fungere tilfredsstillende i begge forhaller.

Som nævnt under afsnit 5.1.2 vurderes den nederste del af de opsatte gardiner ("tungerne") i begge forhaller at være nyttesløse, idet de ødelægges for hurtigt. Endvidere vurderes det opsatte gardin i sigtehallen delvist at modvirke sit eget formål, idet det hindrer vanddamp m.m. ved udlastninger af råkompost i at nå hen til udsugningsspjældet.

Ved fremtidige anlæg må det anbefales, at automatisere ind- og udlastning samt rengøring fuldstændigt, således at alt arbejde kan foregår i traktor. Endvidere bør det tilstræbes at placere et fremtidigt anlæg så langt fra beboelsesområde, at forhallerne helt kan undværres.

5.4.3 Vurdering af ventilation i tunnelen

formål

Ventilationen af tunnelen blev etableret for at sikre arbejdsmiljøet i forhallerne, når portene indtil tunnelen skal åbnes.

Hver port åbnes en gang dagligt, når kompostvendemaskinen skal ind og ud.

visuel bedømmelse

Hvis portene åbnes uden, at tunnelen er "skyllet", (se beskrivelse i afsnit 4.4.2), ses vanddamp og støv tydeligt at vælte ud i forhallerne. Ligeledes er det tydeligt at iagttage, at dette ikke sker efter "skylning" i 10 minutter.

målinger

Ved gennemførelse af de arbejdsmiljømæssige målinger i maj 1990 blev der målt på spidsbelastningspåvirkninger af bakterier og svampe. Målingerne blev gennemført med RC-sampler af Skandinavisk Biomedicinsk Institut. De aktuelle resultater ses i tabel 4.

	bakterier CFU/m³	svampe CFU/m³
efter åbning af port (hal 1) 1)	6525	175
udlastning af råkompost (hal 2) 2)	4650	650
udereference	4275	425

Tabel 4
Spidsbelastningsmålinger udført med RC-sampler. CFU = kolonidannede enheder. (Birger Lund A/S, 1990).
1) efter åbning af port, når kompostvendemaskinen kører frem, inden tilkobling af ifyldervogn.
2) ved åbning af ledhejseport ind til tunnelen og under udlastning af råkompost. Målingen blev foretaget lige ved porten.

Målingerne er ikke gennemført for specifikt at belyse effekten af ventilationen i tunnelen, men for at få et indtryk af belastningen af bakterie, støv m.m. Som det ses af tabelteksten er målingerne strakt over dels åbning af port og næste arbejdsgang: enten ud- eller indlastning af råkompost eller affald. Det skønnes, at dette er grunden til, at der måles let forhøjede kimtal for bakterier og svampe i forhold til udereferencen.

5.4.4 Vurdering af beluftning af miler i tunnelhal

formål

Beluftningsventilatorernes formål er at belufte affaldet i milerne, således at forkomposteringsprocessen fremskyndes, dvs., at mikroorganismerne har optimale forhold.

Som nævnt under afsnit 5.1.1.1 har der været problemer med tilstopning af beluftningsgruberne.

Det formodes, at disse problemer først for alvor begyndte at være markante ca. 1/2 år efter ibrugtagningen af De grønne Huse. Herefter er der foretaget målinger af ydelse og modtryk i beluftningssystemet for at belyse ventilatorernes ydeevne under de givne omstændigheder, det vil sige mere eller mindre tilstoppede beluftningsgruber.

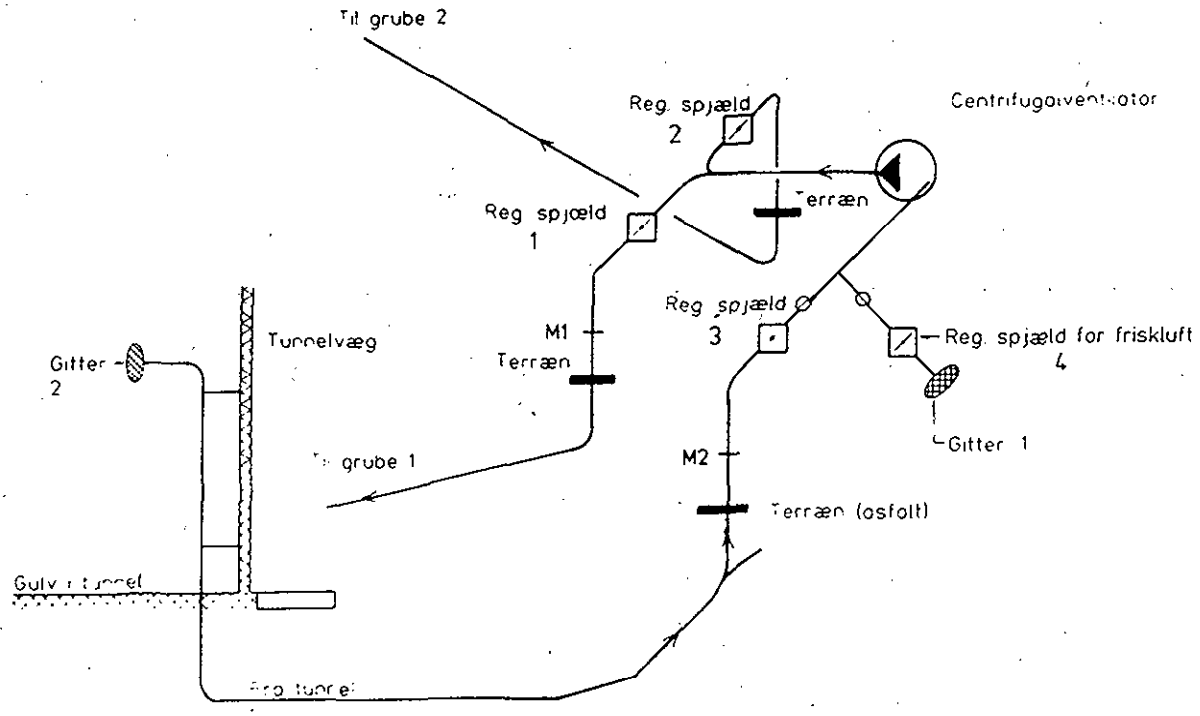
Der blev målt på beluftningsmængder og på milernes modtryk. Beluftningsmængderne blev målt ved hjælp af et vingeanemometer. Tryk blev målt ved hjælp af en væskesøjle.

Målestederne for tryk fremgår af figur 21. Der blev målt over M_1 og M_2. Spjæld nr. 1, 2 og 3 var åbne, spjæld nr. 4 var lukket under de indledende målinger. Senere ændredes på spjæld nr. 3 og 4. Beluftningsventilatorernes karakteristik fremgår af figur 22. Detaljerne omkring målingen fremgår af notat 19.11.1990, der er vist i bilag 2.

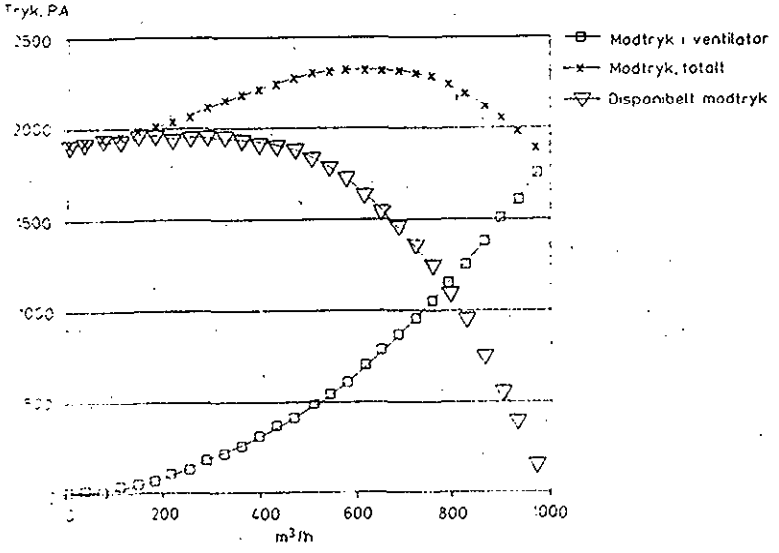
Konklusion på den første måling på ventilator 1 var:

Det samlede modtryk i indlastningsenden af kompostmile 1 var ca. 10 mmVS. Indløbsspjældene (1 og 2) ved ventilator 1 var tæret væk. Det mindste målte modtryk i systemet var 70 mmVS. Kompostmilens modtryk kan herfra beregnes til ca. 135 mmVS i indlastningsenden, og ca. 110 mmVS i

udlastningsenden. Denne forskel i modtryk skyldes sandsynligvis forskellen i milens højde i de to ender. Ved indlastning er milen ca. 1,8 m høj. Ved udlastning er milen ca. 1 m høj.



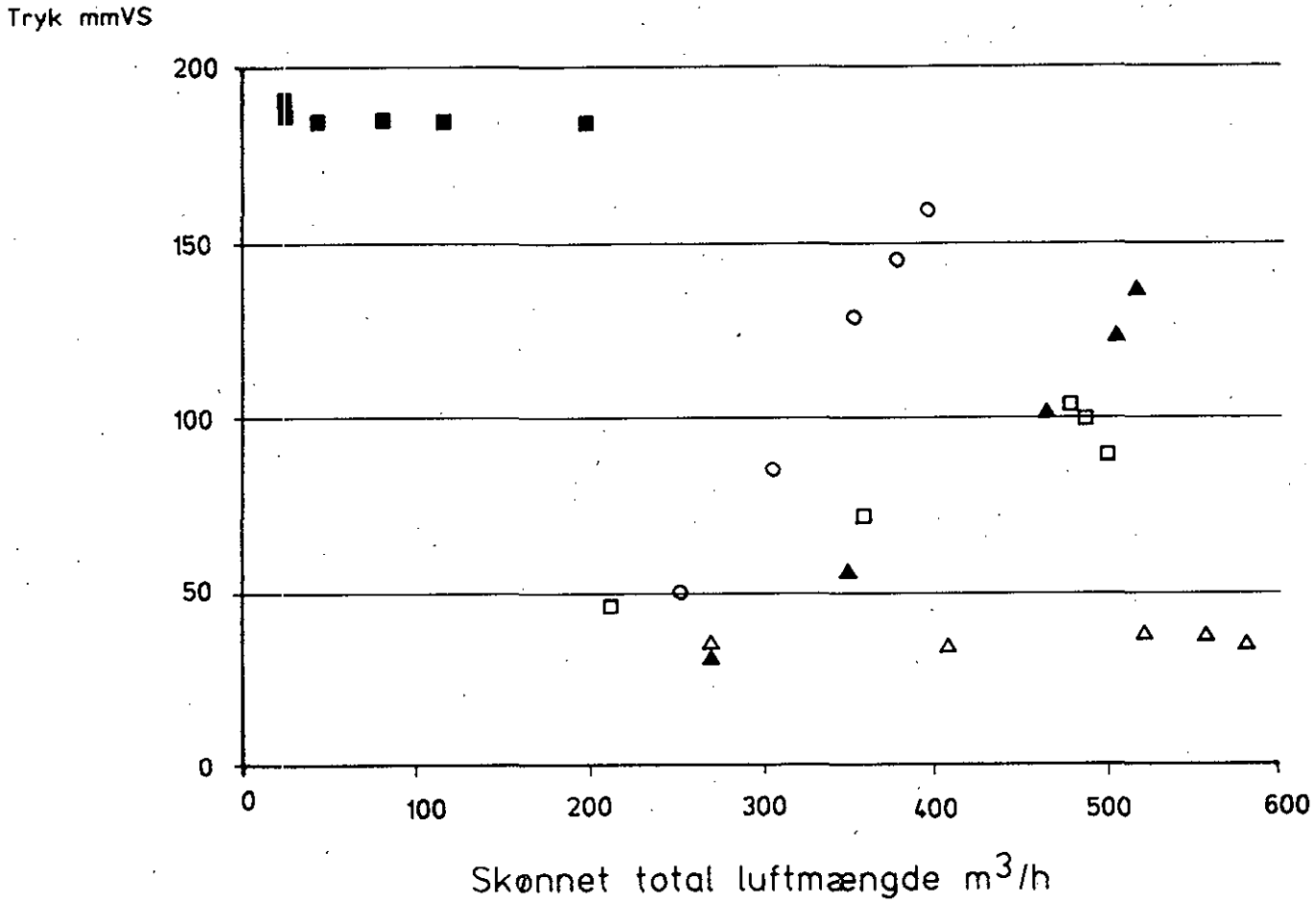
Figur 21
Ventilationsarrangement for grube 1 og 2. Målestederne er angivet med M1 og M2.



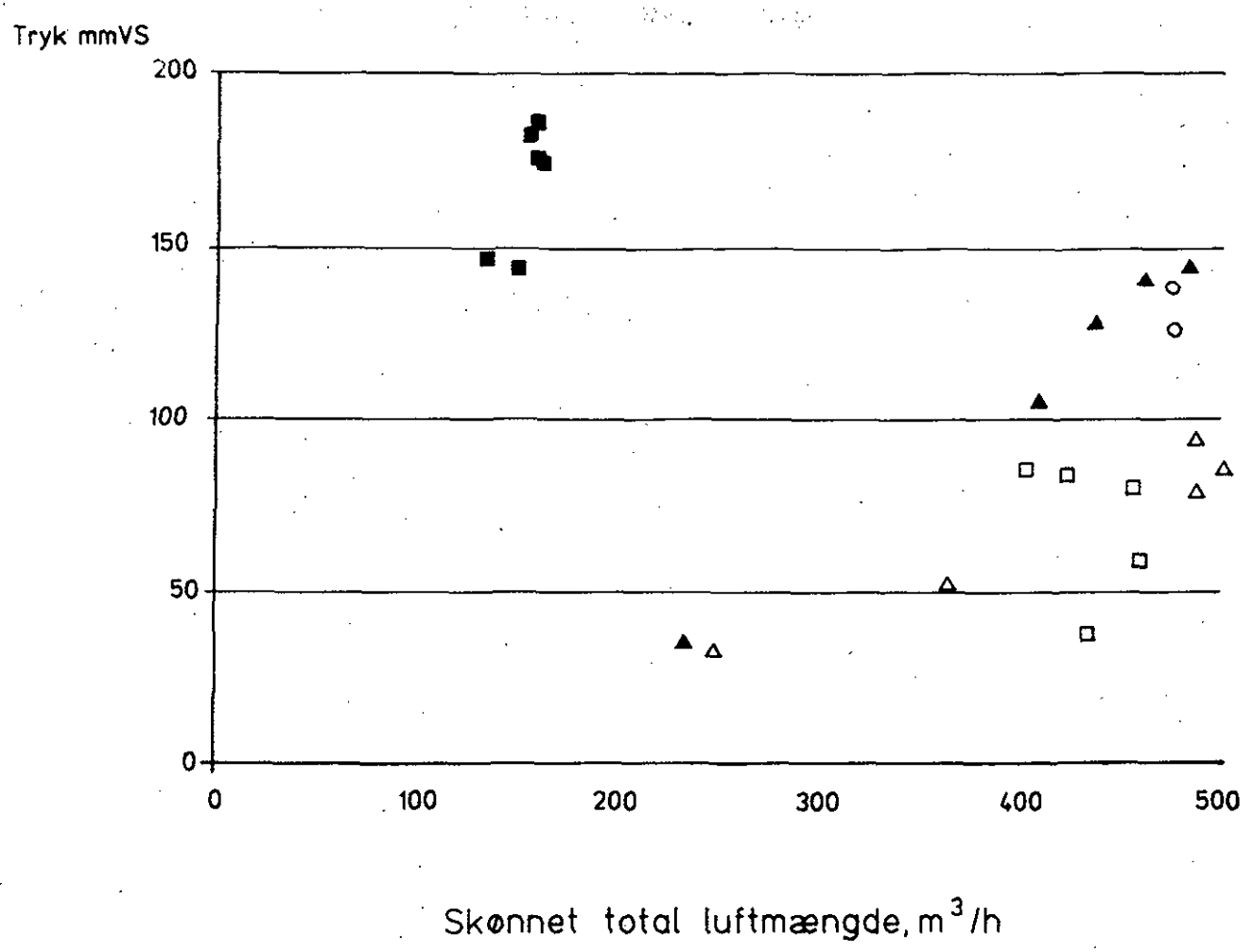
Figur 22
Ventilatorkarakteristik for de anvendte beluftningsventilatorer. Oplyst af leverandøren (Novenco).

Målingerne blev gentaget. Detaljerne omkring den anden måling fremgår af notat af 18.12. 1990, der er trykt i bilag 2.

Hovedresultaterne fremgår af figur 23 og 24.



Figur 23
Tryk og luftmængder, ventilator 1, De grønne Huse, AFAV I/S.
■ : Målt før gennemkørsel med kompostvendemaskinen.
□ : Målt under gennemkørsel, rec. spjæld (3) lukket.
○ : Målt under gennemkørsel, friskluftsspjæld (4), lukket.
▲ : Målt ved tom tunnel, dvs. ingen kompostmiler.



Figur 24
Tryk og luftmængder, ventilator 3, De grønne Huse, AFAV I/S.
■ : Målt før gennemkørsel med kompostvendemaskinen.
□ : Målt under gennemkørsel, rec. spjæld (3) lukket.
○ : Målt under gennemkørsel, friskluftsspjæld (4), lukket.
▲ : Målt ved tom tunnel, dvs. ingen kompostmiler.

Kommentarer til figur 23 og 24:

Det formodes, at situationen "før gennemkørsel" er den, der oftest gør sig gældende i De grønne Huse. Dog er det sandsynligt, at milens modtryk er størst her umiddelbart før gennemkørsel med vendemaskinen, idet milen synker mere og mere sammen efter en vending.

I følge L. Berthelsen (personlig kommunikation, 1990) er modtrykket i kompostmilen proportionalt med 4. potens af milens massefylde. Fra indlastning af affald til næste vending, dvs., ca. 1 døgn, ændres massefylden fra ca. 0,7 til ca. 0,85. Massefylden øges ca. 20%, dvs., at modtrykket bliver ca. dobbelt så stort.

Værdierne målt under gennemkørsel med maskinen er fremkommet på følgende måde: Maskinen blev kørt hen over en af de aktuelle gruber. Herefter blev maskinen stoppet, således at dele af den "åbne" grubes overflade kunne rengøres for affald m.m. Herved blev der "frit" til maximal beluftningsmængde gennem det rensede areal. Der blev gennemført målinger dels med recirkulationsspjældet lukket dels med friskluftsspjældet lukket.

Det åbne spjæld blev indstillet i forskellige positioner, deraf de forskellige punkter i figuren.

Som det ses er luftmængde og modtryk før gennemkørsel med maskinen stort set ens i de to ender af tunnelen. Ydelsen er ca. 150 m^3/h, og modtrykket er 150-200 mmVS. Det er ikke hele modtrykket, der stammer fra kompostmilen. En lille del af modtrykket stammer fra rør, gruber, m.m.

Kompostmilens modtryk i indlastningsenden af tunnelen kan beregnes til ca. 135 mmVS.

Kompostmilens modtryk i udlastningsenden af tunnelen kan beregnes til ca. 110 mmVS. Modtrykket er mindre her pga. den mindre mængde kompost.

konklusion

Der er målt sammenhørende værdier af tryk og luftmængder under forskellige driftsforhold ved ventilator 1 og 3. Herfra er den totale beluftningsmængde beregnet, således at denne kan sammenholdes med det aktuelle tryk.

Ved ventilator 1 fås konstant lav beluftningsmængde og konstant forholdsvis højt tryk uanset spjældindstilling. Dette kan ikke umiddelbart forklares ved andet end det høje modtryk, ca. 135 mmVS, som kompostmilen i tunnelen yder. Ventilatoren er sandsynligvis ikke i stand til at overvinde dette modtryk, og yder derfor alt for lav en beluftningsmængde. Det høje modtryk, som kompostmilen yder, kan muligvis skyldes:

1. at trykket pr. længdeenhed er for højt. Det vil sige, at komposten er for kompakt og/eller

2. at den længde (her højde), hvorover der er tryktab, er for stor. Det vil sige, at milen er for høj.

Det totale tryktab = tryktab pr. længdeenhed x længden.

Hvis tryktabet pr. enhed gøres mindre, kan længden (her højden af milen) gøres større.

Kompostmilen var ca. 135 cm høj inden gennemkørsel med kompostvendemaskinen. Lige efter gennemkørsel var milen ca. 180 cm. Det vil sige, at milen synker temmelig meget sammen i løbet af 1 døgn.

Hvis det høje modtryk skyldes ovennævnte faktorer, vil iblanding af mere strukturmateriale (haveaffald eller halm) dels gøre komposten mere porøs dels mindske tyngden i milen, da struktur-materiale har en mindre vægtfylde end affald.

Sammenlignes de to målinger (ved ventilator 1 og 3) ses, at der ved samme tryk opnås større luftmængde ved ventilator 3 end ved ventilator 1. Det vil sige, at modtrykket fra kompostmilen ved ventilator 3 er mindre (da modtrykket i rør og gruber må antages at være nogenlunde konstant), og at ventilatoren derfor kan yde større beluftningsmængde. Det er dog ikke nogen tilfredsstillende beluftningsmængde, der ydes af ventilator 3 under disse målinger.

Kompostmilens modtryk i starten af milen (ved ventilator 1) er ca. 135 mmVS og i slutningen af milen ca. 110 mmVS. Der ses altså en sammenhæng mellem milehøjde og modtryk.

6.0 Forkomposteringsprocessen

6.1 Teori, praksis og problemer

demonstrations-anlæg

De grønne Huse er opbygget som et demonstrationsanlæg for kompostering af organisk husholdningsaffald. Det vil sige, at anlægget gennem forsøg skal demonstrere, hvordan man af grønt husholdningsaffald kan producere en kvalitetskompost samtidig med, at en række produktionskrav overholdes:

kvalitetskrav

- der må ikke være lugtgener i det ydre miljø omkring anlægget
- komposteringen skal sikre en effektiv hygiejnisering
- anlægs- og driftsudgifter skal minimeres
- der må ikke være arbejdsmiljøproblemer på anlægget.

tidligere erfaringer

Det anlæg, der benyttes, er udviklet på baggrund af erfaringer fra champignongartnernes komposteringsanlæg, Landbohøjskolens erfaringer fra forsøg med udnyttelse af komposteringsvarme fra husdyrgødning, samt tidligere komposteringsanlæg projekteret af Birger Lund A/S.

termofilt anlæg

De grønne Huse er et termofilt anlæg med muligheder for at skabe optimale komposteringsbetingelser.

Anlægget består af en isoleret tunnel, hvor temperaturen kan holdes konstant på et niveau, der afhænger af kompostens temperatur. Beluftningen af komposten kan styres, således at den højeste mikrobielle aktivitet kan opnås.

6.1.1 Håndteringskæde og homogenisering

masseflow

Håndteringskæden og den biologiske omsætning af det organiske husholdningsaffald er følgende:

Det kildesorterede affald, der er max. 14 dage gammelt afleveres af indsamlingsvognen i modtagehallen i De grønne Huse.

homogenisering

Affaldet lægges derefter i kompostvenderens ifyldervogn og indlastes i tunnelen af kompostvenderen. Kompostvenderen river papir- og plastposer itu, og affaldet blandes herefter af kastetromle og transportbånd. Under blandingen sker der dels en sønderdeling, dels en blanding af materialer, fugtighed og struktur. Affaldet består af alt muligt kildesorteret organisk materiale. Det vil sige madrester, bleer, haveaffald, vådt papir, blomsteraffald, køkkenaffald m.m. Det er derfor vigtigt for komposteringsprocessen, at der sker en god opblanding af disse forskellige materialer.

teori

Materialet skal have så stor kontaktflade til mikroorganismer og ilt som muligt, det vil sige, at affaldet skal have mange små kanaler og en stor (indre) overflade. Helst skal alt let omsætteligt materiale "smøres udover" det langsomt omsætteligt materiale i et tyndt lag, således at der kan komme ilt til det letomsættelige materiale. Letomsætteligt er f.eks. madrester, frugt og grønsager (excl. citrusskræller) m.m., langsomt omsætteligt er citrusskræller, kødben, bleer, papir, blomsteraffald m.m.

Opblandingen skal sikre et godt, porøst materiale, der kun giver ringe modtryk mod gennemblæsningen af ilt, således af alt materiale holdes aerobt.

praksis

Komposteringsmaskinens pick-up-tromle roterer 80 omgange pr. minut, eller 1,33 omgang pr. sekund. Ved langsomste fremkørselshastighed kører maskinen 0,15 m pr. minut, eller 2,5 mm pr. sekund. Tromlen skræller altså i teorien småstykker ud af affaldet på ca. 2 mm. I praksis kan pick-up-tromlen dog sagtens få fat i en pose og trække hele posen + indhold med ud af affaldsstakken i ifyldervognen. Jo hurtigere tromlen roterer og jo langsommere maskinen kører frem, des bedre bliver sønderdeling og opblanding. Hastigheden på tromlen er konstant, men fremkørselshastigheden kan reguleres. Denne bør være så lav som muligt, især under indlastning.

6.1.2 Beluftning

Omsætningen af affaldet kræver ilt. Under indlastning og den daglige strukturering af milerne beluftes materialet. Endvidere er der som tidligere omtalt etableret luftindblæsning under milerne gennem 2 x 5 gruber i gulvet. Her

igennem kan tilføres frisk luft ude fra, varm luft hentet fra tunnelen, eller en blanding af disse.

teori

Ifølge Berthelsen (1986) fås den mest optimale komposteringshastighed for staldgødning ved at belufte med 100 m³ luft pr. time pr. m² gødningen dækker. Dette gælder uafhængigt af lagtykkelsen.

Ifølge Wiley & Pearce (1955) c.f. Vemmelund & Berthelsen (1977) fås optimal kompostering af affald ved en lufttilførsel på 0,4-1,3 l/min./kg organisk stof (vs), og ifølge Schulze (1972) c.f. Vemmelund & Berthelsen (1977) fås optimal kompostering af køkkenaffald ved en lufttilførsel på 0,2-0,6 l/min./kg vs.

praksis

Der indlastes ca. 8 t affald pr. mile pr. arbejdsdag. Når det antages, at tørstofprocenten er ca. 30, og at det organiske stof (vs) udgør ca. 90% af tørstoffet, indlastes altså ca. 2160 kg vs pr. mile pr. arbejdsdag. De to miler i tunnelen er ca. 23 m lange og ca. 2 m brede. Milerne dækker ca. 92 m².

teori

Ifølge Berthelsen (1986) skulle hver mile, hvis det var staldgødning, beluftes med 4600 m³ luft pr. time, hvilket svarer til 920 m³ pr. grube pr. time.

Ifølge Wiley & Pearce (1955) og Schulze (1972) skulle beluftningen være mellem 0,2 og 1,3 l/min./kg vs. Hvis vi ser bort fra den ændring i tørstofprocent og den omsætning af organisk stof, der sker gennem tunnelen, betyder det en beluftning på mellem ca. 130 m³ og 840 m³ pr. time i hele tunnelen. Hvilket svarer til mellem ca. 25 og 170 m³/h pr. grube.

praksis

De anvendte ventilatorer kan yde ca. 400 m³/h. Det vil sige, at komposten over de første fire gruber i hver mile beluftes med ca. 200 m³/h og over den sidste grube med ca. 400 m³/h.

6.1.3 Opholdstid, sigtning og eftermodning

Det kildesorterede affald ligger i tunnelen ca. 7 dage. I løbet af denne periode bliver det vendt, yderligere sønderdelt og luftet 5 gange. Under udlastningen til sigtehallen sker der en sjette opblanding.

sigtning

Efter forkomposteringen i tunnelen sigtes råkomposten gennem en sigte med en soldstørrelse på 25 mm. Herved frasorteres plastposer anvendt til opsamling i køkkenet og evt. fejlsorteret husholdningsaffald såsom plast, konservesdåser, tekstiler, papkasser m.v. Alt organisk materiale er så sønderdelt og omsat, at det passerer gennem sigten.

eftermodning

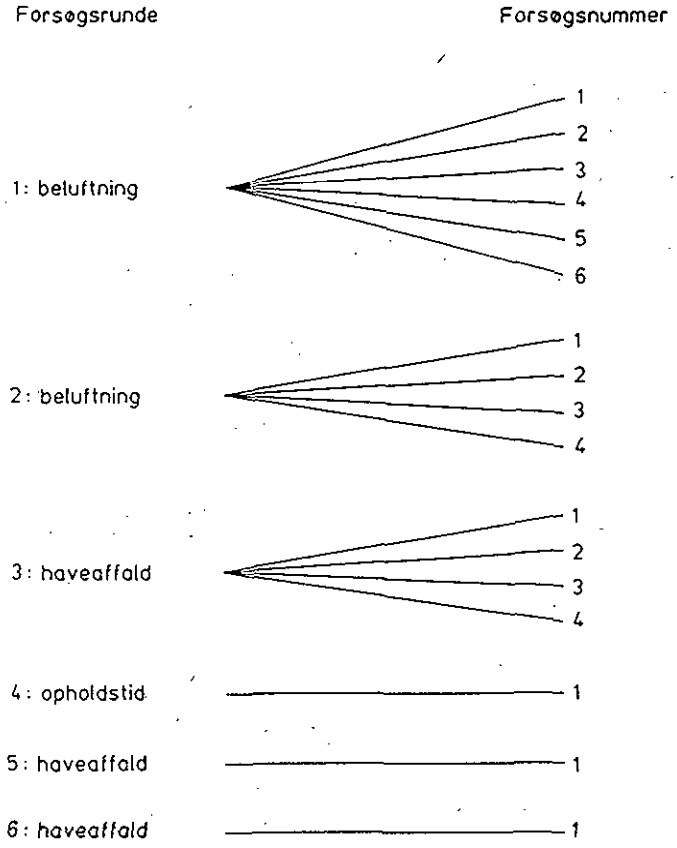
Efter sigtning lægges råkomposten i eftermodningsmiler udendørs i 2-3 måneder, se senere afsnit.

6.2 Gennemførte forsøg

Der blev gennemført forsøg med

- beluftning
- tilsætning af haveaffald
- opholdstid

Dette skete i 6 forsøgsrunder, hver indeholdende 1-6 forsøg, se figur 25.



Figur 25
Forsøgsrunder og antal forsøg i hver runde.

formål

Formålet med forsøgene var at optimere driften af anlægget, kapaciteten og kompostkvaliteten under de givne forudsætninger.

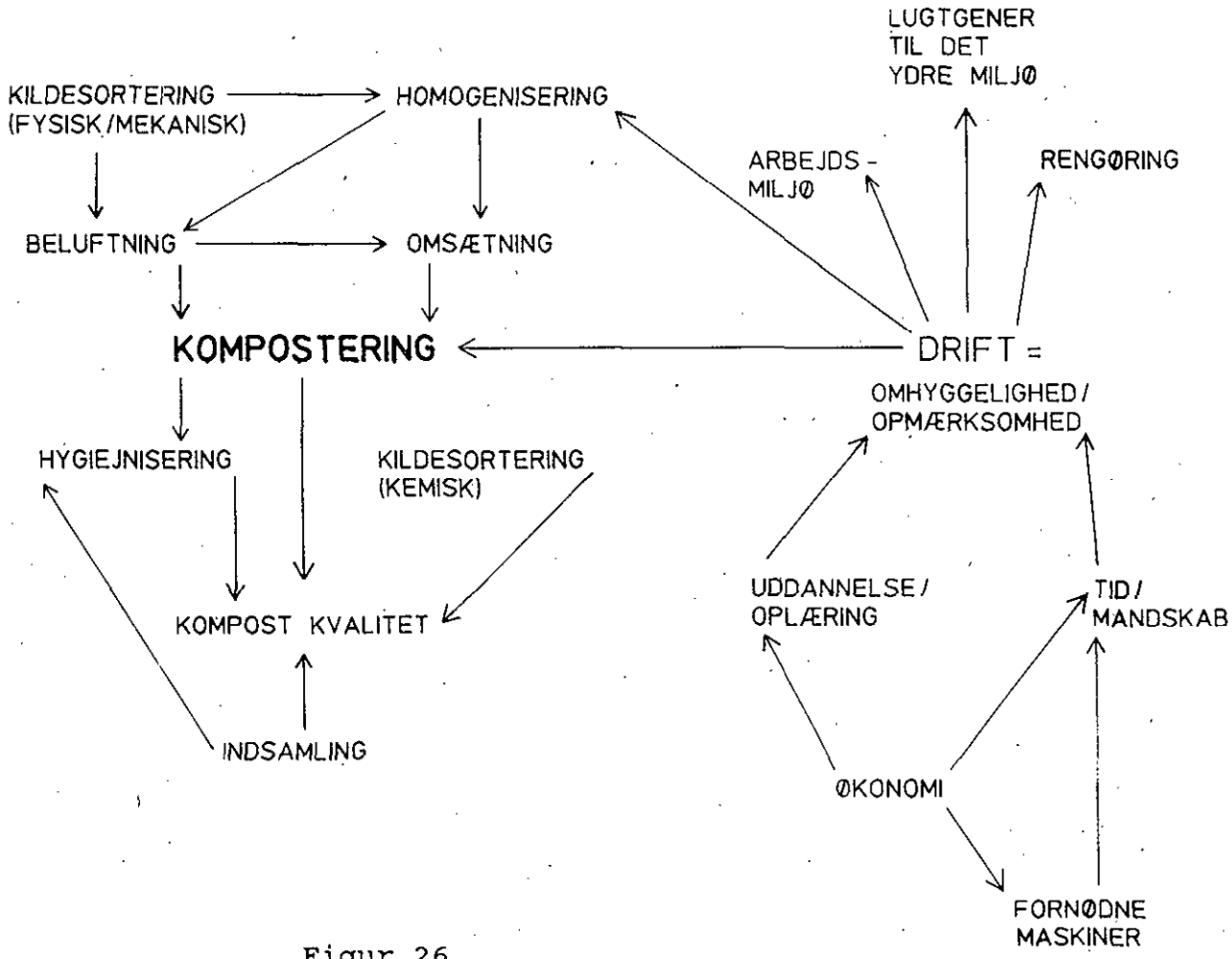
læsevejledning

Forsøgsplanen for de 6 forsøgsrunder er delvis blevet udarbejdet efter og tilpasset de resultater, der viste sig henad vejen med anlæg, affald, drift og produkt. For at sikre en logisk og letlæselig tekst, er hovedkonklusionerne af hver forsøgsrunde kort omtalt i dette afsnit. De detaljerede resultater af samtlige målte parametre og sammenhænge mellem variable parametre og resultater fremgår af afsnit 6.3.

mange variable faktorer

Kompostering er en proces, der påvirkes af mange variable faktorer.

Kompostkvaliteten påvirkes ligeledes af mange variable faktorer. I figur 26 er de vigtigste faktorer opstillet. Ingen af sammenhængene er udelukkende énvejs. Pilene angiver den dominerende retning af påvirkningen.



Figur 26
Centrale parametre, der påvirker kompostering-en.

Homogenisering og beluftning er centrale faktorer, som kan ændres/påvirkes internt på anlægget.

homogenisering

Homogeniseringen af affaldet er bestemt først og fremmest af affaldets sammensætning og dernæst af den valgte kompostvendemaskine. De ændringer, der kan laves internt på anlægget, er gennemprøvet løbende i indkøringsperioden (1.1.90-1.4.90).

beluftning

Det blev ved udarbejdelsen af forsøgsplanen valgt at koncentrere de første forsøgsrunder omkring beluftningen i forkomposteringstunnelen.

Selve beluftningsventilatorerne er beskrevet i tidligere afsnit. Beluftningsventilatorerne kan yde en luftmængde på ca. 400 m^3/h pr. ventilator.

6.2.1 Første forsøgsrunde

Under udarbejdelsen af forsøgsplanen for første forsøgsrunde blev benyttet følgende prioritering af formålene med forsøgene:

- tørring af affald/råkompost
- stor omsætning gennem tunnelen
- høj temperatur

vekselvirkning

Disse tre parametre påvirker hinanden således, at øget omsætning hæver temperaturen. Når temperaturen hæves, sker der større tørring af materialet. Hvis fordampningen af vand er meget stor, således at der sker en kraftig udtørring, fås et fald i omsætning og dermed lavere temperatur.

formål

Ved forsøgets start var det primære mål at få en råkompost, hvor plastposer fra indsamlingen m.m. kunne sigtes fra uden at få råkompost i sigteresten.

Derfor koncentreredes første forsøgsrunde om at optimere beluftningen i sidste del af tunnelen, lige inden udlastning.

Beluftningen i den øvrige del af tunnelen (4 ventilatorer = 8 gruber) blev indstillet på et minimum af tilsat frisk luft og et maximum af recirkuleret luft. Den aktuelle totale ydelse var ved denne indstilling af reguleringsspjældene ca. 90 % af den maximale ydelse, eller ca. 360 m^3/h pr. ventilator = 180 m^3/h pr. grube.

Heraf udgør mængden af frisk luft under 20%, eller under ca. 36 m^3/h.

varighed

Første forsøgsrunde varede 8 uger. Uge 13-21, excl. uge 15.

forsøgsplan

De afprøvede beluftningsmængder fremgår af tabel 5. De forskellige spjældindstillinger ved de aktuelle forsøg fremgår af bilag 10.

Forsøg nr.	Beluftningsmængde, m^3/h				
	grube 1-4, 6-9 pr. grube		grube 5 og 10 pr. grube		i alt grube 5 (10)
	frisk luft	rec. luft	frisk luft	rec. luft	
1	< 36	≈ 145	80	290	370
2	< 36	≈ 145	90	280	370
3	< 36	≈ 145	220	110	330
4	< 36	≈ 145	210	120	330
5	< 36	≈ 145	220	70	290
6	< 36	≈ 145	220	70	290

Tabel 5
Forsøgsplan for første forsøgsrunde. Beluftningsmængde pr. grube er angivet i m^3/h og er skønnet ud fra samtidige målinger.
Rec. luft = recirkuleret luftmængde.

konklusion

Hovedkonklusion af første forsøgsrunde var, at jo mere frisk luft, der gives, des højere bliver temperaturen og des bedre tørring blev opnået. Den højeste temperatur blev således nået, når beluftningsspjældene stod enten 2/3 eller helt åbne. Der blev beluftet med ca. 300 m^3/h. Heraf var ca. 75% frisk luft og ca. 25% recirkuleret luft.

6.2.2 Anden forsøgsrunde

formål

I anden forsøgsrunde afprøvedes større beluftningsmængde i hele tunnelen. Især blev mængden af frisk luft sat op. Imidlertid blev der ikke skruet helt op for beluftningen, da det kunne frygtes, at råkomposten enten blev udtørret

eller, at varmen simpelthen blev blæst ud af milerne.

varighed

Anden forsøgsrunde varede 4 uger. Uge 24, 25, 26 og 28.

forsøgsplan

Forsøgsplanen for anden forsøgsrunde fremgår af tabel 6.

Det blev under 2. forsøgsrunde konstateret, at beluftningen ikke fungerede optimalt p.gr.a. tilstopning af ristene i gruberne. Som følge heraf var den maximale beluftningsmængde ved ventilator 1, 2, 4 og 5 faldet fra ca. 400 m^3/h pr. ventilator til ca. 300 m^3/h pr. ventilator. Beluftningsmængderne ved ventilator 3 og 6 var faldet fra ca. 400 m^3/h til ca. 350 m^3/h pr. ventilator. Beluftningsmængderne i tabel 7 er skønnet ud fra denne iagttagelse.

Forsøg nr.	Beluftningsmængde, m^3/h				
	grube 1-4, 6-9 pr. grube		grube 5 og 10 pr. grube		i alt pr. mile
	frisk luft	rec. luft	frisk luft	rec. luft	
1	30	108	194	61	807
2	35	105	197	62	819
3	60	68	194	61	767
4	65	73	197	62	811

Tabel 6
Forsøgsplan for anden forsøgsrunde. Beluftningssmængden pr. grube er angivet i m^3/h og skønnet ud fra samtidige målinger. Maximal ydelse for ventilator 1, 2, 4 og 5 er ca. 300 m^3/h. Maximal ydelse for ventilator 3 og 6 er ca. 350 m^3/h. Rec. luft = recirkuleret luft.

konklusion

På baggrund af positiv udvikling i tørringen af affaldet gennem tunnelen samt de opnåede temperaturer er den optimale indstilling af beluftningsventilatorerne som angivet i tabel 7. Her er også angivet den spjældindstilling, der svarer til beluftningsmængden under forudsætning af, at den maximale ydelse er 400 m^3/h pr. ventilator. I anden forsøgsrunde var den maksimale ydelse 300-350 m^3/h pr. ventilator.

	Beluftning								
	Spjældindstilling				Beluftningsmængde, m³/h				
	grube 1-4, 6-9		grube 5 og 10		grube 1-4, 6-9 pr. grube		grube 5 og 10 pr. grube		i alt pr. mile
	frisk luft	rec. luft	frisk luft	rec. luft	frisk luft	rec. luft	frisk luft	rec. luft	
optimal indstil-ling	1/3	1	1	1	47	140	225	71	1044

Tabel 7
Optimal indstilling af beluftningsspjæld i De grønne Huse. Den angivne beluftningsmængde er afgivet udfra en maximal total ydelse pr. ventilator på ca. 400 m³/h. Rec. luft = recirkuleret luft.

Herved opnåes en tunneltemperatur på ca. 55°C og en temperatur i milerne på ca. 50°C, samt en stigning i tørstofprocent fra 30% til 37%.

6.2.3 Tredje forsøgsrunde

formål

Formålet med tredje forsøgsrunde var ved hjælp af tilsætning af haveaffald til affaldet at

- hæve temperaturen
- øge omsætningen
- bedre mileprofilen i tunnelen
- øge den indlastede mængde grønt affald (excl. haveaffald)

Beluftningen blev indstillet på de værdier, som første og anden forsøgsrunde havde vist, var optimal, se tabel 7. Det var forventet, at tilsætningen af haveaffald ville gøre affaldet i tunnelen mere luftigt.

varighed

Tredje forsøgsrunde varede 4 uger. Uge 29, 31, 32 og 33.

forsøgsplan

Forsøgsplanen fremgår af tabel 8.

Det anvendte hovedaffald kom fra Frederikssund Kommune og stammer fra containerpladser, hvor borgerne afleverer deres haveaffald. Haveaffaldet kommer fra private haver.

Forsøg nr.	Tilsætning af haveaffald
1	5 %
2	5 %
3	15 %
4	15 %

Tabel 8
Forsøgsplan for 3. forsøgsrunde.

konklusion

3. forsøgsrunde viste positive resultater for milehøjde og mileprofil ved tilsætning af haveaffald. Der sås ingen signifikant forskel mellem de to mængder haveaffald. Endvidere sås negative resultater med hensyn til for lave temperaturer i tunnel og miler, samt en for kraftig udtørring af råkomposten. Det blev derfor besluttet at gennemføre en forsøgsrunde med tilsætning af minimum 5% haveaffald og med lavere beluftningsmængde, se omtalen af femte forsøgsrunde.

6.2.4 Fjerde forsøgsrunde

formål

Det blev gennem 1.-3. forsøgsrunde erfaret, at temperaturen i tunnel og miler var højest om mandagen, hvor råkomposten havde ligget stille lørdag og søndag. Ved hjælp af færre strukture-ringer pr. uge blev det derfor forsøgt at hæve temperaturen og øge omsætningen.

varighed

Fjerde forsøgsrunde varede 3 uger incl. 2 ugers indkøring. Uge 35, 36 og 37.

forsøgsplan

Der blev kun kørt gennem milerne med kompostvendemaskinen hver anden dag. Milerne lå således stille hver anden dag. På den måde blev opholdstiden 14 dage mod 7 dage i tidligere forsøg.

Der blev som hidtil indlastet så meget affald som muligt.

Beluftningen blev indstillet som i 3. forsøgsrunde.

konklusion

Massebalancen for forkomposteringen i tunnelen viste, at der sker en større omsætning af affaldet, når opholdstiden forlænges til 14 dage ved kun at køre gennem milerne hver anden dag.

Derimod skete der ikke den forventede stigning i temperaturen. Det kan derfor ikke anbefales kun at køre gennem milerne hver anden dag i den fremtidige drift.

6.2.5 Femte forsøgsrunde

formål

Femte forsøgsrunde var en fortsættelse af tredje forsøgsrunde.

Formålet var ved hjælp af tilsætning af haveaffald at

- hæve temperaturen op over 55°C
- øge omsætningen
- bedre mileprofilen i tunnelen
- øge den indlastede mængde affald

I forhold til 3. forsøgsrunde blev beluftningen ændret, d.v.s skruet ned.

varighed

Femte forsøgsrunde varede 2 uger. Uge 39 og 40.

forsøgsplan

Forsøgsplan for femte forsøgsrunde fremgår af tabel 9.

Tilsætning af haveaffald	Beluftningsmængde, m^3/h				
	grube 1-4, 6-9 pr. grube		grube 5 og 10 pr. grube		ialt pr. mile
	frisk luft	rec. luft	frisk luft	rec. luft	
min. 5%	≈ 0	≈175	95	275	1070

Tabel 9
Forsøgsplan for femte forsøg. Beluftningsmængden pr. grube er angivet i m^3/h og skønnet ud fra tidligere målinger, d.v.s. en maximal total ydelse på ca. 400 m^3/h pr. ventilator.
Rec. luft = recirkuleret luft.

konklusion

Under femte forsøgsrunde blev der målt på de konkrete beluftningsmængder, og det blev således konstateret, at disse var uacceptabelt lave. Derfor blev 5. forsøgsrunde afsluttet uden resultater. Tunnelens beluftningsgruber blev renset og i stedet for 5. forsøgsrunde blev 6. forsøgsrunde gennemført.

6.2.6 Sjette forsøgsrunde

formål m.m.

Formål og forsøgsplan for sjette forsøgsrunde er identisk med femte forsøgsrunde.

varighed

Sjette forsøg varede 3 uger. Uge 45, 46 og 47, hvoraf uge 45 var indkøring, idet tunnelen havde været tømt fuldstændigt.

konklusion

Temperaturen blev ikke hævet i sjette forsøgsrunde i forhold til tidligere forsøgsrunder. Dette skyldes formentlig, at beluftningen trods oprensningen af ristene i gruberne, stadig var meget lav, ca. 60 m^3/h pr. grube.

Det skønnes, at omsætningen har været på linie med eller lidt lavere end ved tidligere forsøgsrunder.

Mileprofilen blev bedret i 6. forsøgsrunde.

Den indlastede mængde affald pr. dag var tilfredsstillende høj (ca. 7½ t + ½ t haveaffald) pr. mile.

6.3 Resultater

6.3.1 Behandlede mængder, mileprofil og milehøjde

De grønne Huse er dimensioneret til at behandle ca. 90 t affald pr. uge, d.v.s. ca. 18 t pr. dag. Dette svarer til ca. 93% af den forventede mængde indsamlet kildesorteret organisk husholdningsaffald.

De faktiske behandlede mængder i forsøgsperioden uge 13-47, fremgår af tabel 10.

uge	t behandlet	uge	t behandlet
13	39	35	41
14	58	36	38
16	30	37	33
17	36	gns. pr. uge forsøgsrunde 4	37
18	37		
19	42	38	44
20	37	39	46
21	40	40	70
gns. pr. uge forsøgsrunde 1	40	gns. pr. uge forsøgsrunde 5	53
24	46		
25	62	45	74
26	56	46	51
28	47	47	69
gns. pr. uge forsøgsrunde 2	53	gns. pr. uge forsøgsrunde 6	65
29	30	gns. pr. uge uge 13-47	46
31	24		
32	52		
33	51		
gns. pr. uge forsøgsrunde 3	39	ialt i forsøgs-perioden	1153

Tabel 10
Behandlede mængder kildesorteret organisk husholdningsaffald i De grønne Huse i forsøgsperioden 1990. Angivet i ton.

46 t pr. uge

Som det ses i tabel 10, er der behandlet i gennemsnit ca. 46 t affald pr. uge i De grønne Huse i forsøgsperioden. Det ses ligeledes, at den gennemsnitlige behandlede mængde er størst i de sidste forsøgsrunder.

større mængde

I tredje forsøgsrunde blev der fundet frem til en forbedret indlastningsmetode, således at der kunne behandles ca. 8 t affald (incl. haveaffald) pr. mile pr. dag. Dette er den hidtil største behandlede mængde. Tilsætningen af haveaffald har ikke nogen begrænsende virkning på den behandlede mængde. Metoden er uafhængig af tilsætningen af haveaffald. Den øgede mængde skyldes dels, at ifyldervognen er blevet forbedret med hensyn til tilkobling, således at

mileprofil

den kan tilkobles tidligere, d.v.s., at stakken i tunnelen kan blive højere, dels at staksætterens sider er rettet op til den oprindelige vinkel, d.v.s., at kapaciteten er øget. Endvidere er det "gardin", der blev opsat af hensyn til indlastning og sønderdeling af specielt store papirsække, blevet fjernet, således at affaldet lettere falder hen til tromlen. Herved øges tromlens kapacitet.

80 t pr. uge

Ved denne metode kan der behandles ca. 80 t affald pr. uge i De grønne huse.

Denne mængde kan imidlertid kun behandles, når anlægget kører uden drifts- eller bemandingsmæssige problemer, således at der indlastes affald i begge miler hver dag.

nedsat drift

Dette har ikke været tilfældet i De grønne huse. I gennemsnit er der indlastet affald 8 gange pr. uge i forsøgsperioden. Potentialet er 2 gange pr. dag, altså 10 gange pr. uge. De behandlede mængder kunne altså øges med ca. 20%, hvis anlægget kørte kontinuerligt. Problemerne har primært været af bemandingsmæssig karakter (oplæring, sygdom, ferie, manglende koordinering m.m.), men ind imellem også manglende affaldsmængder.

milehøjde

Milehøjden blev målt 4 steder i hver mile, i forbindelse med temperatur-målinger, jvf. figur 31, afsnit 6.3.5.

Milehøjden måles dels for at vide, i hvilken højde den øverste temperatur er målt, dels for at få et indtryk af volumenreduktionen ned gennem tunnelen.

Højden blev målt hver morgen umiddelbart før strukturering af milerne. Denne højde er altså

den mindste højde milerne har. Milerne var højest lige efter strukturering og faldt herefter indtil næste strukturering.

Den gennemsnitlige milehøjde for de forskellige forsøg fremgår af tabel 11.

Forsøg	1	2	3	4	6	gns.
Mile 1						
A	116	119	111	128	110	117
B	112	117	109	119	110	113
C	97	105	105	100	100	101
D	100	97	99	106	100	101
Mile 2						
H	116	118	113	124	110	116
G	115	115	107	117	105	112
F	103	111	97	102	100	103
E	100	99	97	108	100	101

Tabel 11
Milehøjde i cm, forsøg 1 - 6, 1990. Målepunkterne A-H fremgår af figur 32, afsnit 6.3.5.

Som det ses af tabel 11, er der ikke stor forskel på milehøjden i ind- og udlastningsenden af tunnelen, når milerne har ligget et døgn.

Lige efter vending er højden af milerne i indlastningsenden 1,50-1,80 m og i udlastningsenden 1,00-1,50 m.

6.3.2 Massebalance

formål

Formålet med at bestemme massebalance for komposteringsprocessen er at se, om processen har levet op til forventningerne med hensyn til tørstofændring og omsætning af organisk stof.

forventning

Det var forventet, at 100 kg affald gennem hele komposteringsprocessen ville blive til ca. 20 kg kompost (ca. 50% tørstof) og ca. 20 kg sigterest.

læsevejledning

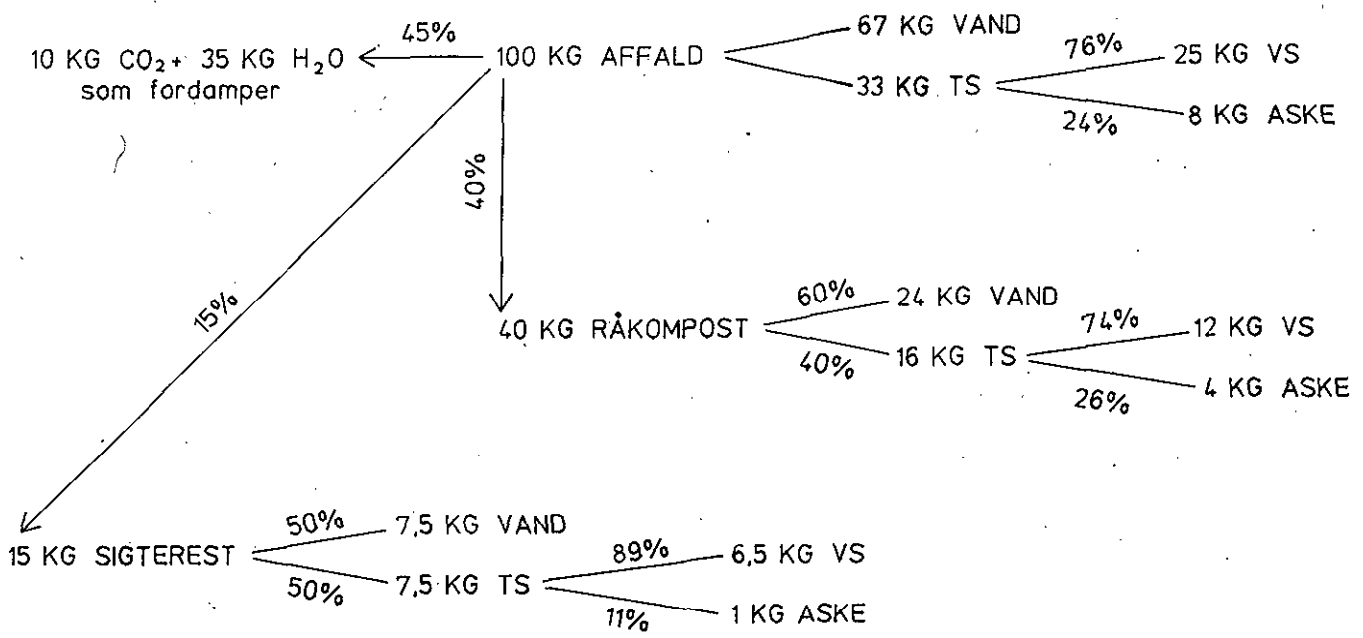
Dette afsnit (6.3.2) gennemgår massebalancen for forkomposteringsprocessen og for hele kom posteringsprocessen.

Afsnit 6.3.3 gennemgår den opnåede tørstofændring i de forskellige forsøgsrunder.

Afsnit 6.3.4 gennemgår omsætningen af organisk stof under forkomposteringsprocessen.

forkompostering

Den gennemsnitlige massebalance for forkompostering i De grønne Huse fremgår af figur 27.

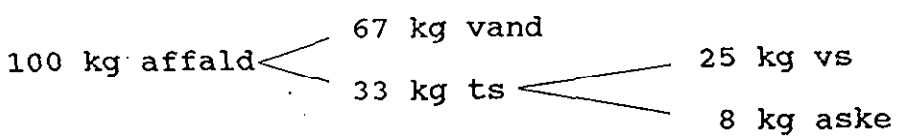


Figur 27
Gennemsnitlig massebalance for forkomposteringen i De grønne Huse. Ts = tørstof. Vs = organisk stof.

Figuren skal læses således:

affald

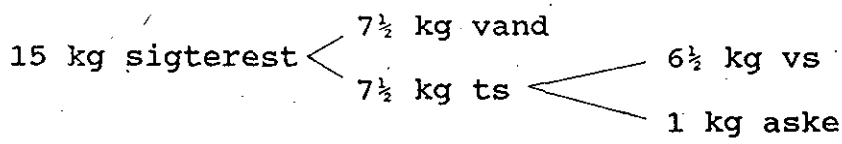
Affaldet havde følgende sammensætning



100 kg affald bestod af 66% vand og 34% tørstof. 100 kg affald blev i løbet af forkomposteringen omdannet til 15 kg sigterest + 45 kg H_2O og CO_2 + 40 kg råkompost.

sigterest

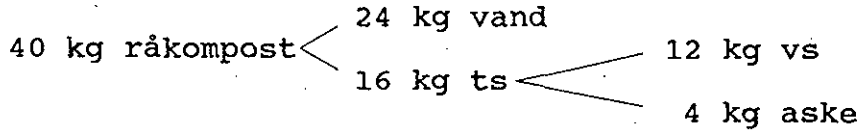
Sigteresten havde følgende sammensætning:



Sigteresten bestod af 50% vand og 50% tørstof. Procenterne er omregnet til faktiske mængder. Tørstoffet i sigteresten bestod af 89% organisk stof og 11% aske. Procenterne er omregnet til faktiske mængder.

råkompost

Råkomposten havde følgende sammensætning:



Råkomposten bestod gennemsnitlig af 60% vand og 40% tørstof. Procenterne er omregnet til faktiske mængder. Tørstoffet i råkomposten bestod gennemsnitlig af 74% organisk stof og 26% aske. Procenterne er omregnet til faktiske mængder.

usikkerhed

Alle tal i figuren er baseret på de analyser, der er lavet af de enkelte fraktioner. Alle analyserne er selvfølgelig behæftet med en vis usikkerhed, bl.a. på grund af den store heterogenitet, materialet har (se tabel 36, afsnit 8.1.2). Endvidere er tallene afrundet til nærmest halve kg. Massebalancen i figur 27 er den gennemsnitlige massebalance for alle forsøgene. Dette giver også en usikkerhed på tallene.

total massebalance

Massebalancen påvirkes af omsætningen i tunnelen og dermed af forsøgsparametrene. Således har massebalancen ikke set ens ud i de gennemførte forsøg. Endvidere har kildesorteringsgraden indflydelse på sigterestens andel af affaldet.

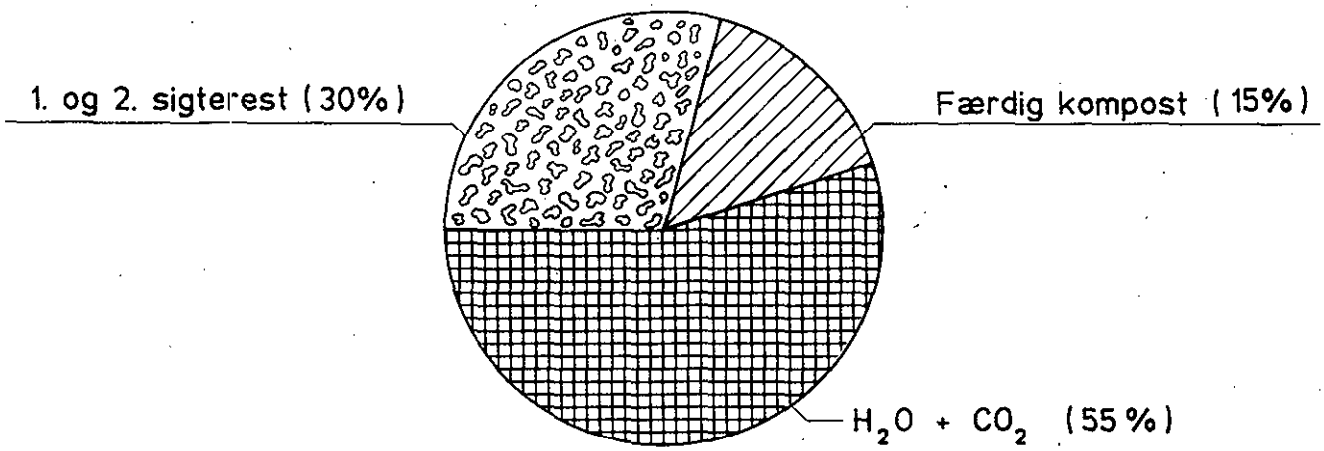
Den totale massebalance for de forskellige forsøg fremgår af tabel 12. Her er også medtaget omsætningen i eftermodningsmilerne.

Forsøgs-runde	H_2O + CO_2 og omsat tunnel	fordampet ialt	råkom-post	færdig kompost	sigterest		
					1.	2.	ialt
1	10	31	66	42	24	4	28
2	23	55	54	15	23	6	29
3	35	50	41	20	24	6	30
4	38	67	39	10	16	6	22
6	30	53	47	15	23	9	32
gns. 1-6	27	51	49	20	22	6	28
gns. 2-6	32	56	45	15	22	7	29

Tabel 12
Massebalancetal, procent af indlastet affaldsmængde i de forskellige forsøgsrunder.

Som det ses, adskiller første forsøgsrunde sig fra de øvrige ved en lavere omsætning. Kun ca. 30% af affaldsmængden er fordampet og omsat. Den færdige mængde kompost bliver som følge deraf temmelig stor. Den lavere omsætning kan skyldes indkøringsproblemer, og at den anvendte beluftningsmængde ikke har været optimal. Endvidere adskiller 4. forsøgsrunde sig ved en større omsætning både i tunnelen og totalt. Her fås en færdig kompostmængde på kun 10% af den indlastede mængde affald. Den samlede sigterest er også mindre. Dette kan skyldes, at en større del af det materiale, der plejer at havne i sigteresten, f.eks. papir og pap, her bliver omsat.

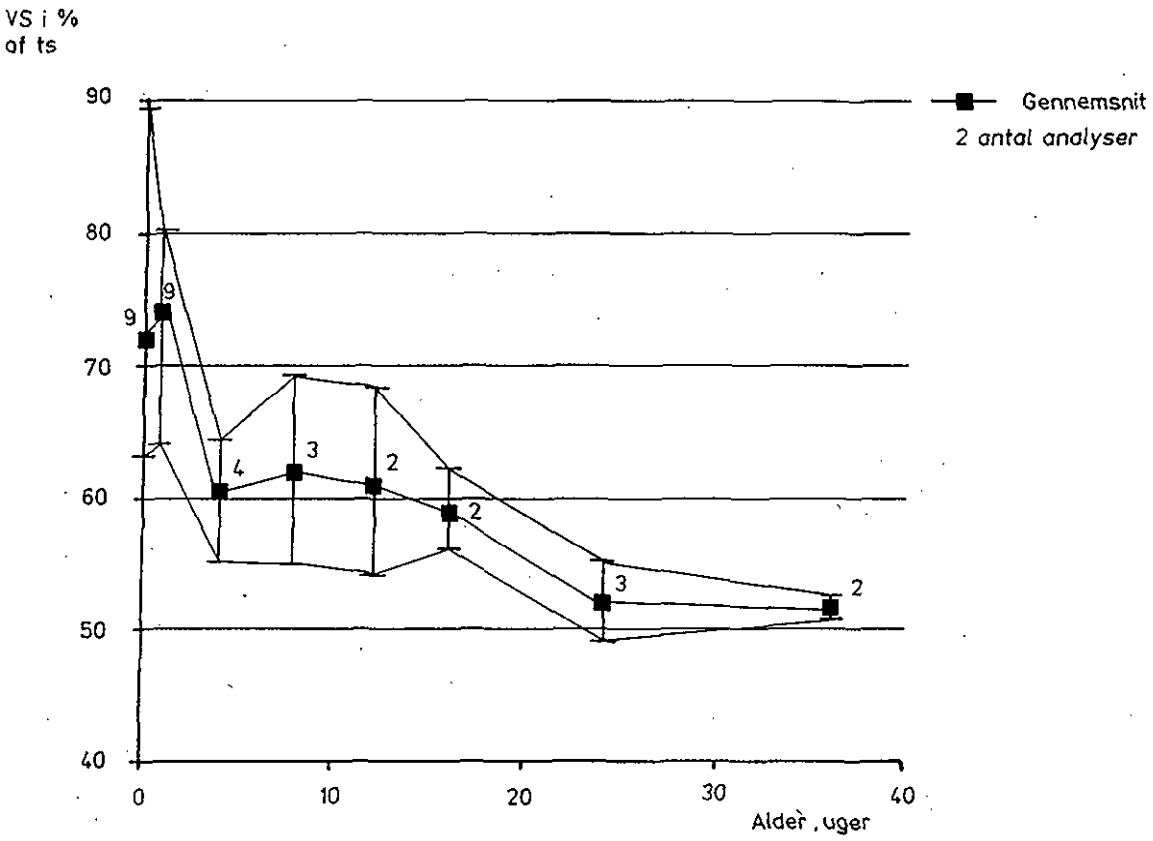
De øvrige resultater viser stor stabilitet i omsætning og produktion af færdig kompost. Resultatet ligger tæt op ad målet for omsætningen i De grønne Huse. Der fremkommer lidt større sigterest end forventet, men mængden af færdig kompost er ca. 20% af affaldsmængden, hvilket er yderst tilfredsstillende. Figur 28 viser den totale massebalance for hele perioden 1.4. - 1.12.1990 i runde tal.



Figur 28
Massebalancen for komposteringsforløbet i runde tal, 1.4 - 1.12.1990. Affald = 100%

modenhed

Med hensyn til den totale nødvendige behandlingstid, afhænger denne af de krav, der stilles til kompostens modenhed. I senere afsnit beskrives resultaterne af de gennemførte modenhedsforsøg med karsefrø. Endvidere diskuteres kompostens stabilitet med hensyn til tungmetaller. I figur 28a ses det totale indhold af organisk stof i procent af tørstof, som funktion af kompostens alder. Her ses for det første, at indholdet af organisk stof er faldende med kompostens alder, og at indholdet er stabilt ved ca. 52% organisk stof i tørstof. Dette indhold ses efter 16. uge. For det andet ses, at usikkerheden på resultaterne bliver mindre med kompostalderen, og at produktet er forholdsvis stabilt efter 12. uge. Det skal dog bemærkes, at der kun er lavet 2-4 analyser ved hver kompostalder.



Figur 28a
Indholdet af organisk stof (i procent af tørstof) i kompost som funktion af kompostens alder. O uger svarer til indholdet i affald inden forkompostering i tunnelen. 1. uge svarer til indholdet i råkomposten efter 1 uges forkompostering.

6.3.3 Tørstofændring

Der blev jævnligt i forsøgsperioden udtaget prøver af affald og råkompost, således at tørstofændringen og omsætningsgraden gennem forkomposteringsprocessen kunne bestemmes.

6.3.3.1 Prøveudtagning. Hver uge i forsøgsperioden blev der udtaget prøver til bestemmelse af tørstofprocent i affald og råkompost. Disse analyser blev udført internt på AFAV. Alle analyser er udført som dobbeltbestemmelser for begge miler. Tallene i tabel 13 er et gennemsnit af de to miler.

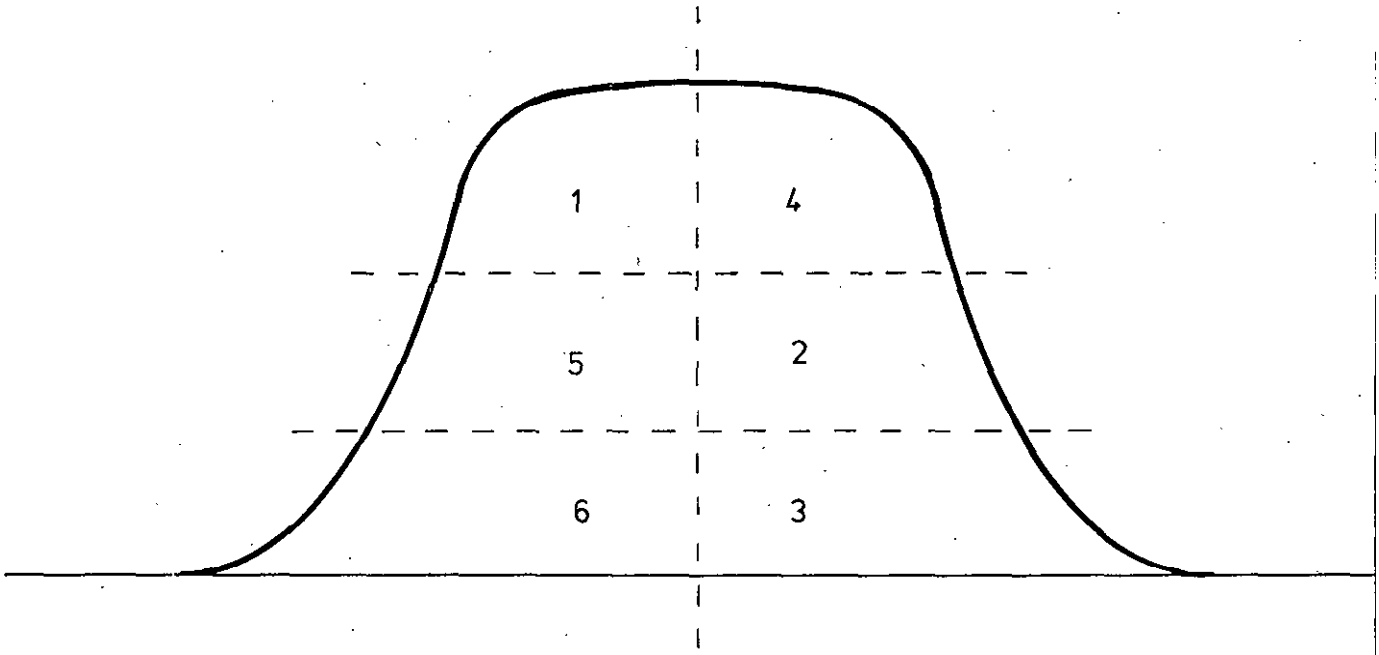
Fra april til oktober blev endvidere udtaget 9 prøver til bestemmelse af indhold af tørstof, organisk stof i affald og sigtet råkompost. Endvidere blev der udtaget prøver af sigteresten. Disse analyser blev udført af Miljø- og Levnedsmiddelkontrollen i Frederikssund.

Prøveudtagningen var ens hver uge og fremgår af nedenstående.

affald

Der blev udtaget 2 spandefulde affald á ca. 10 liter fra hver mile lige efter indlastning.

Hver spand bestod af 3 skovlfulde affald. De ialt 6 skovlfulde fra hver mile blev altid udtaget således:



Figur 29
Prøveudtagning af affald.

Hver spandfuld blev vejet og vægten noteret. Herfra blev vægtfylden beregnet.

Affaldet blev homogeniseret i 5 minutter på en grovhakker. Efter homogeniseringen blev der udtaget prøver direkte fra grovhakkeren til både tørstofbestemmelse og næringsstofbestemmelse.

råkompost

Prøverne af råkomposten blev udtaget på eftermodningspladsen. Der blev udtaget prøver på samme måde som af affaldet.

1. sigterest

Der blev udtaget en prøve fra hver miles sigterest. Hver prøve bestod af 6 delprøver, der blev udtaget med hånden efter samme procedure som udtagningen af affald og råkompost. Vægten af hver prøve blev noteret. De 2 prøver blev blandet grundigt og herfra blev udtaget en prøve til tørstofbestemmelse.

6.3.3.2 Resultater. Resultaterne af tørstofbestemmelserne fremgår af tabel 13. Som det ses, var tørstofprocenten i affaldet ca. 33 og i den sigtede råkompost ca. 40.

forsøgs-runde	forsøg nr.	uge	Tørstofprocent affald	råkompost
1	1	12	-	34
		13	31	43*
	2	14	34	-
	3	15	-	-
		20	33	35
	4	16	-	-
		21	31	-
	5	17	-	36
	6	18	37☺	34☺
		19	31	38
	gns. 12-21		32	37
2	1	24	30	37
	2	25	27	34
	3	26	32	43
	4	28	32	41
	gns. 24-28		30	39
3	1	29	35	-
	2	31	-	-
	3	32	33	43
	4	33	38	-
	gns. 29-33		35	43
4	1	35	33	36
	2	36	33	-
	3	37	30	-
	gns. 35-37		32	36
6	1	45	38	44
	2	46	30	-
	3	47	-	-
	gns. 45-47		34	44
	gns. 12-47		33	40

Tabel 13
Tørstofprocent i affald og sigtet råkompost. Analyserne er udført på AFAV, 1990. *: tørstofindholdet i mile 2 var meget højt. ☺: ikke medtaget i gennemsnit pga. uregelmæssighed i denne uge.

Udover de tørstofbestemmelser, der blev udført internt på AFAV, blev der udtaget 9 prøver af affald og 9 prøver af sigtet råkompost, som blev analyseret af Levnedsmiddelkontrollen i Frederikssund.

Resultatet af disse analyser fremgår af tabel 14. Alle bestemmelser er udført som dobbeltbestemmelser.

prøve nr.	prøve af	udtaget uge nr.	tørstof-procent, ts i %	organisk stof i % af ts	pH
A1	affald	uge 14	34	68	5,3
A2	affald	uge 19	33	67	4,8
A3	affald	uge 24	30	63	4,3
A4	affald	uge 24	32	63	4,5
A5	affald	uge 25	27	75	4,3
A6	affald	uge 28	30	69	5,5
A7	affald	uge 33	23	89	5,2
A8	affald	uge 37	29	79	5,3
A9	affald	uge 39	31	75	5,2
gns.	affald	gns.	30	72	4,9
std. i % af gns.	-	-	11	12	10
S1	råkompost	uge 14	38	74	4,6
S2	råkompost	uge 19	35	74	4,3
S3	råkompost	uge 24	38	79	5,5
S4	råkompost	uge 24	37	78	5,8
S5	råkompost	uge 25	39	72	6,5
S6	råkompost	uge 28	50	75	6,1
S7	råkompost	uge 33	37	72	5,7
S8	råkompost	uge 37	40	80	6,0
S9	råkompost	uge 41	32	64	6,5
gns.	råkompost	gns.	38	74	5,7
std. i % af gns.	-	-	13	7	14
1	sigterest	uge 46	43	85	-
2	sigterest	uge 46	51	89	-
gns.	sigterest	uge 46	46	86	-
std. i % af gns.	-	-	19	8	-

Tabel 14
Tørstofindhold m.m. i affald, sigtet råkompost og sigterest fra De grønne Huse, 1990. Ts = tørstof. Resultater fra MLK, Frederikssund.

Som det ses, har Levnedsmiddelkontrollen fundet lidt lavere værdier for tørstofindholdet i både affald og råkompost. Forskellen, altså den ændring, der er sket under forkomposteringen, er

dog i samme størrelsesorden, nemlig en ændring på ca. 10% (fra ca. 30 til ca. 40%).

Det var formålet med forkomposteringen, at der skulle ske en tørring til ca. 40%, således at råkomposten kunne sigtes. En tørstofprocent på 35-45 er ideel for den videre kompostering. Omsætningen forløber meget langsomt, hvis vandindholdet blivere lavere end 30-40%. Det var derfor ikke tilsigtet, at tørstofprocenten skulle overstige 50%. Den tørring, der opnås i tunnelen skal gøre, at råkomposten kan sigtes samtidig med, at den skal kunne eftermodne i de udendørs miler.

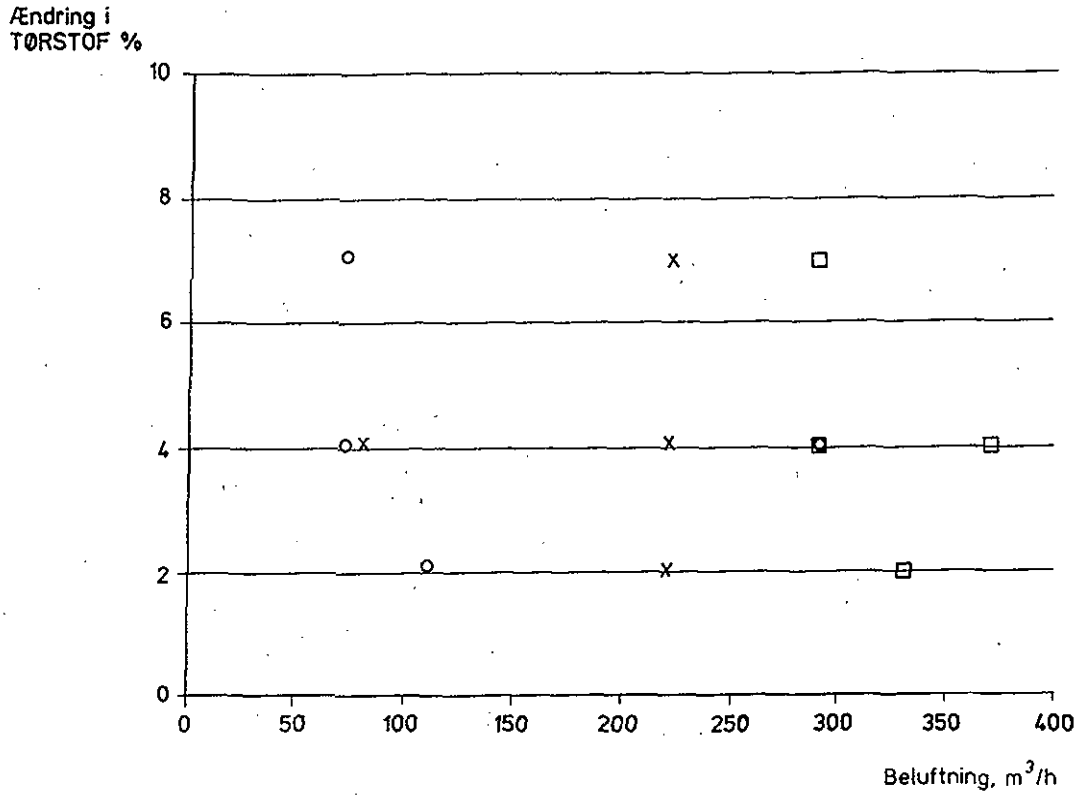
	tørstofprocent
min.	35
max.	50
ideel	40

Tabel 15
Tilstræbt tørstofprocent efter forkompostering 1 uge i tunnel.

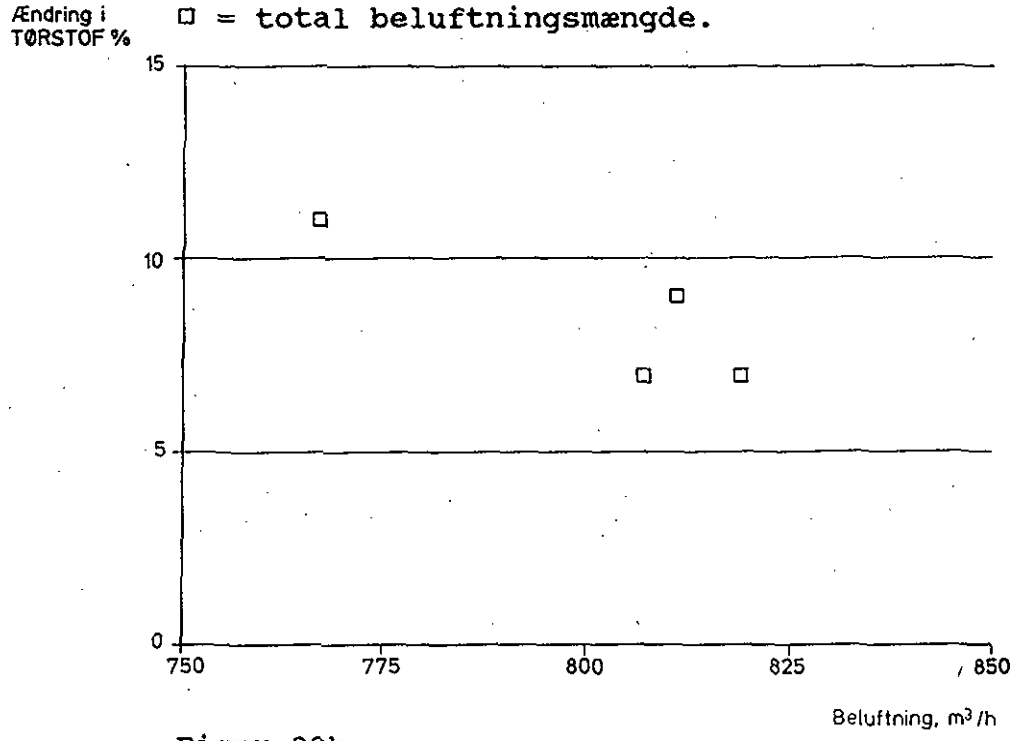
Den opnåede tørstofændring i De grønne Huse er ud fra dette ønske tilfredsstillende. Råkomposten har også gennem hele forsøgsperioden været nem at håndtere og første sigtning har adskilt den organiske fraktion fra den uorganiske (plast, metal m.m.) på fuldt ud tilfredsstillende måde.

Figur 29a og b viser ændringen i tørstofprocent i forsøgsrunde 1 og 2 som funktion af den variererede beluftning.

Som det ses i figur 29a, opnås den største tørring, når der i milernes sidste grube blev beluftet med ca. 300 m^3/h, hvoraf ca. 75% var frisk luft og ca. 25% var recirkuleret luft. Beluftningen i den øvrige del af tunnelen var under hele forsøget indstillet på ca. 180 m^3/h pr. grube.



Figur 29a
Ændring i tørstofprocent gennem tunnelen som funktion af beluftningsmængde (m^3/h), første forsøgsrunde.
X = frisk luft
O = recirkuleret luft
□ = total beluftningsmængde.



Figur 29b
Ændring i tørstofprocent gennem tunnelen som funktion af den totale beluftningsmængde (m^3/h) i hele tunnelen, alle 5 gruber, anden forsøgsrunde.

Som det ses af figur 29b fås den største ændring i tørstofprocenten gennem tunnelen ved en total beluftningsmængde i hver mile på 770 m^3/h. Forskellen mellem største og mindste ændring i tørstofprocenten er dog ikke stor i de gennemførte forsøg. De 770 m^3/h var fordelt med 2/3 i de fire første gruber og 1/3 i den sidste grube. Forholdet mellem frisk og recirkuleret luft var hhv. ca. 60 og 40%. For yderligere specifikation af luftmængderne, se tabel 6, afsnit 6.2.2.

I de resterende forsøgsrunder er der ikke udført tørstofmålinger nok til at sige noget sikkert om behandlingernes virkning. Resultatet af de gennemførte målinger fremgår af tabel 13.

6.3.4 Omsætningen af organisk stof

Omsætningen af organisk stof under forkomposteringen kan beregnes udfra gennemsnitsværdier for tørstofindhold og indhold af organisk stof samt massebalance-tallene for de forskellige forsøgsrunder.

Massebalancetallene fremgår af tabel 12, afsnit 6.3.2.

Gennemsnitsværdier for indholdet af tørstof (ts) og organisk stof (vs) fremgår af tabel 16.

gennemsnit	tørstof %	organisk stof i % af ts
affald	30	72
råkompost	38	74
færdig kompost	58	58

Tabel 16
Gennemsnitsværdier for indholdet af tørstof og organisk stof i affald, råkompost og færdig kompost, uge 13-47, 1990, Ts = tørstof.

Omsætningen af organisk stof beregnes herefter på følgende måde (eksempel):

100 kg affald = 30 kg ts incl. 21,6 kg vs
66 kg råkompost = 25 kg ts incl. 18,6 kg vs.

Omsætningen = 21,6-18,6 kg vs = 3 kg vs, svarende til 14%.

Omsætningen for de forskellige forsøgsrunder fremgår af tabel 17.

forsøgsrunde	omsætning
1, beluftning	14 %
2, beluftning	31 %
3, haveaffald	48 %
4, opholdstid	50 %
6, haveaffald	40 %

Tabel 17
Omsætningen af organisk stof i % af oprindelig mængde organisk stof under forkomposteringen, forsøgsrunde 1-6, uge 13-47, 1990.

Som det ses af tabel 17, har omsætningen under forkomposteringen været størst i 4. forsøgsrunde, hvor opholdstiden var 14 dage (mod ellers 7 dage). Dette er ikke overraskende, da betingelserne for omsætning er optimale i tunnelen. Jo længere opholdstid, des større omsætning. Endvidere har omsætningen været høj i 3. og 6. forsøgsrunde, hvor der er tilsat haveaffald.

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). Ved en total formuldning (omdannelse til jord) forventes en fuldstændig omsætning, men en sådan proces vil vare flere år. En omsætning på op til 50% af det organiske materiale allerede under forkomposteringen er yderst tilfredsstillende.

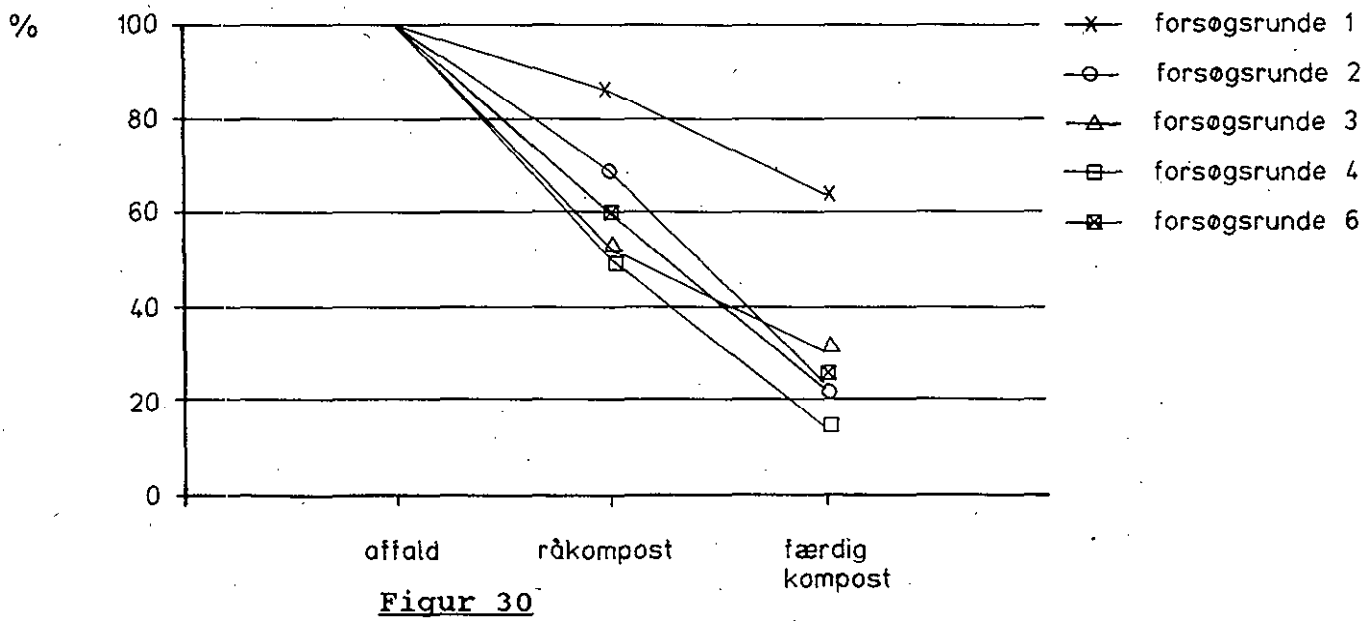
Den totale omsætning under hele komposteringen (forkompostering og eftermodning) fremgår af tabel 18.

forsøgsrunde	omsætning		
	i tunnelen	på eftermodningsplads	ialt
1	14%	22%	36%
2	31%	46%	77%
3	48%	21%	69%
4	50%	35%	85%
6	40%	37%	77%

Tabel 18
Omsætningen af organisk stof i % af oprindelig mængde organisk stof. Eftermodning i optil 36 uger. Forsøgsrunde 1-6, uge 13-47, 1990.

Omsætningen af organisk stof var både under forkomposteringen og gennem hele komposteringsprocessen størst i 4. forsøgsrunde, hvor helt op til ca. 85% af det organiske stof blev omsat.

Mængden af organisk stof efter omsætning hhv. i tunnel og på eftermodningsplads ses i figur 30.



Figur 30
Mængde organisk stof i % af tørstof efter omsætning.

Af figur 30 ses, at kun 15-30% af den oprindelige mængde organisk stof er tilbage efter for kompostering og op til 36 ugers udendørs efter modning. Det er et tilfredsstillende resultat.

Den største omsætning fås ved forlænget opholdstid i tunnelen på 14 dage. Fordelen ved større omsætning modsvares dog af reduceret kapacitet i tunnelen. Omsætningen øges med 10-15%, mens kapaciteten nedsættes til det halve. Det kan således ikke på baggrund af omsætningen anbefales at forlænge opholdstiden til 14 dage.

Ved tilsætning af haveaffald øges omsætningen i tunnelen med 10-20%. Den totale omsætning øges ikke. Der er ikke lavet undersøgelser, der kan vise, om eftermodningstiden kan afkortes ved tilsætning af haveaffald, men antagelsen er nærliggende, når omsætningen i tunnelen bliver øget.

6.3.5 Temperatur

Der var to overordnede formål med at udføre temperaturmålinger:

1) sammenligning af de forskellige forsøg og forsøgsrunder og dermed optimering af temperaturen
2) sammenligning med hygiejniseringskrav i bekendtgørelse nr. 736 af 26.10.1989 (se bilag 1).

Endvidere havde målingerne et mere generelt formål, nemlig at bestemme og beskrive temperaturgradienter som følge af målespyddets placering i milen.

I afsnit 6.3.5.2 sammenholdes de målte temperaturer i de forskellige forsøgsrunder, jvf. formål 1 (ovenstående).

Afsnit 6.3.5.3 beskriver resultaterne af temperaturgradient-målingerne.

I afsnit 6.3.5.4 sammenholdes de målte temperaturer med hygiejniseringskravene i bekendtgørelsen, jvf. formål 2 (ovenstående).

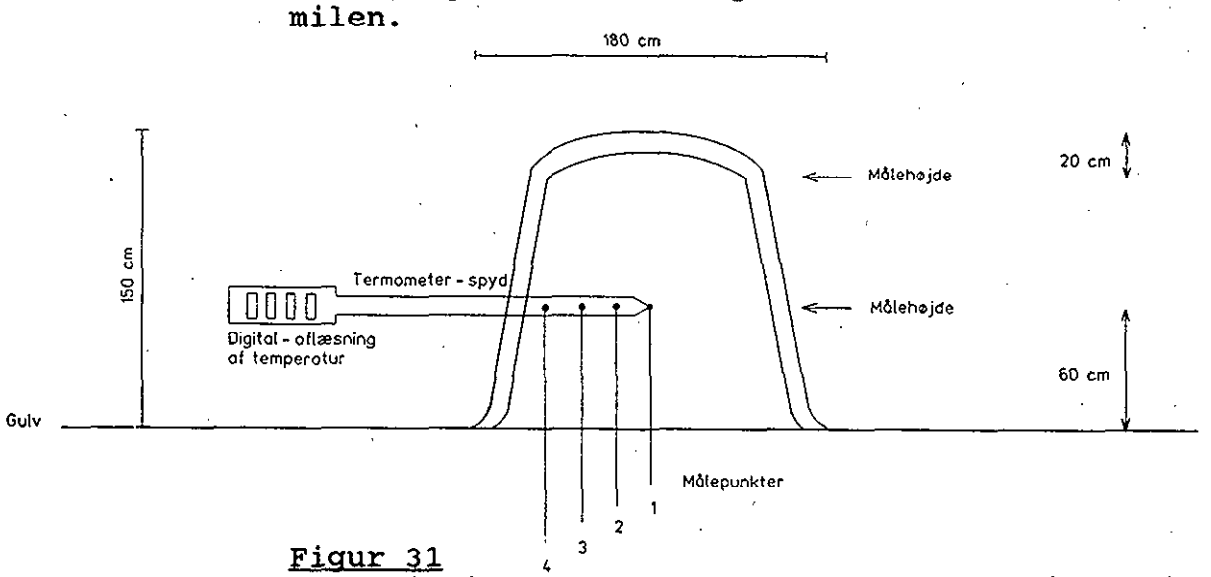
6.3.5.1 Målemetode. Temperaturen blev fulgt nøje gennem de 6 gennemførte forsøg.

Temperaturen blev målt dels i tunnelen (lufttemperatur) og dels i milerne (kompost-temperatur). I det følgende gennemgåes temperaturudviklingen i hvert forsøg og til sidst opsummeres samtlige målinger (afsnit 6.3.5.4).

miler

Temperaturen i milerne blev målt hver dag lige inden strukturering af milerne. Det vil sige, at milerne havde ligget i et døgn. Målingerne blev udført med specialfremstillede temperaturspyd gennem nødudgangsdørene og portene i begge ender af tunnelen.

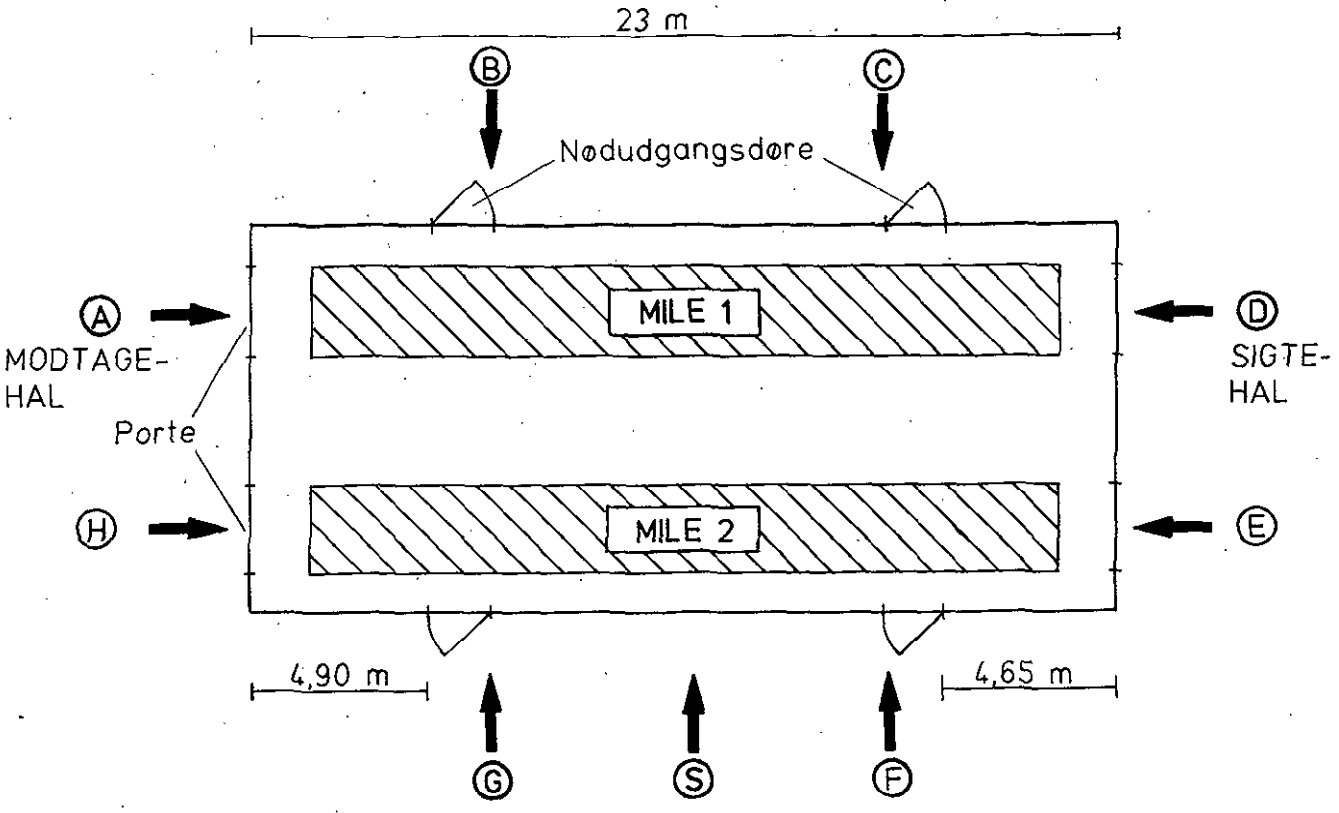
Temperaturspydenes udformning fremgår af figur 31. Som det ses, har hvert spyd 4 målepunkter, således at temperaturen måles i 4 dybder. Spyddet stikkes vandret ind i milen, således at yderste målepunkt er ca. 10 cm fra milens overflade, og inderste målepunkt er ca. i midten af milen.



Figur 31
Tværsnit i mile. Temperaturspyd (skematisk) til måling af miletemperaturen i de grønne Huse.

Endvidere måltes temperaturen i 2 højder. Ca. 0,6 m over gulvet og ca. 20 cm fra milens top (samtidig blev milens højde noteret).

Temperaturmålingerne blev foretaget 4 steder i hver mile. Målestederne fremgår af figur 32.



Figur 32
Plan af tunnel med målesteder (A-H) for daglige temperaturmålinger. S = det stationære termometers placering.

I alt blev der hver dag noteret 32 temperaturer specificeret for hver mile således, at det var muligt at klarlægge følgende parametres indflydelse:

- kompostens alder
- højde af milen
- dybde i milen

tunnel

Tunneltemperaturen, d.v.s. luftens temperatur i tunnelen, blev ligeledes målt hver dag. Målingerne blev udført ved hjælp af et stationært termometer, der var placeret midt i tunnelen, se figur 32. Termometeret havde 4 følere, således at temperaturen kunne aflæses i 4 højder, nemlig 0,6 m, 1,7 m, 2,8 m og 3,9 m over gulvet. Den øverste føler sidder ca. 10 cm fra loftet.

Temperaturen blev noteret hver morgen, inden portene blev åbnet ind til tunnelen.

1. forsøgsrunde

6.3.5.2 Resultater mht. forsøgsrunder. Hovedresultaterne af første forsøgsrunde fremgår af tabel 19 og 21.

gns.	middel	maximum
mile 1	43	63
mile 2	46	67
tunnel	40	56

Tabel 19
Gennemsnits- og maximumtemperaturer i °C for mile 1 og 2 samt tunnelen (lufttemperatur), første forsøgsrunde.

Som det ses i tabel 19 lå middeltemperaturen i milerne på 43-46°C og temperaturen i tunnelen på 40°C i første forsøgsrunde. Dette er 10-15°C lavere end forventet både i miler og tunnel. Den lavere temperatur kan skyldes lav omsætning, d.v.s. lav mikrobiel aktivitet, som bl.a. kan skyldes manglende ilt, overskud af CO_2, for lavt tørstofindhold m.m.

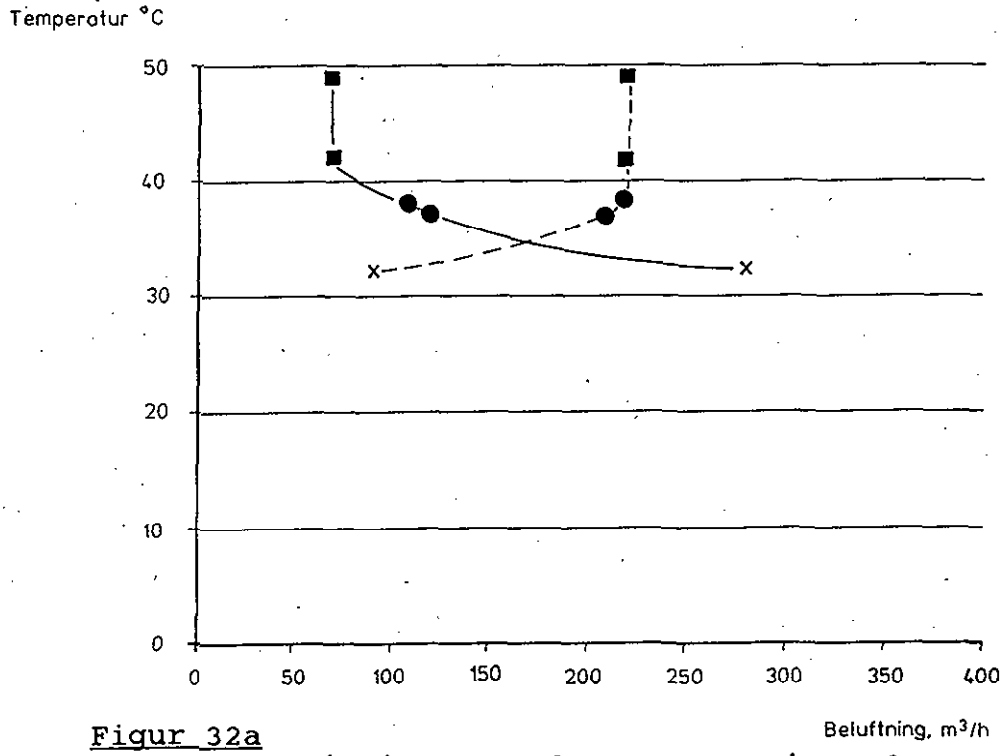
De maximale temperaturer, der blev målt i milerne, var omkring 65°C. Det viser, at temperaturen kan komme op på det ønskede niveau i tunnelen.

De mere detaljerede resultater af første forsøgsrunde fremgår af tabel 20.

I figur 32a er de gennemsnitlige tunneltemperaturer vist som funktion af den varierede beluftningsmængde (i m^3/h) i den sidstre del af tunnelen. I den første del (4/5) af tunnelen var beluftningen i forsøgsrunde 1 konstant på ca. 180 m^3/h, fordelt med 20% friskluft og 80% recirkuleret luft.

Forsøg nr.	Uge nr.	Beluftningsmængde i sidste del af milen		Tørstofprocent		Temperatur °C				
		frisk luft	recir. luft	affald	råkompost	tunnel	mile 1 gns.	mile 1 max.	mile 2 gns.	mile 2 max.
1	12	80	290	-	34		36	45	40	55
	13	80	290	31	43*		-	-	-	-
2	14	90	280	34	-	32	36	65	47	70
3	15	220	110	-	-	37	-	-	-	-
	20	220	110	33	35	39	41	58	44	59
4	16	210	120	-	-	36	44	65	42	68
	21	210	120	31	-	38	42	69	44	68
5	17	220	70	-	36	49	45	61	47	70
6	18	220	70	37	34	43	45	64	47	68
	19	220	70	31	38	40	41	59	49	69

Tabel 20
Forsøgsresultater fra 1. forsøgsrunde. * mile 2 var meget tør denne uge, mile 1 = 35% tørstof (råkompost).



Figur 32a
Den gennemsnitlige tunneltemperatur i 1. forsøgsrunde som funktion af beluftningsmængden i m^3/h. ——: recirkuleret luft. ----: frisk luft.
X = forsøg 2
• = forsøg 3 og 4
■ = forsøg 5 og 6

Af figur 32a ses, at jo mere frisk luft, der blev givet i den sidste del af tunnelen, jo højere blev temperaturen. De højeste temperaturer i tunnelen blev opnået i 5. og 6. forsøg, hvor der jævnfør forsøgsplanen (se tabel 5) blev beluftet med ca. 300 m^3/n i den sidste grube i milerne. Heraf var ca. 25% recirkuleret luft og ca. 75% frisk luft.

alder	mile 1	mile 2
1 døgn	39	46
2 døgn	40	45
4 døgn	47	47
5 døgn	47	46

Tabel 21
Temperaturen (i °C) i de to miler som funktion af kompostalder. Første forsøgsrunde.

Af tabel 21 ses, at temperaturen i mile 1 steg ned gennem tunnelen. Stigningen var 5-10°C. Det ses ligeledes, at temperaturen i begyndelsen af milerne var ca. 7°C højere i mile 2 end i mile 1. Forskellen på de to miler er større end standardafvigelsen (på ca. 20% af gennemsnittet). Denne forskel kan skyldes, at mile 2 blev beluftet mere effektivt i starten end mile 1 p.g.a tilstopning under mile 1. Forskellen blev udlignet ned gennem tunnelen. Det betyder altså ikke noget for temperaturen i slutningen af milen, at temperaturen har været lavere i starten.

2. forsøgsrunde

Hovedresultaterne af anden forsøgsrunde fremgår af tabel 22 og 24.

gns.	middel	maximum
mile 1	45	64
mile 2	50	70
tunnel	47	59

Tabel 22
Gennemsnits- og maximumtemperaturer i °C for mile 1 og 2 samt tunnelen (lufttemperatur). Anden forsøgsrunde.

Som det ses i tabel 22 lå middeltemperaturen i milerne i anden forsøgsrunde på 45-50°C og temperaturen i tunnelen på ca. 47°C. Dette er 5°C højere end temperaturen i første forsøgsrunde, men dog stadig 10°C lavere end forventet ved forsøgenes start. De målte maximum-temperaturer er ikke steget væsentligt, selv om gennemsnitstemperaturen er steget. Dette tyder på at maximum-temperaturen for processen på dette tidspunkt er 65-70°C.

De mere detaljerede resultater af anden forsøgsrunde fremgår af tabel 23.

Forsøg nr.	Uge nr.	Beluftning, m^3/h pr. grube				Tørstofprocent		Temperatur °C				
		rec. luft 1-4,6-9	5,10	frisk luft 1-4,6-9	5,10	affald	råkompost	tunnel	mile 1 gns.	mile 1 max.	mile 2 gns.	mile 2 max.
1	24	108	61	30	108	30	37	41	45	52	50	61
2	25	105	62	35	105	27	34	55	49	63	52	65
3	26	68	61	60	68	32	43	44	46	55	45	57
4	28	73	62	65	73	32	41	48	44	53	46	53

Tabel 23
Forsøgsresultater fra 2. forsøgsrunde.

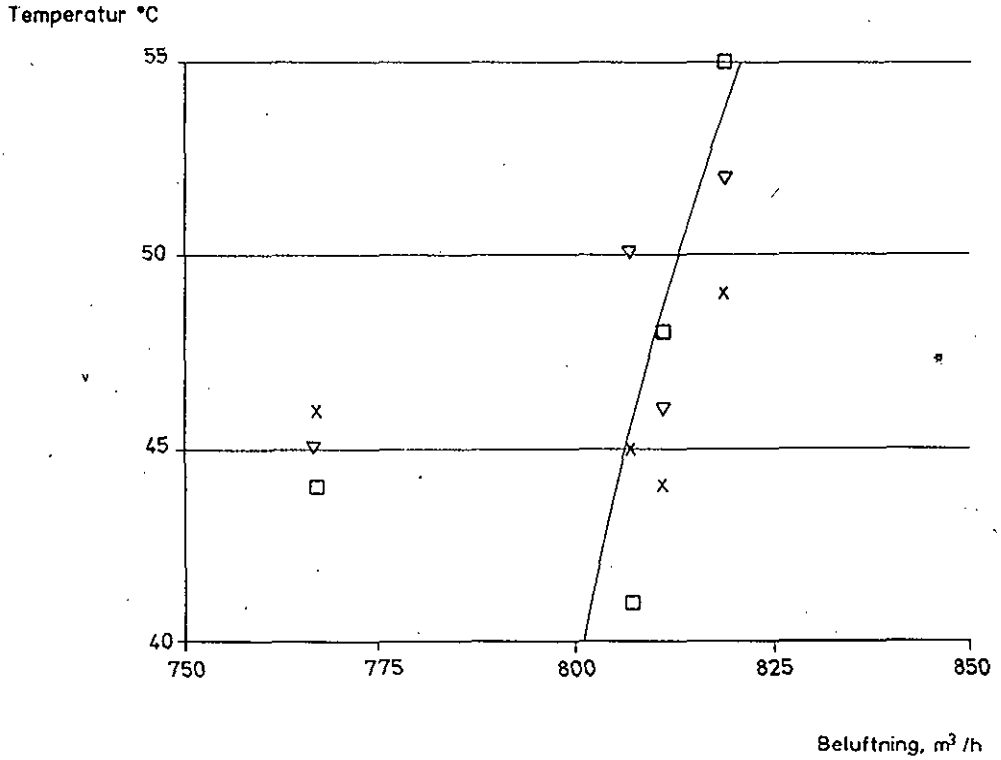
Der er sket en stigning i temperaturen i forhold til 1. forsøgsrunde. Temperaturen er steget ca. 15°C i starten af milen og 5-10°C i slutningen. Lufttemperaturen er steget fra gennemsnitlig ca. 40°C til ca. 47°C. Den opnåede stigning tilskrives dels den rensning af tunnelens beluftningskanaler, som blev foretaget, dels at beluftningen i 2. forsøgsrunde blev forøget i hele tunnelen, ikke bare i den sidste del.

alder	mile 1	mile 2
1 døgn	44	45
2 døgn	46	47
4 døgn	47	49
5 døgn	47	53

Tabel 24
Temperaturen (i °C) som funktion af kompostens alder i de 2 miler. Anden forsøgsrunde.

Af tabel 24 ses, at temperaturen steg ned gennem tunnelen. Stigningen var 3-8°C. Der er tendens til lidt mindre stigning end i første forsøgsrunde. Dette kan skyldes, at temperaturniveauet er lidt højere i anden forsøgsrunde. Ligeledes ses, at der ikke længere er problemer med at få temperaturen op i starten af mile 1. Stadig ses tendens til lidt højere temperatur i mile 2 end i mile 1.

Resultaterne fra tabel 23 er afbildet grafisk i figur 32b. Heraf fremgår,at jo større samlet luftmængde, der gives, jo højere bliver temperaturen. De højeste temperaturer er nået med en samlet beluftningsmængde på 820 m^3/h i hele tunnelen. Heraf var ca. 40% frisk luft og ca. 60% recirkuleret luft, jævnfør tabel 6 i afsnit 6.2.2.



Figur 32b
De gennemsnitlige temperaturer i 2. forsøgsrunde som funktion af den totale beluftnings mængde i m^3/h.
□ tunnel
x mile 1
▽ mile 2

3. forsøgsrunde

Hovedresultaterne af tredje forsøgsrunde (uge 31 og 33) fremgår af tabel 25 og 26.

gns.	middel	maximum
mile 1	43	66
mile 2	41	60
tunnel	44	52

Tabel 25
Gennemsnits- og maximumtemperaturer i °C for mile 1 og 2 samt tunnelen (lufttemperatur). Tredje forsøgsrunde.

Som det ses i tabel 25 lå middeltemperaturen i 3. forsøgsrunde i milerne på ca. 42°C, og temperaturen i tunnelen på ca. 44°C. Der ses altså et fald i temperaturen som følge af iblandingen af haveaffald. I følge driftspersonlets forklaring var råkomposten, der blev produceret i denne periode, usædvanlig tør. Tørstofprocenten i råkomposten blev bestemt til 43 i 3. forsøgsrunde, mod 37 og 39 i hhv. 1. og 2. forsøgsrunde.

alder	mile 1	mile 2
1 døgn	52	44
2 døgn	42	43
4 døgn	38	39
5 døgn	41	42

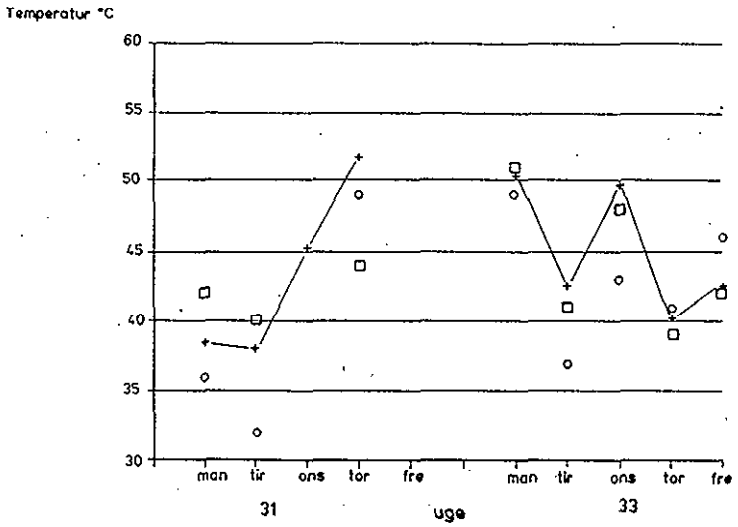
Tabel 26
Temperaturen (i °C) som funktion af kompostens alder i de 2 miler. Tredje forsøgsrunde.

De mere detaljerede resultater af tredje forsøgsrunde fremgår af tabel 27.

Forsøg nr.	Uge nr.	Tilsætning af haveaffald	Tørstofprocent		Temperatur °C		
			affald	råkompost	tunnel	mile 1	mile 2
1	29	5 %	35		46	50	45
2	30+31				43	42	39
3	32	10 %	33	43	41	41	42
4	33		38		45	44	43
*	24-27	0 %	27	34	52	49	52

Tabel 27
Forsøgsresultater fra 3. forsøgsrunde. * = de bedste resultater fra 2. forsøgsrunde.

I tredje forsøgsrunde er det temperaturen i uge 31 og 33, der er vigtig. Det var her, tunnelen var fyldt med affald plus hhv. 5 og 15% haveaffald. Uge 29 og 32 er at betragte som indkøringsuger mht. temperatur.



Figur 32c
De gennemsnitlige daglige temperaturer i tunnel og miler i uge 31 og 33, 1990.
+: tunnel
□: mile 1
o: mile 2

Figur 32c viser de målte temperaturer i uge 31 og 33. Heraf ses, at der ikke er markant forskel på temperaturen ved 5 og 15% tilsætning af haveaffald.

Endvidere ses af tabel 27, at temperaturen ikke i nogle af ugerne er så høj som i det bedste forsøg i 2. forsøgsrunde.

Tilsætningen af haveaffald har bevirket en øget og bedret gennemstrømning og fordeling af luft op gennem milerne. Det er således sandsynligt, at beluftningen skulle have været skruet ned som følge af den bedre luftgennemstrømning. Dette blev forsøgt i sjette forsøgsrunde.

4. forsøgsrunde

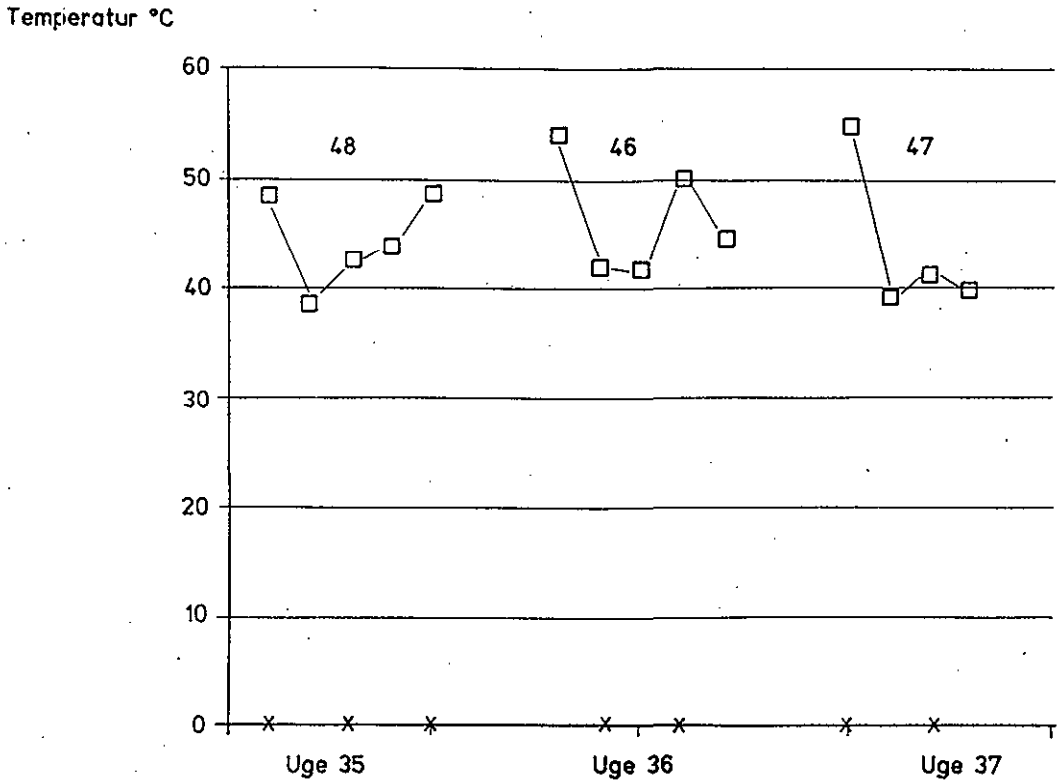
Hovedresultaterne af fjerde forsøgsrunde fremgår af tabel 28.

gns.	middel	maximum
mile 1	47	68
mile 2	47	69
tunnel	47	53

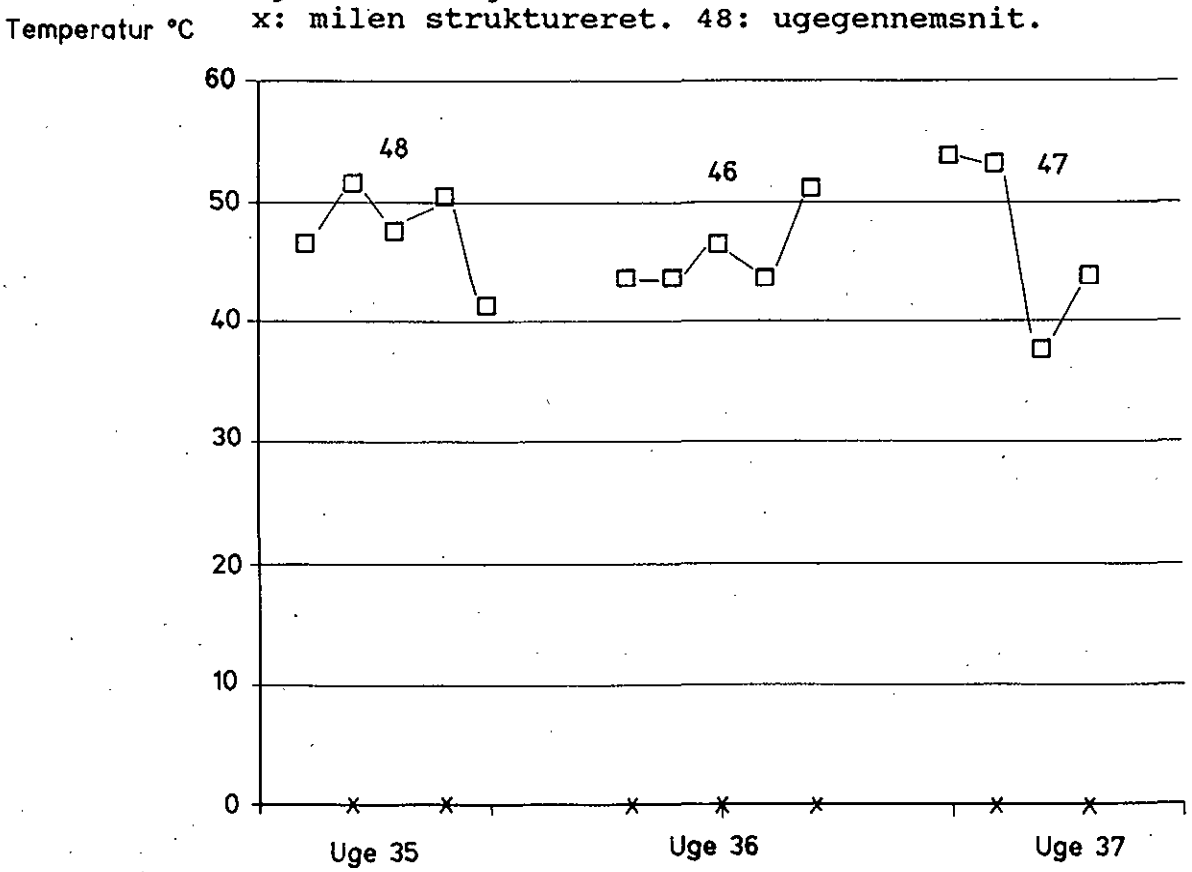
Tabel 28
Gennemsnits- og maximumtemperaturer i °C for mile 1 og 2 samt tunnelen (lufttemperatur). Fjerde forsøgsrunde.

De tidligere forsøgsrunder har vist, at der sker en temperaturstigning på 10-15°C ned gennem milen, altså i løbet af en uge. Den gennemsnitlige temperatur i de bedste forsøg har hidtil været 45-50°C, d.v.s. 35-40°C i begyndelsen af milen og 45-50°C i slutningen af milen.

I fjerde forsøgsrunde blev hver mile struktureret hver anden dag og lå stille hver anden dag. Teorien bag forsøget var, at temperaturen ville være højere i milen, når det var 2 dage siden, den var struktureret end, når det var 1 dag siden. Milerne skulle altså hver anden dag have en højere temperatur end de tidligere opnåede temperaturer. Gennemsnitstemperaturen ville således blive højere.



Figur 32d
Gennemsnitlige daglige temperaturer i mile 1.
Fjerde forsøgsrunde.
x: milen struktureret. 48: ugegennemsnit.

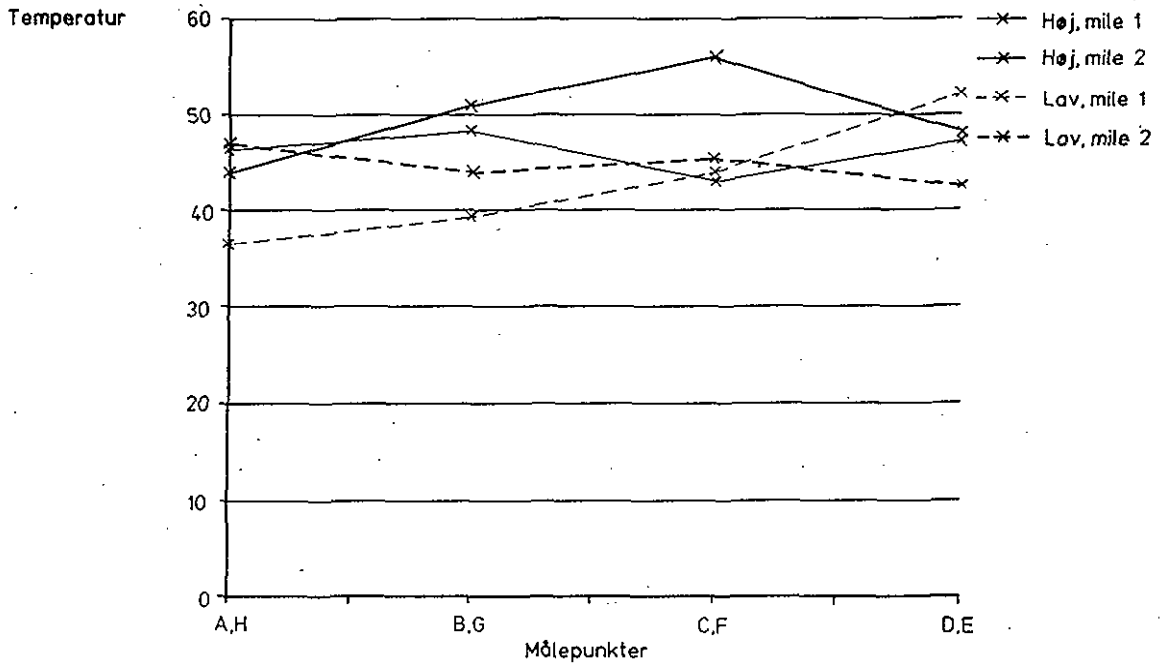


Figur 32e
Gennemsnitlige daglige temperaturer i mile 2.
Fjerde forsøgsrunde.
x: milen struktureret. 48: ugegennemsnit.

Figur 32d og e viser den gennemsnitlige daglige temperatur for mile 1 og 2. Her ses, at der ikke er den forventede store forskel på temperaturen de dage milen blev struktureret og de dage, milen ikke blev struktureret.

Figur 33 og tabel 30 viser de gennemsnitlige temperaturer i de forskellige målepunkter. Målepunkterne refererer til figur 32 i afsnit 6.3.5.1. De såkaldte høje temperaturer, er de temperaturer, der er målt umiddelbart før milerne blev struktureret. Her var det forventet, at temperaturen var høj. De såkaldte lave temperaturer er målt de modsatte dage.

Som det ses i figur 33 og tabel 30, er temperaturen ikke hævet markant gennem den længere opholdstid. I mile 1 var temperaturen i slutningen af milen højere efter 1 dag end efter 2 dage, hvilket tyder på at mikroorganismerne i komposten 2. dag ikke har haft luft (ilt) nok til maximal aktivitet. Af tabel 30 fremgår, at i starten af milen er temperaturen i mile 1 ca. 10°C højere, når milen har ligget i 2 dage end, når milen kun har ligget én dag. Denne effekt ses ikke i mile 2, hvor forskellen er størst ca. 3/4 igennem forkomposteringen, d.v.s. efter 10 dage.



Figur 33
Gennemsnitlige temperaturer under 4. forsøgsrunde.
A, H: starten af milen (indlastning)
D, E: slutningen af milen (udlastning)

I tabel 30 er forskellen på 1. og 2. dags temperaturen udregnet.

gns. uge 35-37		høj	lav	forskel
mile 1	A	47	37	10
	B	49	40	9
	C	43	44	-1
	D	47	52	-5
mile 2	H	48	43	5
	G	56	46	10
	F	51	44	7
	E	44	47	-3

Tabel 30
Forskellen på høj (2.dags) og lav (1.dags) temperatur i de 2 milers 8 målesteder (A-H), se forklaring i teksten. Temperaturen og forskel er opgjort i °C. Gennemsnit af uge 35-37.

Opholdstiden i tunnelen var 14 dage. D.v.s. at målested A og H svarer til kompost, der var 1-2 dage gammel, målested B og G svarer til kompost, der var 3-4 dage gammel, målested C og F svarer til kompost, der var 9-10 dage gammel og målested D og E svarer til kompost, der var 11-14 dage gammel, idet der ikke køres på anlægget i weekenden, og der skiftes "turnus" hver uge. Det vil sige, at der den ene uge køres man., ons. og fre. og den næste uge køres tirs. og tors.

Ud fra tabel 30, og til dels figur 33, kan det konkluderes, at temperaturen de første 10 dage kan hæves ca. 10°C ved at vende milerne hver anden dag i forhold til at vende dem hver dag. Fra 10.-14. dag skal milerne derimod vendes hver dag for at opnå maximal temperatur. I praksis kan det ikke lade sig gøre at behandle milerne forskelligt i forkomposteringsperioden. For ikke at risikere at få anaerobe zoner og ildelugtende råkompost, kan det derfor ikke anbefales at omlægge driften fra vending af milerne hver dag til hver anden dag.

Forsøgsresultatet af 4. forsøgsrunde bekræfter ikke, at temperaturen stiger i milerne, hvis de kun struktureres hver anden dag.

6. forsøgsrunde

Hovedresultaterne af sjette forsøgsrunde fremgår af tabel 31 og 32.

gns.	middel	maximum
mile 1	42	64
mile 2	39	66
tunnel	41	51

Tabel 31
Gennemsnits- og maximumtemperaturer i °C for mile 1 og 2 samt tunnelen (lufttemperatur). Sjette forsøgsrunde.

Som det ses, var temperaturen ikke højere i hverken tunnel eller miler i forhold til 3. forsøgsrunde, eller tidligere forsøgsrunder. Dette skyldes formentlig den meget lave beluftning (ca. 60 m³/h pr. grube). Ved lav beluftning får mikroorganismerne ikke den nødvendige mængde ilt og omsætter derfor ikke maximalt. Som følge deraf dannes der ikke varme.

alder	mile 1	mile 2
1 døgn	40	38
2 døgn	40	-
4 døgn	45	45
5 døgn	44	41

Tabel 32
Temperaturen (i °C) som funktion af kompostens alder i de 2 miler. Sjette forsøgsrunde.

Det fremgår af tabel 32, at der kun sker en stigning i temperaturen på 3-4°C ned gennem tunnelen, og at temperaturen gennemsnitlig er 15-20°C lavere end ønskeligt.

vertikalt

6.3.5.3 Resultater mht. temperaturgradienter gennem milerne. Temperaturen i milerne blev målt i to højder ca. 60 cm over gulvet (lav) og ca. 20 cm under milernes overkant (høj).

Resultaterne i målingerne fremgår af tabel 33. De konkrete milehøjder fremgår af tabel 11 i afsnit 6.3.1.

forsøgs-runde	1		2		3		4		6		gns.
mile	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	gns.
lav, ca. 60 cm	41	43	44	47	42	40	40	45	39	-	42,7
høj ca.100 cm	45	48	49	51	46	44	47	48	44	41	46,3

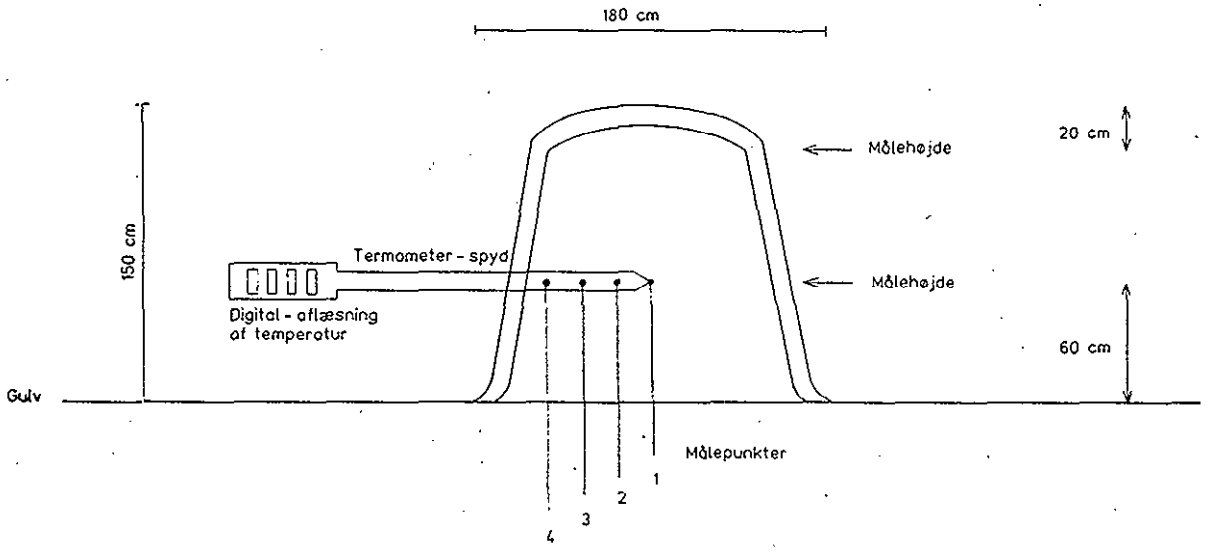
Tabel 33
Temperaturen (i °C) som funktion af målepunktets højde i kompostmilen. Lav = 60 cm over gulvet. Høj = ca. 20 cm under milens overkant. Det vil sige ca. 100 cm over gulvet. Den gennemsnitlige standardafvigelse (i % af gennemsnit) er 23 (beregnet på ugegennemsnittene).

Som det ses af tabel 33, er temperaturerne som forventet højest øverst i milen. Den gennemsnitlige forskel mellem temperaturen målt 0,6 m over gulvet og øverst i milen er ca. 4°C.

horisontalt

Temperaturen i milerne blev målt ved at stikke et temperaturspyd vandret ind i milen.

Ved hver temperaturmåling blev temperaturen målt 4 steder, idet det benyttede spyd har 4 temperaturfølere, se figur 34. De 4 temperaturer blev noteret og herudfra kan temperaturgradienten beregnes.



Figur 34
Tværsnit i mile med temperaturspyd (skematisk).

Fra april til november er temperaturerne blevet målt regelmæssigt i ialt 19 uger. Temperaturgradienten er beregnet, og resultatet fremgår af tabel 34. Gradient 1 er forskellen fra målepunkt 1 (figur 34) til målepunkt 2, gradient 2 er forskellen fra målepunkt 1 til målepunkt 3, og gradient 3 er forskellen fra målepunkt 1 til punkt 4.

Uge nr.	gradient, °C 1	2	3
14	0,7	1,7	4,2
19	0	1,0	1,2
20	-0,2	0	0
21	-0,3	0,2	0,2
24	0,6	0,4	0,2
25	0,1	0,8	1,4
26	0,5	1,9	3,4
28	0,4	1,1	2,1
29	0,2	0,8	-0,1
31	1,0	-0,8	-0,7
32	-0,8	-0,7	-1,2
33	-0,3	0,4	1,3
35	0,6	1,9	3,1
36	-0,4	-0,7	-0,9
37	-0,4	1,5	4,2
38	-0,3	0,5	1,2
40	-0,7	-0,1	0,1
46	-1,2	-1,2	-0,9
47	0	1,1	2,5
gns. +			1,6
gns. -			-0,7
gns.			1,1

Tabel 34
Temperaturgradient (°C) gennem kompostmilerne i tunnelen i De grønne Huse 1990.

I 80% af ugerne var temperaturgradienten positiv, dvs., at temperaturen var højest yderst i milerne. I disse tilfælde var temperaturgradienten fra inderst til yderst i milerne i gennemsnit 1,6°C (= "gns. +" i tabel 34).

Ifølge litteraturen (Vemmelund & Berthelsen, 1977, m.fl.) er en positiv gradient det typisk forekomne i en kompostmile, ligesom temperaturen stiger op gennem milen. Temperaturen stiger som følge af bakteriernes aktivitet, der er et resultat af lufttilførslen. Da bakterierne udnytter en meget lille del af luftens ilt (ca. 2%), og da luften føres videre gennem milen, sker denne øgede bakterieaktivitet op gennem hele milen. Temperaturgradienten opstår, fordi de yderste lag tilføres den varmeste luft (in-

defra/nedefra). I de alleryderste lag sker der imidlertid også en varmeafgivelse til luften omkring milen. Derfor bliver temperaturen højest ca. 10 cm fra milens overflade.

I 20% af ugerne var temperaturgradienten negativ. Dette kan skyldes for dårlig lufttransport, eller at beluftningsventilatorerne overvejende har suget i stedet for at blæse, hvorved opnås den modsatte effekt af ovennævnte.

6.3.5.4 Resultater mht. hygiejnisering. Miletemperaturen blev i de 6 forsøgsrunder målt dagligt i 80 punkter i hver mile og lufttemperaturen blev målt i 4 punkter i tunnelen. Disse temperaturmålinger danner grundlag for gennemsnitsværdierne i tabel 35.

forsøgs-runde	mile 1	mile 2	tunnel
1	43	46	40
2	45	50	47
3	43	41	44
4	45	47	47
6	42	39	41
gns.	44	45	44

Tabel 35
Gennemsnitsværdier for temperaturmålinger i De grønne Huse, uge 13-47, 1990.

Som det ses af tabel 35, har temperaturen både i miler og tunnel gennemsnitlig ligget på 45°C.

formål

Det var formålet med forkomposteringen i De grønne Huse, at temperaturen skulle nå 55°C i løbet af det første døgn, og holde denne temperatur i de 7 dage affaldet lå i tunnelen.

Dette er ikke lykkedes med de gennemførte forsøg. Dels p.g.a. mangelfuld beluftning, dels fordi affaldet var så vådt, at al energien blev brugt til fordampning af væske.

nye regler

Imidlertid er reglerne for hygiejnisering af kompost fremstillet af kildesorteret husholdningsaffald blevet fastlagt således, at en kontrolleret kompostering kræver 2 ugers kompostering ved 55°C eller derover. Da affaldet kun

ligger i tunnelen 1 uge, er ønsket om at opnå 55°C i tunnelen blevet mindre vigtigt at opfylde.

nyt formål

Kravene til hygiejnisering opfyldes i stedet på eftermodningspladsen. I stedet fokuseres nu på råkompostens kvalitet med hensyn til modenhed, med hensyn til omsætningsgrad i løbet af forkomposteringsprocessen og med hensyn til tørstofprocent, således at råkomposten kan sigtes og eftermodnes.

6.3.6 Konklusion

beluftning

I følge litteraturen skal det organiske affald i tunnelen beluftes med mellem 25 og 920 m^3/h.

De anvendte ventilatorer skulle kunne yde ca. 400 m^3/h.

I praksis har ventilatorerne, formodentlig p.g.a. det høje modtryk i milerne, i perioder kun ydet ca. 150 m^3/h. Det er utilfredsstillende lavt i forhold til den projekterede ydelse.

Der bør således justeres på processen f.eks. ved tilsætning af halm til affaldet jvf. afsnit 5.4.4. Endvidere bør der findes en anden måde at kombinere afløb og beluftning på. På det eksisterende anlæg kunne en løsning være en rensningsproces ved hver gennemkørsel (ved hjælp af en kost på maskinen), jvf. afsnit 5.1.1.1.

behandlede mængder

Der er behandlet 46 t affald pr. uge i De grønne Huse i uge 13-47. I slutningen af forsøgsperioden blev der fundet frem til en forbedret indlastningsmetode, således at der kan behandles ca. 80 t affald pr. uge i De grønne Huse.

massebalance

Følgende massebalance var forventet for den totale omsætning af affald:

100 kg affald → 20 kg kompost (50% ts)
100 kg affald → 20 kg sigterest

Følgende massebalance blev opnået:

100 kg affald → 15 kg kompost
100 kg affald → 28 kg sigterest

Sigterestens andel var lidt større end forventet. Dette skyldes udelukkende dårligere kildesortering end forventet og ikke, at sigteresten indeholder meget organisk materiale. Sigteresten er velegnet til forbrænding, da den overvejende består af plast.

Mængden af færdig kompost var lidt mindre end forventet.

tørstof %

Tørstofprocenten i affaldet var ca. 33 og i den sigtede råkompost ca. 40. Den opnåede tørstofændring gennem De grønne Huse var tilfredsstillende, idet 40% tørstof er ideelt for den videre kompostering i eftermodningsmilerne. Ved 40% tørstof kan råkomposten sigtes uden at der kommer væsentlige mængder organisk materiale i sigteresten.

organisk stof

Der er under forkomposteringen sket en omsætning af 30-50% af det organiske stof. Totalt gennem hele komposteringsprocessen er der sket en omsætning af organisk stof på 70-85% (forsøgsrunde 2-6). Dette er et tilfredsstillende resultat.

temperatur

Temperaturen i miler og tunnel lå i gennemsnit på ca. 45°C. Dette er ca. 10°C under det forventede ved forkomposteringsprocessen. Nemlig at få temperaturen op over 55°C. Imidlertid er reglerne for hygiejnisering af kompost blevet fastlagt således, at en kontrolleret kompostering kræver 2 ugers kompostering ved 55°C eller derover. Da affaldet kun ligger i tunnelen 1 uge, er ønsket om at opnå 55°C i tunnelen blevet mindre vigtigt at opfylde. Kravene til hygiejnisering opfyldes i stedet på eftermodningspladsen.

temperatur/ beluftning

De højeste temperaturer blev opnået i 2. forsøgsrunde. Her blev milerne i den sidste femtedel af tunnelen beluftet med ca. 300 m^3/h og i resten af tunnelen beluftet med ca. 185 m^3/h.

I den sidste femtedel af tunnelen var ca. 1/4 af luftmængden recirkuleret luft og ca. 3/4 frisk luft. I resten af tunnelen var forholdet omvendt: ca. 3/4 recirkuleret luft og ca. 1/4 frisk luft.

omsætning

Omsætningen af organisk stof i tunnelen var størst i 4. forsøgsrunde, hvor opholdstiden blev forlænget til 14 dage. Her var omsætningen af organisk stof, i % af den oprindelige mængde i affaldet, ca. 50. Ved eftermodning i optil 36 uger var den maximale totale omsætning af or-

ganisk stof på 85%, (opnået i 4. forsøgsrunde). Den gennemsnitlige omsætning gennem hele forsøgsperioden var på ca. 70%.

7.0 Eftermodning

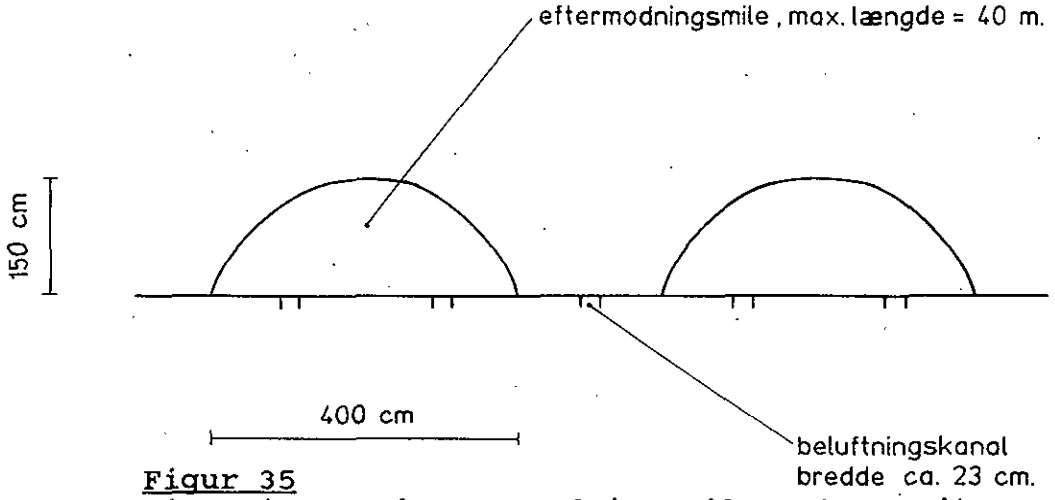
7.1 Beskrivelse

flow

Efter en uges forkompostering i De grønne Huse blev råkomposten sigtet og lagt i udendørs trapezformede eftermodningsmiler i 3-4 måneder.

miler

Milerne var ca. 4 m brede og ca. 2 m høje ved oplægning. De synker hurtigt sammen til ca. 1,5 meters højde, se figur 35.



Figur 35
Dimensioner på eftermodningsmiler, tværsnit.

Hver dag blev der lagt ny råkompost i forlængelse af den mile, der var under opbygning. Milernes længde blev bestemt af forsøgsrundernes længde. Der blev startet på en ny mile efter hver forsøgsrunde. Milernes maximale længde var 40 m.

beluftning

På eftermodningspladsen er der etableret et beluftningssystem, således at milerne kan beluftes nedefra. Ligeledes kan der suges luft fra milerne gennem beluftningskanalerne.

Beluftningskanalerne kan både benyttes til aktiv og passiv beluftning.

I praksis beluftes milerne aktivt afhængigt af temperaturen i milerne. Når temperaturen falder tændes beluftningen, og der beluftes under tryk. Der suges fra milerne lige før de vendes, for at minimere lugtgenerne mest muligt. Den passive beluftning sker automatisk, når spjældene forenden af beluftningsrørene er åbne (skorstenseffekt).

luftmængder

Det er svært at fastslå præcis med hvor store luftmængder, milerne beluftes, da beluftningskanalerne alle er parallelforbundet til én stor ventilator. Hvis ikke milerne fylder pladsen og dermed dækker beluftningskanalerne, kan kanalerne spærres, således at man undgår falsk luft. Den afspærring er dog i praksis langt fra 100% effektiv. Den beluftningsmængde, som milerne får, afhænger således dels af, hvor lange milerne er, dels af hvor mange miler der beluftes ad gangen. Beluftningen styres i høj grad pr. erfaring af én fast mand på AFAV.

vending

Eftermodningsmilerne blev vendt hver 3.-4. uge, ved hjælp af en DMT vendemaskine. Vendetidspunktet var dels bestemt af temperaturudviklingen i milerne, således at når temperaturen ikke kunne hæves ved hjælp af beluftning, blev milerne vendt. Dels var vendetidspunktet bestemt af vindretningen, idet der ikke blev vendt, når vinden havde retning mod den nærmeste bebyggelse.

7.2 Resultater

7.2.1 Praktiske erfaringer

håndtering

Håndteringen af kompost på eftermodningspladsen har forløbet let og uden problemer gennem hele forsøgsperioden. Ligeledes har sigtning kunnet foretages uden problemer af driftsmæssig karakter eller problemer med sammenklumpning af organisk materiale.

7.2.2 Massebalance

Massebalancen for de forskellige forsøgsrunder fremgår af tabel 12 i afsnit 6.3.2. Den totale massebalance (baseret på frisk vægt) for hele komposteringsprocessen var følgende (i runde tal):

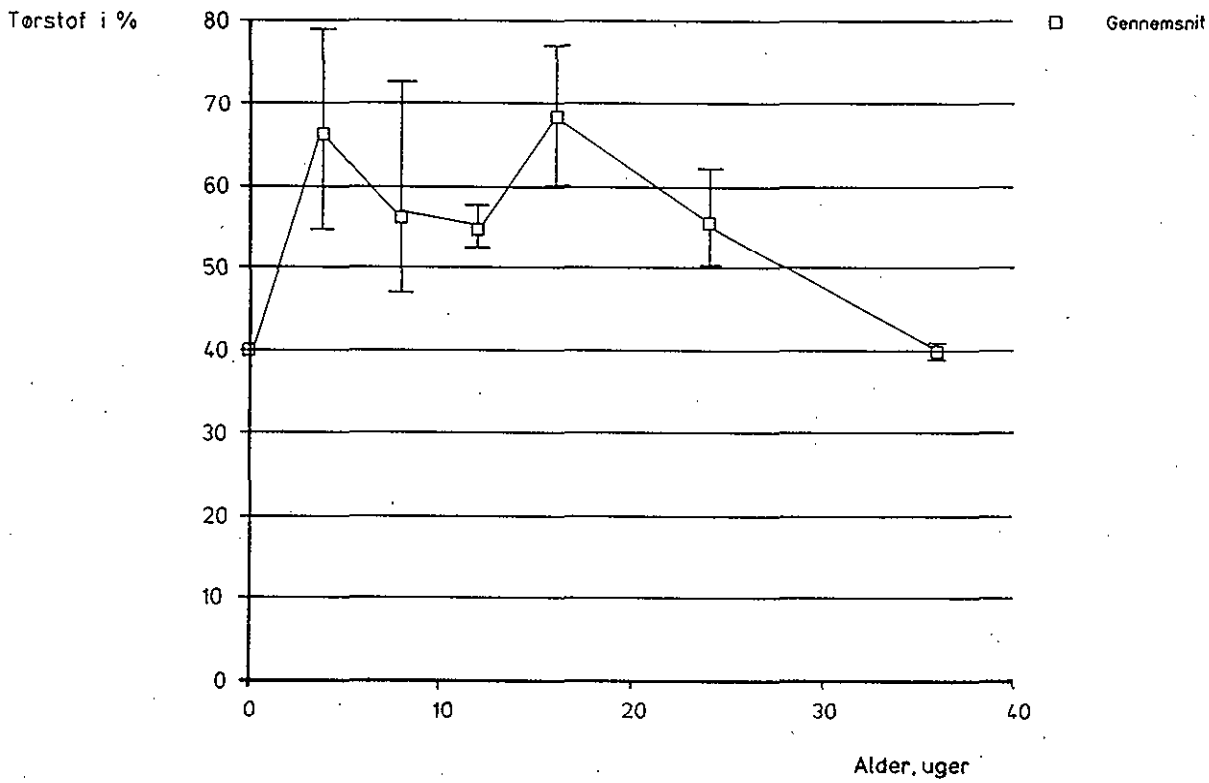
100 kg affald < 15 kg færdig kompost
30 kg sigterest

forventet

I forhold til den forventede massebalance er sigteresten lidt større og kompostmængden lidt mindre end ventet.

7.2.3 Tørstofændring

Den opnåede tørstofændring i løbet af eftermodningsperioden er afbildet i figur 36.



Figur 36
Gennemsnitlige tørstofprocenter i kompost fra eftermodnings-milerne som funktion af kompostens alder.
Uge 0 = udlastning fra De grønne Huse.

vejrafhængig

Som det ses, stiger og falder tørstofprocenten gennem eftermodningsperioden. Da milerne er placeret udendørs er tørstofprocenten i høj grad afhængig af vejret. Man skal derfor ikke lægge for meget i udviklingen i figur 36.

ønsket tørstofprocent

Det må tilstræbes, at tørstofprocenten i det færdige produkt er så høj som mulig, for at transportere så lidt vand som muligt ved afsætning.

Rent dyrkningsmæssigt er det dog optimalt med en let fugtig kompost, idet en helt tør kompost er næsten umulig at få gennemvædet igen.

En tørstofprocent på 55-65 tilfredsstiller ovennævnte krav. Samtidig vil en sådan kompost kunne fugtes yderligere, hvis der ønskes større vandindhold af dyrkningsmæssige grunde.

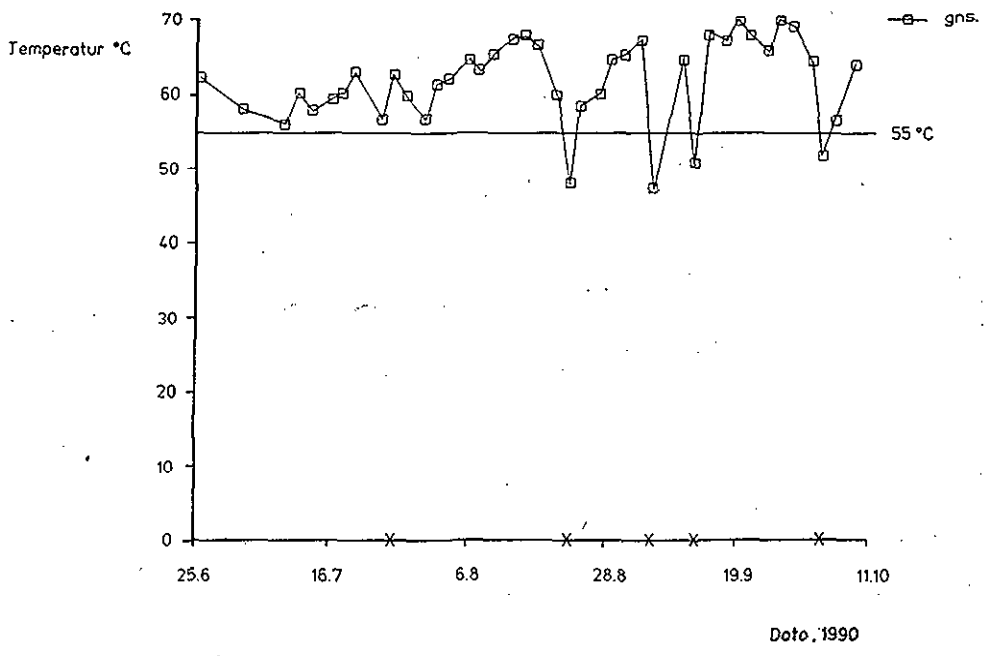
Tørstofprocenten i komposten fra De grønne Huse lå på 55-65% indtil ca. 25. uge. Herefter faldt tørstofprocenten til ca. 40.

Hvis komposten bliver meget tør i eftermodningsperioden, er der mulighed for at vande samtidig med, at milerne vendes.

7.2.4. Temperaturudvikling

Temperaturerne i eftermodningsmilerne blev målt af AFAVs personale 2 gange om ugen. I en periode i efteråret 1990 blev temperaturen målt 3 gange om ugen, når det blev konstateret, at temperaturen var over 55°C.

Resultatet af temperaturmålingerne i mile 29 ses i figur 37. Temperaturudviklingen har været den samme i alle eftermodningsmilerne. Temperaturkurver for de øvrige miler fremgår af bilag 8.



Figur 37
Temperaturudviklingen i eftermodningsmile 29, 1990. Milen blev vendt d. 23.7., 22.9. og 2.10. Milen blev kraftigt beluftet d. 5.9.

Som det ses af figuren, ligger temperaturen over 55°C undtagen umiddelbart efter vending.

hygiejnisering

Det var, som tidligere nævnt, oprindeligt meningen, at komposten skulle hygiejniseres under opholdet i tunnelen. Imidlertid er opholdstiden i tunnelen idag for kort, til at der, selv ved 55°C, kan opnåes tilstrækkelig hygiejnisering.

Derfor må hygiejniseringen af komposten ske på eftermodningspladsen.

Ifølge bekendtgørelse nr. 736 om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål, skal komposten gennemgå en behandling, der sikrer 55°C i 2 uger i alt materiale.

2x2 uger

Når komposten eftermodnes udendørs, er det ikke alt materiale, der er 55°C, selv om kernen af milen har denne temperatur. Derfor skal komposten ved modning udendørs opnå 55°C i to gange 2 uger. I mellem de to perioder skal komposten vendes, således at man sikrer, at det materiale, der har ligget yderst i første periode, kommer ind i den varme kerne i den anden periode.

7.2.5 Modenhed

Komposten fra De grønne Huse blev gennemsnitlig eftermodnet i 3 1/2 måned (16 uger).

Det var forventet, at eftermodningstiden kunne nedsættes til 1-2 måneder. Den nødvendige eftermodningstid er afhængig af, hvilken modenhed komposten skal have, hvordan denne modenhed defineres og, hvilken anvendelse komposten skal have. Se yderligere omtale i afsnit 8.4 og 8.5 samt i kapitel 10.

definition

I modenhedsbegrebet indgår faktorer som

- stabilitet mht. temperaturer
- stabilitet mht. indhold af organisk stof
- stabilitet mht. næringsindhold
- stabilitet mht. tungmetaller
- toksiditet overfor spirende frø
- toksiditet overfor planter i vækst

Der er ikke nogle krav til modenhed eller alder på kompostproduktet i bekendtgørelse nr. 736 om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål. Det eneste inddirekte krav af tidsmæssig karakter er kravet til hygiejnisering.

anvendelse

Komposten fra De grønne Huse skal p.g.a. tungmetalindholdet afsættes til landbrug eller skovbrug. Komposten anvendes her primært p.g.a. sin strukturforbedrende egenskaber og sekundært p.g.a. sit næringsindhold.

temperatur	Efter 2. sigtning af komposten og henlæggelse i lager blev temperaturen kun målt lejlighedsvis. Udfra disse målinger antages det, at komposten først er stabil mht. temperatur, d.v.s. at den har omgivelsernes temperatur, ca. 6 måneder efter forkompostering i De grønne Huse. Temperaturen i produktet er primært interessant ved opbevaring, transport og evt. pakning af komposten.
organisk stof	Som det ses i figur 28a i afsnit 6.3.2, er indholdet af organisk stof stabilt efter 16. uge af eftermodningen, d.v.s. efter ca. 3½ måned.
næringsindhold	Der er udtaget 16 prøver til næringsstofanalyser. Prøverne er fordelt på kompost af 6 aldre. Der ses ikke i de gennemførte analyser nogle tendenser til stabilitet i næringsindholdet efter nogen bestemt alder.
tungmetaller	Der er blandt de 12 analyserede prøver tendens til, at tungmetalindholdet stabiliseres efter 20 ugers eftermodning. Dette antages på baggrund af standardafvigelsen på de fundne resultater. Se iøvrigt afsnit 8.3.
spiretest	Ifølge de gennemførte spireforsøg med karsefrø (se afsnit 8.4) er germinationsindexet omkring 80, når komposten er 20 uger eller derover. Et vækstmedie med et germinationsindex på 80 eller derover, anses i litteraturen (Zucconi, 1981 og Riffaldi, 1986) for at være ikke-toksisk for spirende frø.
planter i vækst	Der er ikke gennemført forsøg med planter i vækst.

7.3 Konklusion

I følge tabel 35a er den nødvendige modningstid for kompost fra De grønne Huse fra 3½ til 6 måneder. Imidlertid betinger anvendelse af komposten på landbrugsjord i voksende afgrøde ikke, at komposten er moden ifølge ovennævnte parametre. Landbruget er primært interesseret i et ensartet kompostprodukt, der opfylder kravene i bekendtgørelse nr. 736, 1989. Det er således kun relevant at diskutere modenhed i forlængelse af bekendtgørelse. D.v.s. ved, hvilken alder, der kan udtages repræsentative, ensartede prøver af materialet.

ifølge	komposten moden efter
temperatur	6 måneder
indhold af organisk stof	3½ måned
indhold af tungmetaller	4½ måned
spiretest	4½ måned

Tabel 35a
Nødvendig modningstid for kompost fra De grønne Huse ifølge forskellige parametre.

Eftermodningen af råkomposten på den udendørs plads har fungeret tilfredsstillende.

temperatur

Temperaturen i milerne var konstant over 55°C undtagen lige efter vending og kraftig beluftning. Herved overholdes Miljøstyrelsens regler for kontrolleret kompostering.

lugt

Der har ikke i forsøgsperioden været klager over lugtgener, der kan relateres til De grønne Huse.

beluftning

Beluftningssystemet har fungeret optimalt, når milerne i længderetningen fyldte pladsen helt ud, d.v.s. 40 m. Når milerne var kortere end 40 m kunne de ikke beluftes optimalt, da lukkemekanismen i beluftningskanalerne ikke er effektiv. Dette bør laves anderledes ved kommende anlæg.

modenhed

Komposten er ifølge de undersøgte parametre (temperatur, indhold af organisk stof, tungmetaller samt spiretest) moden efter 3½-6 måneder.

Modningstiden har indflydelse på dimensioneringen af eftermodningspladsen.

8. Kompostkvalitet

Dette kapitel omhandler kvaliteten af det færdige kompostprodukt og tildels udviklingen i næringsstofindhold og modenhed i løbet af komposteringsprocessen.

Med hensyn til indhold og udvikling i tørstofprocent og indholdet af organisk stof, omsætning m.m. henvises til kapitel 6 under resultater (6.3.3 og 6.3.4).

I dette kapitel er resultaterne fra kapitel 6 kort resumeret.

8.1 Næringstofindhold

8.1.1 Prøveudtagning

I forsøgsperioden er der udtaget i alt:

9 prøver af affald
9 prøver af råkompost
16 prøver af færdig kompost

Prøverne er udtaget jævnt fra marts til november 1991. Prøveudtagningsdatoerne fremgår af resultatskemaerne. Prøverne af færdig kompost er udtaget således, at kompost med forskellig alder (4-24 uger) er repræsenteret. Kompostalderen fremgår ligeledes af resultatskemaerne.

Prøverne af kompost fra eftermodningsmilerne er udtage repræsentativt i milerne på samme måde som udtagning af affald og råkompost (se afsnit 6.3.3.1).

Affaldsprøverne og råkompostprøverne blev analyseret for:

- tørstofindhold (%)
- indhold af organisk stof (i % af tørstof)
- pH-værdi

Prøverne af færdig kompost blev analyseret for:

- tørstofindhold (%)
- indhold af organisk stof (i % af tørstof)

- pH-værdi
- total-N (g/l)
- NH_3-N (g/l)
- NO_3-N og NO_2-N (g/l)
- citratopl. P (g/l)
- vandopl. K (g/l)
- ledningsevne (mS/cm)

Analyserne blev udført af Levnedsmiddelkontrollen, Frederiksborg Amt Vest.

De anvendte analysemetoder er beskrevet i bilag 4.

8.1.2 Resultater

Resultaterne af de gennemførte analyser fremgår af tabel 36 og 37.

I tabel 36 er tørstofindhold, indhold af organisk stof (i % af tørstof) samt pH i affald, råkompost og færdig kompost opstillet.

I tabel 37 er næringsstofindholdet i den færdige kompost opstillet.

prøve nr.	prøve af	udtaget dato	tørstof-procent, ts i %	organisk stof i % af ts	pH
A1	affald	04.04.90	33,9	68	5,3
A2	affald	09.05.90	32,9	67	4,8
A3	affald	14.06.90	29,6	63	4,3
A4	affald	14.06.90	32,3	63	4,5
A5	affald	21.06.90	27,4	75	4,3
A6	affald	11.07.90	30,2	69	5,5
A7	affald	15.08.90	22,8	89	5,2
A8	affald	13.09.90	28,7	79	5,3
A9	affald	25.09.90	31,4	75	5,2
gns.	affald	gns.	30	72	4,9
std. i % af gns.	-	-	11	7	9
S1	råkompost	04.04.90	37,9	74	4,6
S2	råkompost	09.05.90	34,8	74	4,3
S3	råkompost	14.06.90	37,7	79	5,5
S4	råkompost	14.06.90	37,0	78	5,8
S5	råkompost	21.06.90	38.8	72	6,5
S6	råkompost	11.07.90	49,7	75	6,1
S7	råkompost	15.08.90	37,1	72	5,7
S8	råkompost	13.09.90	39,8	80	6,0
S9	råkompost	10.10.90	31,7	64	6,5
gns.	råkompost	gns.	38	74	5,7
std. i % af gns.	-	-	13	7	14
F1	kompost	02.05.90	57,3	63	7,4
F2	kompost	30.05.90	72,4	55	8,1
F3	kompost	30.05.90	75,2	64	7,6
F4	kompost	27.06.90	53,0	68	6,4
F5	kompost	27.06.90	46,9	62	5,8
F6	kompost	27.06.90	54,7	60	6,4
F7	kompost	27.06.90	61,6	49	7,6
F8	kompost	27.06.90	50,5	55	7,6
F9	kompost	08.08.90	78,5	55	6,8
F10	kompost	08.08.90	49,7	69	5,6
F11	kompost	08.08.90	56,7	54	5,4
F12	kompost	19.10.90	76,6	62	6,8
F13	kompost	19.10.90	60,2	56	7,0
F14	kompost	19.10.90	55,0	52	7,6
F15	kompost	19.10.90	40,3	52	7,9
F16	kompost	19.10.90	39,8	51	7,9
gns.	kompost	gns.	58	58	7,0
std. i % af gns.	-	-	21	10	12

Tabel 36
Tørstofindhold m.m. i affald, sigtet råkompost og færdig kompost fra De grønne Huse. Standard-afvigelsen er angivet i % af gennemsnit.

prøve nr.	udtaget, dato	kompost-alder i uger	tørstof-procent, ts %	organisk stof i tørstof	pH	total-N g/l	NH_4-N g/l	NO_3-N, NO_3-N g/l	Citrat-opl. P g/l	Vand-opl. K g/l	ledningsevne, mS/cm
F1	2. 5.90	4	57,3	63	7,4	3,6	0,3	0,02	0,5	2,1	0,94
F2	30. 5.90	8	72,4	55	8,1	4,4	0,2	0,02	0,8	2,4	0,77
F3	30. 5.90	4	75,2	64	7,6	3,8	0,2	0,04	0,6	1,9	0,80
F4	27. 5.90	12	53,0	68	6,4	3,6	0,3	0,02	0,5	1,3	0,91
F5	27. 6.90	8	46,9	62	5,8	2,5	0,5	0,01	0,6	1,4	1,00
F6	27. 6.90	4	54,7	60	6,4	3,3	0,4	0,01	0,5	1,5	1,02
F7	27. 6.90	24	61,6	49	7,6	4,2	0,2	0,06	1,4	2,6	1,91
F8	27. 6.90	24	50,5	55	7,6	3,3	0,2	0,08	0,8	2,1	1,80
F9	8. 8.90	4	78,5	55	6,8	5,0	0,5	-	0,9	2,3	1,28
F10	8. 8.90	8	49,7	69	5,6	4,1	1,1	-	0,5	1,1	1,02
F11	8. 8.90	12	56,7	54	5,4	3,3	1,0	-	0,3	1,1	1,04
F12	8. 8.90	16	76,6	62	6,8	3,6	0,5	-	0,9	2,3	1,11
F13	19.10.90	16	60,2	56	7,0	4,8	0,5	-	0,8	1,8	1,44
F14	19.10.90	24	55,0	52	7,6	4,4	0,4	-	0,7	1,8	1,38
F15	19.10.90	36	40,3	52	7,9	3,5	0	-	0,4	1,0	0,98
F16	19.10.90	36	39,8	51	7,9	3,3	0	-	0,7	1,1	0,91
gns. alle	gns.	gns.	58	58	7,0	3,8	0,4	0,03	0,7	1,7	1,14
std i % af gns.	-	-	21	10	12	17	75	79	37	30	28
gns. 4 uger	gns.	gns	66	61	7,1	3,9	0,4	0,02	0,6	2,0	1,01
gns. 8 uger	gns.	gns	56	62	6,5	3,7	0,6	0,01	0,6	1,6	0,93
gns. 24 uger	gns	gns	56	52	7,6	4,0	0,3	0,07	1,0	2,2	1,70
gns. 36 uger	gns	gns	40	52	7,9	3,4	0	-	0,6	1,1	0,95

Tabel 37
Næringsindhold m.m. i færdig kompost fra De grønne Huse. Vægtfylden af komposten er ca. 0,3 kg/l. Standardafvigelsen er angivet i % af gennemsnit.

8.1.3 Diskussion

tørstof

Det gennemsnitlige tørstofindhold i affald er ca. 30%, i råkomposten knapt 40% og i den færdige kompost 50-60%. Det er ikke, af hensyn til komposteringsprocessen, ønskeligt at øge tørstofprocenten til mere end 40% under forkomposteringen, med mindre komposten vandes på eftermodningspladsen (og det er en arbejdsgang, der lige så godt kan spares). Derimod er det ønskeligt mod slutningen af komposteringsprocessen på eftermodningspladsen, at øge tørstofprocenten til 55-65%. Herved transporteres så lidt vand som muligt ved afsætning af det færdige produkt.

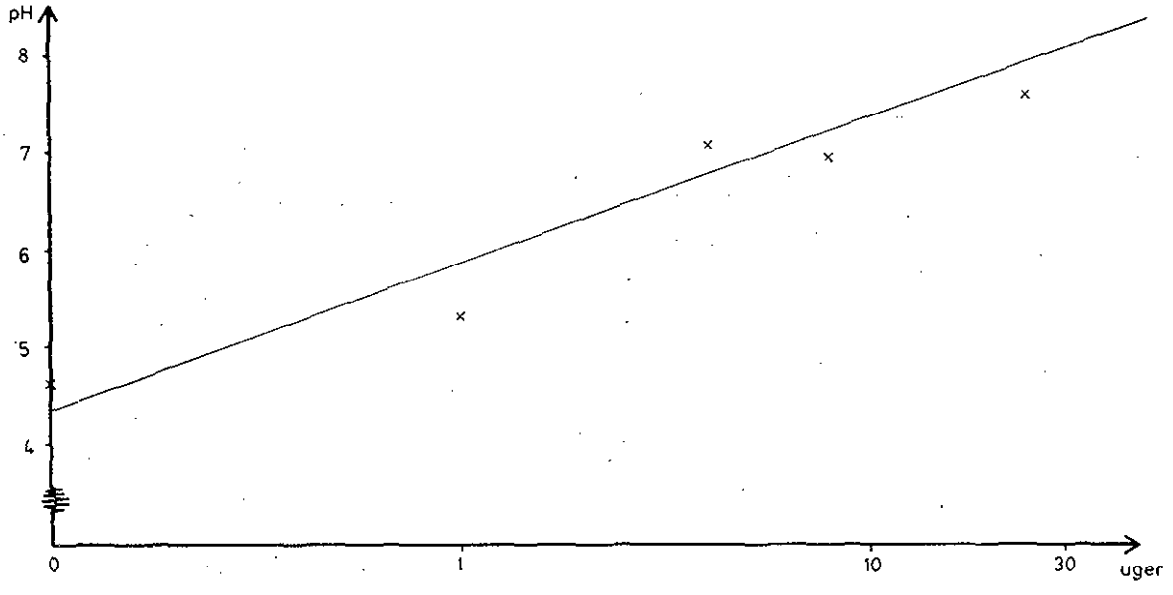
organisk stof

Det gennemsnitlige indhold af organisk stof (i % af tørstof) stiger tilsyneladende i løbet af forkomposteringsprocessen. Dette skyldes, at der analyseres på sigtet råkompost, dvs., at den mængde, der bortføres via sigteresten, ikke

er med i tabel 36 og 37. Sigteresten består overvejende af papir, plast, konservesdåser og andet uorganisk materiale. Det vil sige, at der med sigteresten bortføres en stor mængde uorganisk stof. Den færdige komposts indhold af organisk stof er jvf. tabel 36 ca. 58% i tørstof. Der er jvf. kapitel 6.3.4 sket en omsætning af 14-50% af det organiske stof i løbet af forkomposteringen og en yderligere omsætning af 21-46% af det organiske stof på eftermodningspladsen. Det vil sige, at der efter optil 37 ugers kompostering er 15-30% af den oprindelige mængde organisk stof fra affaldet tilbage i den færdige kompost. Dette er en tilfredsstillende omsætning.

pH

Der sker en betydelig pH-stigning gennem komposteringsprocessen. pH stiger fra ca. 5 til ca. 7 gennem komposteringsprocessen. Som det ses i figur 38, er der lineær sammenhæng mellem pH og logaritmen til tiden (i uger). pH i det færdige produkt ligger på et middel til højt niveau i forhold til væksthus-brug (mange sphagnum typer har væsentlig lavere pH-værdi) og på linie eller lidt over pH-værdien i gennemsnitlig dansk landbrugsjord (Håndbog for plantedyrkning 1989). Ved meget højt pH (over 9) kan der ske ammoniakfordampning fra komposten. Det er vigtigt, at pH-værdien i det færdige produkt ikke ligger væsentligt under 6, da dette vil hindre nitrifikation (dannelse af NO_3^- fra NH_4^+).



Figur 38
pH som funktion af tiden (udtrykt logaritmisk).

kvælstof

Indholdet af total-kvælstof er 3,5-4,0 g pr. liter færdig kompost. Massefylden af komposten er ca. 0,3 kg/l, d.v.s., at der er ca. 13 g N/kg kompost. Af den totale mængde kvælstof er dog kun en lille del (ca. 10%) umiddelbart tilgængelig for planterne. Den øvrige del af kvælstoffet vil langsomt blive plantetilgængeligt (der vil ske en mineralisering) i løbet af 1-10 år.

En kornafgrøde skal i løbet af en vækstsæson tilføres 100-150 kg N pr. ha. Hvis kornafgrøden skulle have sit kvælstofbehov dækket med kompost, betyder det, at der pr. ha skulle tilføres ca. 155 t (her er regnet med total-kvælstof). Det vil sige, at komposten skulle lægges i et ca. 5 cm tykt lag. Hvis afgrødens behov skal dækkes med umiddelbart tilgængeligt kvælstof fra komposten, skal der tilføres op til 10 gange mere.

Dette er selvfølgelig ikke muligt i praksis. Især fordi der i "Bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål" er fastsat (§ 14), at der max. må tilføres jorden 10 t tørstof pr. ha pr. år, beregnet som et gennemsnit over 10 år. Dette svarer til ca 20 t frisk kompost pr. ha pr. år. Endvidere må der max. tilføres 250 kg total-kvælstof og 40 kg totalfosfor pr. ha pr. år. Denne beregning af lagtykkelse af kompost, hvis afgrødens behov skal dækkes af kompost, er altså kun teoretisk.

fosfor

Der er kun målt på kompostens indhold af umiddelbart plantetilgængeligt fosfor i form af citratopløseligt fosfor.

En kornafgrøde skal i løbet af en vækstsæson tilføres 20-30 t P pr. ha, alt efter jordens indhold. Hvis kornafgrøden skulle have sit fosfor-behov dækket med kompost, betyder det, at der pr. ha skulle tilføres ca. 14 t. Det vil sige, at komposten skulle lægges i et ca. 1/2 cm tykt lag.

kalium

Ligesom for fosfors vedkommende er der kun målt på kompostens indhold af plantetilgængeligt kalium, i form af vandopløseligt K.

En kornafgrøde skal i løbet af en vækstsæson tilføres 60-70 t K pr. ha, alt efter jordens indhold. Hvis kornafgrøden skulle have sit kalium-behov dækket med kompost, betyder det, at der pr. ha skulle tilføres ca. 13 t. Det vil

sige, at komposten skulle ligge i et lag på under 1/2 cm's tykkelse.

ledningsevne

En for høj ledningsevne i et vækstmedie kan hæmme eller umuliggøre plantevækst. Om en bestemt ledningsevne vil virke væksthæmmende eller ej kan ikke siges på forhånd, da følsomheden variere stærkt med plantearten. Som vejledende grænseværdi bruges dog 4 mS/cm. Tal under denne værdi regnes generelt for uden negativ indflydelse på plantevækst.

AFAV kompostens ledningsevne overstiger ikke 4 mS/cm.

8.1.4 Konklusion

deklaration

Der er blevet udtaget prøver af den færdige kompost og lavet analyser således, at det er muligt at deklarere komposten ifølge Gødningstilsynets retningslinier for deklarering af gødning og jordforbedringsmidler. Denne deklaration ses i kap. 8.2.

kvælstof

Hvis der regnes med en nyttevirkning på 100% af total-kvælstof allerede første år, skal en kornafgrøde tilføres et ca. 5 cm tykt lag kompost for at dække afgrødens kvælstofbehov. Ved lavere nyttevirkning skal der tilføres op til 10 gange mere kompost.

fosfor og kalium

En kornafgrødes fosfor og kalium-behov vil kunne dækkes ved tildeling af ca. 15 t kompost pr. ha, eller et ca. 1/2 cm tykt lag.

Det er således afgrødens P og K behov, der skal doseres kompost efter. Kvælstofbehovet må dækkes med anden gødning.

andre komposttyper

Ved en sammenligning med andre kompostprodukter, se tabel 38, ses at kompostens tørstof- og næringsstofindhold ligger helt på linie med disse. Det bedste sammenligningsgrundlag fåes til R-98-kompost, der ligesom AFAV-komposten består primært af kildesorteret husholdningsaffald. AFAV-komposten er mere tør end R-98-komposten, og indholdet af organisk stof er lavere. Dette skyldes sandsynligvis, at der har været en større omsætning i AFAV-komposten. Næringsstofindholdet i de to typer kompost er stort set ens. Dog indeholder AFAV-komposten lidt mere total-N end R-98-komposten.

	AFAV grøn kompost	Gentofte kompost x	Høng kompost o	Kerteminde kompost ▲	R-98 kompost ■	Odense kompost x
tørstofprocent (ts %)	40	70-80	55-65	80	35-40	75-80
organisk stof (vs i % af ts)	52	12-18	17-21	11	76-78	36-38
pH	7,9	7,8-8,8	7,5-8,5	7,6	7,5-7,8	7,1-7,4
ledningsevne (mS/cm)	1,0	2-4	0,7-0,9	1,4	ca. 2	ca. 1
total-N, g/l	3,4	2-7	2,5-7,5	2,5	2,7	3,5
NH_4-N, g/l	~0	0	~0	~0	~0	1,3
cit.opl. P, g/l	0,6	0,2-2,0	0,2-2,5	0,5	0-5	0,4
vand.opl. K,g/l	1,1	1-4	0,1-1,0	0,8	0-5	0-1

Tabel 38
Næringsstofindhold m.m. i forskellige typer kompost. Næringsstofindholdet er angivet i g/l. Kilder: Arbejdsrapport nr. 38, 1990, Miljøstyrelsen m.fl.
x: have/gren-affald
o: køkkenaffald
▲: tang, sand, have/gren-affald, slam fra rensningsanlæg
■: kildesorteret husholdningsaffald og halm, København.

8.2 Deklaration af komposten

8.2.1 Myndighedernes krav

definitioner

Ifølge landbrugsministeriets bekendtgørelse nr. 867 (20.12.1988) om handel med gødning og grundforbedringsmidler m.m. falder komposten fra De grønne Huse, AFAV I/S ind under betegnelsen et jordforbedringsmiddel. Komposten kan ikke betegnes som en gødning på grund af det forholdsvis lave næringsstofindhold. Komposten kan heller ikke betegnes som et voksemedie på grund af dens ledningsværdital og på grund af dens forholdsvis lave indhold af næringsstoffer.

jordforbedringsmidler

Et jordforbedringsmiddel defineres i lov nr. 41 (26.01.1977) om handel med gødning og grundforbedringsmidler m.m. som "et stof, der er bestemt til ændring af jord eller voksemediers fysiske, kemiske eller biologiske tilstand, og hvis virkningen ikke eller kun i ringe grad beror på et indhold af plantenæringsstoffer".

I deklareringen af komposten må ikke indgå ordene tørv eller sphagnum, da dette betinges af et maximalt indhold af ren aske på henholdsvis 10 og 3 %.

kompost

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.

8.2.2 Kompostdeklaration

Deklareringen af AFAV's grønne kompost ser således ud (værdierne gælder kompost, der er over 20 uger gammel):

AFAV I/S, Strandvangen 15, 3600 Frederikssund.
Tlf. 42 31 34 43

Organisk jordforbedringsmiddel, kompost.

Grundmaterialer:	Kildesorteret husholdningsaffald.
Produktionssted:	AFAV I/S, Frederikssund.
Fremstillingsmetode:	Tunnelkomposteret og milekomposteret.
Tørstofindhold:	44-54 %
Askeindhold i tørstof:	46-50 %
Organisk stof i tørstof:	49-55 %
Totalkvælstof (N):	1-6 g/l
Vandopl. kvælstof (N):	0-5 g/l
Citratopl. fosfor (P):	0-5 g/l
Vandopl. kalium (K):	1-6 g/l
pH i vand:	7,2-8,2
Elektrisk ledningsværdi Lv (mS/cm)x10:	14,0
Vægtfylde:	ca. 0,3 kg/l

8.3 Tungmetalanalyser

Der er blevet udtaget prøver til analysering for tungmetaller 12 gange i løbet af forsøgsperioden, i alt fordelt over 18 måneder.

Prøverne er udtaget og analyserne udført så resultatet bliver så repræsentativt som muligt. Prøveudtagning og analyseprogram bygger på de erfaringer, der blev opnået ved forsøget på Amager (R-98-kompost). Her blev det bl.a. erfaret, at det ikke er muligt, indenfor et overkommeligt budget, at bestemme affaldets tungme-

talindhold. Affaldet er simpelthen for heterogent et materiale at lave tungmetalanalyser på. Derfor analyseres her kun på det færdige kompostprodukt. Endvidere blev det erfaret, at bly er det tungmetal, hvis indhold svinger mest. Det betyder, at der skal laves flere blyanalyser end analyser af de øvriger tungmetaller.

8.3.1 Prøveudtagning og analyseprogram

Udfra tidligere erfaringer blev følgende prøveudtagningsprogram sammensat og gennemført:

Hver prøve blev udtaget som 12 delprøver direkte fra bunken af færdig, sigtet kompost (fra lager). De 12 delprøver blev udtaget ca. 50 cm fra bunkens overflade/bund således:

- en prøve fra toppen
- tre prøver 1/3 nede i bunken
- fire prøver 2/3 nede i bunken
- fire prøver i bunden af bunken

Disse 12 delprøver blev blandet grundigt og herfra blev udtaget 1-2 liter til laboratoriets analyser.

På laboratoriet blev der analyseret for følgende metaller:

- bly (Pb)
- cadmium (Cd)
- kviksølv (Hg)
- nikkel (Ni)
- krom (Cr)
- kobber (Cu)
- arsen (As)
- cobolt (Co)
- zink (Zn)

Lejlighedsvis blev der ligeledes analyseret for:

- tin (Sn)
- mangan (Mn)
- jern (Fe)

Endvidere blev der i oktober 1990 udtaget 3 ekstra prøver, der kun blev analyseret for bly.

På laboratoriet blev der af den udtagne prøve (1-2 liter) efter homogenisering udtaget 6 delprøver til blybestemmelse og 2 delprøver til cadmiumbestemmelse. Hver af de 6 blybestemmelser og de 2 cadmiumbestemmelser bestod af en

dobbelt-bestemmelse på samme ekstraherede prøve. Ligeledes bestod de øvrige metalbestemmelser af dobbeltbestemmelser.

Endvidere blev prøvernes tørstof- og askeindhold bestemt.

Analyserne blev udført af Danmarks Farmaceutiske Højskole, institut for almen kemi, afdelingen for miljøkemi.

Analysemetoderne er angivet i bilag 5.

8.3.2 Resultater

Alle tungmetalresultater opgives i ppm af tørstof.

Resultatet af samtlige analyser fremgår af tabel 39 og 40. Disse resultater er gennemsnit af de foretagne analyser.

Der er i tabel 40 udregnet 3 gennemsnit. Et gennemsnit af samtlige resultater, et gennemsnit af resultaterne for kompost, der er ældre end 20 uger og et gennemsnit af resultaterne for kompost, der er yngre end 20 uger. Dette er gjort udfra en definition af, at komposten efter 20 uger kan betegnes som moden.

prøve nr.	45-89	52-89	10-90	2-90	6-90	29-90	22-90	10-90 *	50-89 *	45-89 *	36-90	48-90
udtaget uge	-	15	22	15	22	48	48	40	40	40	16	16
alder i uger	≤ 10	10-15	12-15	13-15	16-19	19-25	26-29	30	42	38-52	32	20
tørstof%	70	58	45	57	56	36	31	42	49	41	50	53
aske%	34	40	24	39	37	48	52	45	57	54	58	55
Pb	63	21	97	32	123	87	102	71	98	71	162	191
Cd	1,00	0,36	0,08	0,43	0,07	1,10	1,25				1,68	1,52
Hg	0,15		0,25	0,12	0,22	0,26	0,33				0,39	0,18
Ni	7,7		10,3	8,2	11,2	14,0	15,5				17,4	17,9
Cr	50		91	53	89	55	62				13,0	15
Cu	33		98	40	115	61	87				97	109
As	1,6		3,3	1,7	4,7	3,3	2,7				4,8	10,2
Co	1,1		1,6	0,9	1,9	1,2	1,7				5,5	5,4
Sn	2		2,1	2,1	3,1	1,4	2,3					
Mn	44		193	46	209	147	189					
Zn	57		191	62	190	2050	2700				285	273
Fe	3950		1590	4717	17600							

Tabel 39
Analyseresultater om tungmetalindholdet i kompost fra De grønne Huse, AFAV I/S, 1989-90. Gennemsnitstal, ppm i tørstof.

	gns. alle	std. i % af gns.	gns. <20 uger	std. i % af gns.	gns. >20 uger	std. i % af gns.	Miljøstyrelsens grænseværdier
antal prøver	12		5		4 (7)▲		indtil
alder i uger	10-52	10-52	10-20	10-20	20-52	20-52	31.07.1995
tørstof%	49	21	57	14	43	17	
aske%	45	22	35	17	53	8	
Pb	93	50	67	57	112	39	120/80x
Cd	0,83	69	0,39	87	1,39	16	1,2
Hg	0,22	32	0,19	28	0,30	12	1,2
Ni	12,8	29	9,4	15	16,2	10	45
Cr	53	51	71	27	36	62	
Cu	80	37	72	50	88	20	
As	2,9	37	2,8	45	3,0	10	0/25o
Co	1,4	25	1,4	29	1,5	17	
Sn	2,2	23	2,3	19	1,9	24	
Mn	138	50	123	64	168	13	
Zn	726	133	125	52	1 327	81	
Fe	6 964	90	6 964	90			

Tabel 40
Det gennemsnitlige tungmetalindhold (ppm i tørstof) i den færdige kompost. Standardafvigelsen er angivet i % af gennemsnit.
x: 80 ppm gælder anvendelse i private haver
o: 25 ppm gælder anvendelse i private haver
▲: der er lavet 7 analyser for bly og 4 analyser for de øvrige metaller.

8.3.3 Diskussion

samtlige resultater

Som det ses af tabel 40 overholdes Miljøstyrelsens grænseværdier for indhold af bly, cadmium, kviksølv og nikkel, når der vel at mærke ses på gennemsnittet af samtlige analyser, dvs. kompost, der er fra 10 til 52 uger gammel. Det gennemsnitlige indhold af kviksølv og nikkel ligger langt under grænseværdierne. Det gennemsnitlige indhold af bly og cadmium ligger noget under de fastsatte grænseværdier.

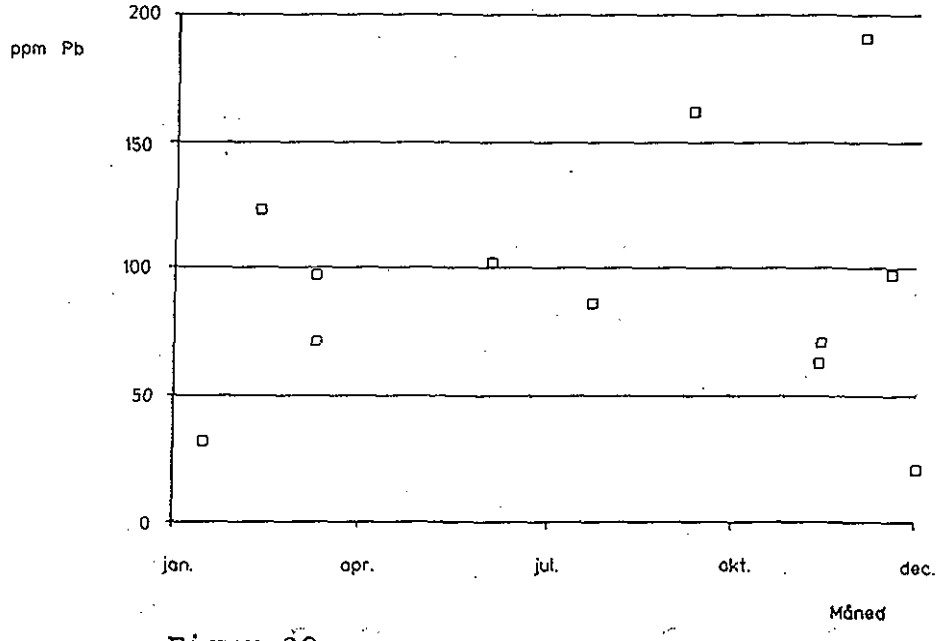
Standardafvigelsen mellem de forskellige prøver samt standardafvigelsen i % af gennemsnit er beregnet, og sidstnævnte er angivet i tabel 40. Standardafvigelsen i % af gennemsnit er høj for indholdet af samtlige tungmetaller. Der er altså en stor spredning over tid.

Ligeledes er standardafvigelsen i % af gennemsnit beregnet indenfor hver prøveudtagning (6-8 analyser) med hensyn til bly-indhold. Den gennemsnitlige standardafvigelse i % af gennemsnit var 14. Der er altså en lille spredning inden for den enkelte prøve.

Dette tyder på, at selve kompostproduktet er heterogent fra måned til måned. Endvidere tyder spredningerne på, at de udtagne prøver har repræsenteret kompostproduktet på det givne tidspunkt godt.

årstidsvariation

Heterogeniteten i kompost-produktet har ikke karakter af en decideret årstidsvariation. Blyindholdet som funktion af årstiden er afbildet i figur 39. Årstidsangivelsen gælder det tidspunkt, affaldet er indsamlet.



Figur 39
Blyindhold (i ppm i tørstof) som funktion af årstiden, 1989-90. Årstidsangivelsen gælder det tidspunkt, affaldet er indsamlet.

Som det ses, er der ikke nogen tydelig tendens til årstidsvariation i blyindholdet. Dog ses et fald i vintermånederne december og januar.

haveaffald

Det skal bemærkes, at de to højeste værdier for blyindholdet er fundet, hvor det grønne affald blev iblandet haveaffald. Der er tre mulige forklaringer på det høje indhold ved iblanding af haveaffald:

1. Haveaffaldet indeholder simpelthen meget mere tungmetal (her bly) end det øvrige affald
2. Tilsætningen af haveaffald har haft så gunstig en indflydelse på omsætningen, i retning af at øge denne, at der er sket en kraftig koncentrering af tungmetallerne. Dette understøttes af, at indholdet af organisk stof er ca. 33% lavere i disse to prøver end i de øvrige prøver.

3. Endelig er det muligt, at det kildesorterede grønne affald tilfældigvis i disse perioder med iblanding af haveaffald har været specielt dårligt sorteret (ved kilden) og derfor har indeholdt mere tungmetal.

sorteringsgrad

Det må formodes, at lysten, evnen og entusiasmen med hensyn til kildesortering hos den enkelte affalds-producent er dalende med tiden. Med mindre han/hun hele tiden holdes til ilden med informationsmateriale, vejledninger og opfordringer til at fortsætte. Det høje tungmetalindhold i slutningen af forsøgsperioden i De grønne Huse kan skyldes, at sorteringsgraden efterhånden er blevet lav. Dette kan skyldes, at det er længe siden, der sidst er uddelt informationsmateriale, vejledninger eller opfordringer. Dette kan dog ikke spores i sigterestens sammensætning eller størrelse. Sigteresten har udgjort ca. 30% af den indlastede affaldsmængde gennem hele forsøgsperioden. Kun 4. forsøgsrunde (opholdstid) adskiller sig væsentligt fra gennemsnittet ved at være ca. 6% lavere. Dette kan skyldes, at en større del af det materiale, der plejer at havne i sigteresten, f.eks. papir og pap, her bliver omsat.

grovsortering

Endvidere skal det nævnes, at der især i starten af forsøgsperioden skete en "grovsortering" af det affald, der blev komposteret i De grønne Huse. Da De grønne Huse ikke havde kapacitet til at behandle alt det indsamlede affald forsøgte man, at bruge det affald først, som man erfaringsmæssigt vidste, var sorteret bedst.

Dette kan være medvirkende årsag til det forholdsvis lave tungmetalindhold i starten af forsøgsperioden.

yngre end 20 uger

Der er analyseret 5 prøver af kompost yngre end 20 uger. Som det ses af tabel 40, overholder den grønne kompost, der er yngre end 20 uger, Miljøstyrelsens grænseværdier for indhold af tungmetaller. Alle værdier ligger langt under de fastsatte grænseværdier. Til gengæld ses det af de beregnede standardafvigelser, at indholdet af tungmetaller varierer meget fra prøve til prøve. Standardafvigelsen i procent af gennemsnit ligger for næsten alle analyser over 20. Kompostproduktet er altså med hensyn til tungmetalindhold, set over tid, temmelig heterogent, sålænge det ikke er modnet længere end 20 uger.

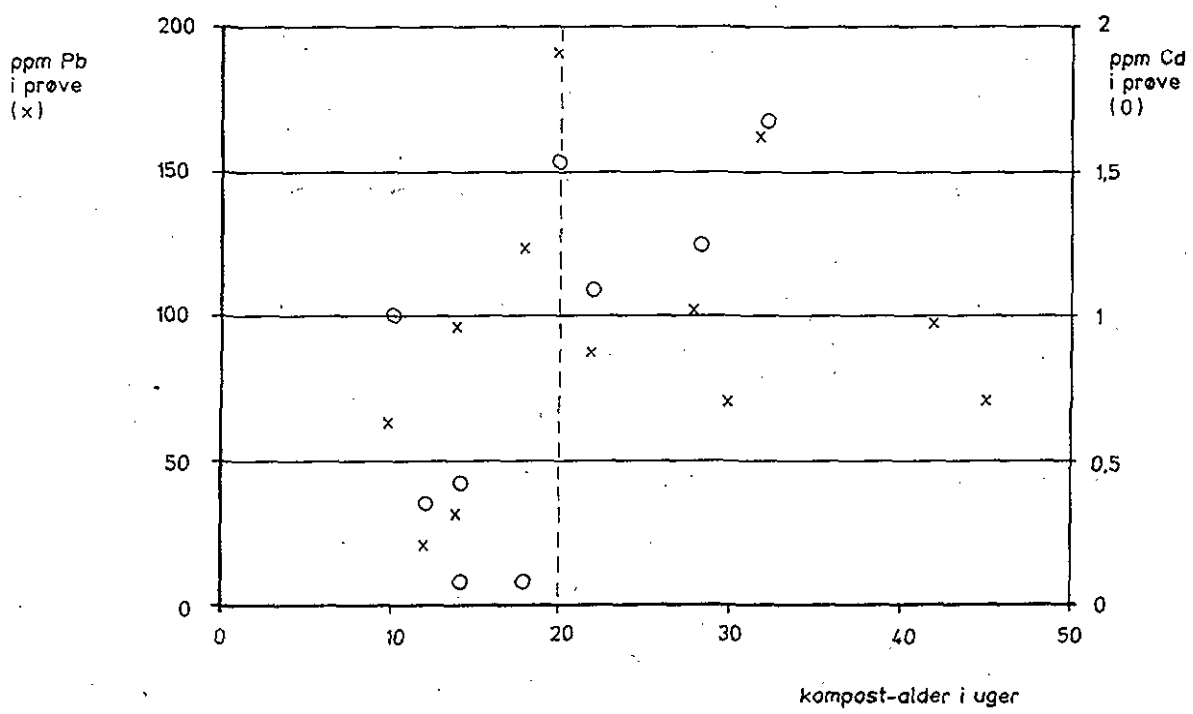
ældre end 20 uger

Der er lavet bly-analyser på 7 prøver, og analyser for de øvrige tungmetaller på 4 prøver af

kompost, der er ældre end 20 uger. Denne kompost kan ikke overholde Miljøstyrelsens grænseværdi for indhold af cadmium. Indholdet af de øvrige tungmetaller overholder de fastsatte grænseværdier. Indholdet af cadmium ligger ca. 16% over den fastsatte grænseværdi på 1,2 ppm i tørstof.

Det ses af de beregnede standardafvigelser, at indholdet af tungmetaller er forholdsvist stabilt for de udtagne prøver. Standardafvigelsen i procent af gennemsnit ligger kun i få tilfælde over 20. Kompostproduktet er altså med hensyn til tungmetaller langt mere stabilt, når det er modnet længere end 20 uger.

I figur 40 er bly- og cadmiumindholdet afbildet som funktion af kompostens alder på prøvetagningstidspunktet. Selvom der kun er lavet 12 prøveudtagninger og analyser af bly og 9 prøveudtagninger og analyser af cadmium, ses en tydelig tendens til større stabilitet efter 20 ugers modning.



Figur 40
Bly- og cadmiumindholdet i den færdige kompost som funktion af kompostens alder.
x = bly. o = cadmium.

samlet

De store forskelle, der ses i tungmetalindholdet fra måned til måned, kan forklares ved:

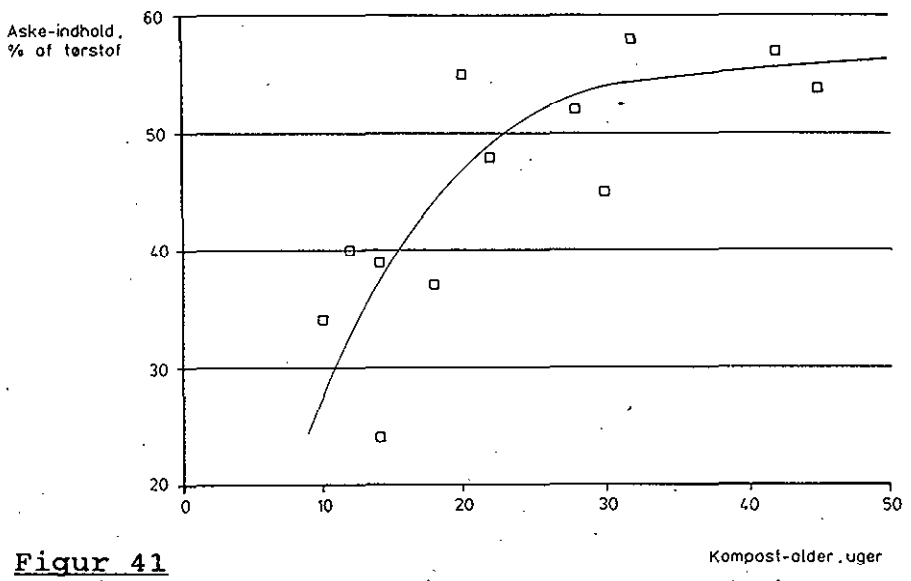
1) affaldets sammensætning (sorteringsgrad og årstidsvariation)
2) modningstid (omsætning af organisk stof)
3) tilsætning af haveaffald
4) sammenfald af 1-3

Ad 1: Affaldets sammensætning, det vil sige sorteringsgraden og årstidsvariationen i affaldet, er uden tvivl den faktor, der påvirker tungmetalindholdet i komposten mest.

Det er ikke ud fra de foretagne analyser muligt at pege på typiske årstidsvariationer. Dog tyder det på, at indholdet af tungmetaller er lavere i dec./jan. end resten af året.

Ad 2: Efterhånden som komposten modnes, omsættes mere og mere organisk stof. Det vil sige, at der reelt sker en koncentrering af de uomsættelige dele i komposten, bl.a. tungmetallerne. Denne koncentrering kan ses i figur 40. Her er det gennemsnitlige indhold af bly i komposten afbildet som funktion af kompostens alder. Det gennemsnitlige blyindhold er på 67 ppm i kompost, der er yngre end 20 uger, og 112 ppm i kompost, der er ældre end 20 uger.

Når komposten modnes, og der omsættes mere og mere organisk stof, stiger det procentvise indhold af aske. Dette er fremstillet grafisk i figur 41.

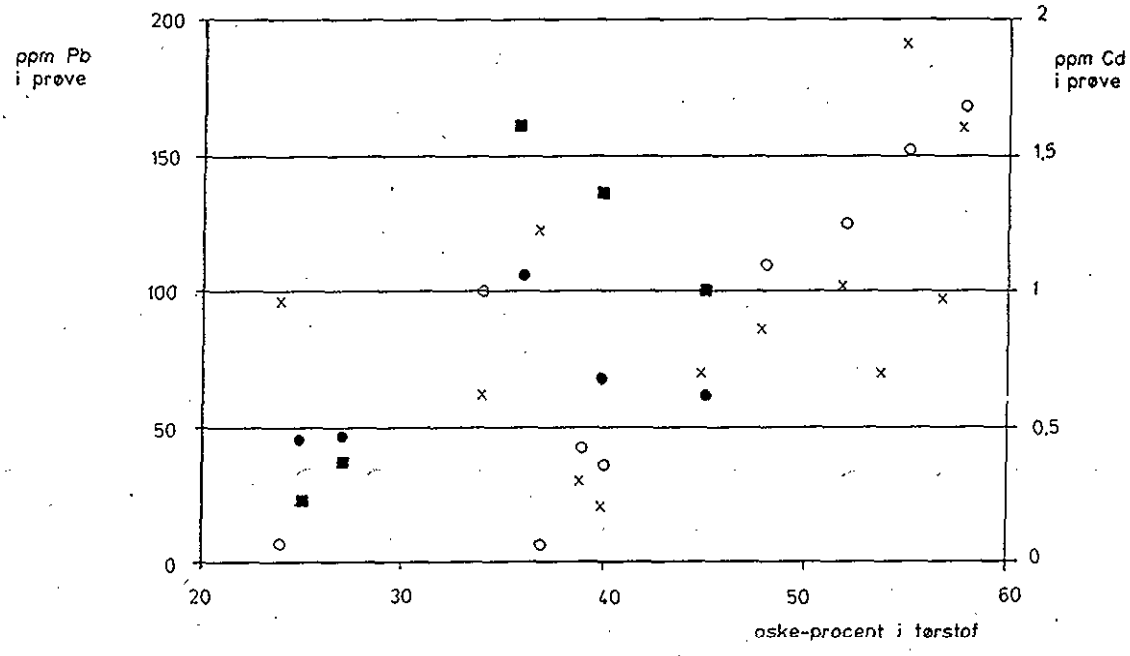


Figur 41
Askeindhold som funktion af alder. Askeindholdet er udtrykt i procent af tørstof. Samtlige analyser er her medtaget.

I figur 42 er bly- og cadmiumindholdet afbildet som funktion af askeindholdet. For cadmiumindholdet ses en tydelig sammenhæng. For blyindholdet ses en tendens til sammenhæng.

tromlekompost

Endvidere er i figur 42 medtaget resultatet fra analyser på grøn kompost fra tromleanlægget. Prøverne er udtaget 1987 på kompost, der var 0-30 uger gammel. Det gældet for såvel tromlekompost som for tunnelkompost, at askeindholdet stiger med alderen. Det ses i figuren, at tungmetalindholdet som funktion af kompostens askeindhold ligger på samme niveau for de to typer kompost. Det tyder således ikke på, at der er sket stigning i tungmetalindholdet siden 1987.



Figur 42
Bly- og cadmium-indholdet som funktion af kompostens askeindhold. x = bly i tunnelkompost. o = cadmium i tunnelkompost. ■ = bly i tromlekompost. ● = cadmium i tromlekompost.

Ad 3: Tilsætningen af haveaffald til det kildesorterede grønne affald synes umiddelbart at have en tydelig indvirkning på indholdet af tungmetal i den færdige kompost. Det er tidligere erfaret, bl.a. i Gentofte, at haveaffald kan have et højt tungmetalindhold. Dette skyldes formodentlig, at haveaffaldet er kommet fra by-områder med meget trafik. Tungmetalindholdet kan stamme fra bilernes forbrænding af benzin eller fra den "almindelige by-forurening" (ophvirvling af støv, vejarbejde m.m.). Tungmetallerne formodes at sidde på overfladen af især

blade og græs. Det er dog usandsynligt at det øgede tungmetalindhold i komposten, der var tilsat haveaffald, udelukkende stammer fra haveaffaldet.

Det haveaffald, der blev anvendt i 3. og 6. forsøgsrunde, kom fra Fredrikssund Kommune fra de kommunale containerpladser, dvs. fra private haver. Haveaffaldet skulle altså ikke være så tungtbelastet mht. bly, som hvis det kom fra stadsgartneren og kunne stamme fra vejrabatter m.m.

8.3.4 Konklusion

Der ses af de gennemførte analyser at være et temmelig svingende tungmetalindhold i den grønne kompost.

Det svingende indhold kan have mange forklaringer bl.a.:

1) affaldets sammensætning (sorteringsgrad og årstidsvariation)
2) modningstid (omsætning af organisk materiale)
3) tilsætning af haveaffald

Det svingende indhold kan ikke forklares ud fra én af ovennævnte faktorer alene.

Sorteringsgraden synes udfra den gennemførte diskussion at være den mest bestemmende faktor for tungmetalindholdet i den færdige kompost.

Endvidere kan den omtalte "grovsortering, der fandt sted i starten af forsøgene, have bevirket, at der senere i forsøgsperioden ses et stigende indhold af tungmetaller i komposten.

8.4 Modenshedsanalyser

Der er ved hjælp af spireforsøg gennemført to modenhedsanalyser med råkompost og færdig kompost fra De grønne Huse.

8.4.1 Formål og forsøgsbeskrivelse

formål

Modenhedsanalyserne blev gennemført for at fastlægge den alder, komposten skal have for at kunne betegnes som "moden".

definition

Moden vil i denne sammenhæng sige ikke-toksisk overfor spirende karsefrø.

Spiringsforsøg og glødetabsbestemmelser er ifølge Wille (1988) de mest anvendelige metoder til fastlæggelse af en komposts modenhed. I Willes undersøgelse indgik glødetabsbestemmelse, spiringsforsøg, respirationsmåling og papir-chromatografisk måling.

Det skal således pointeres, at den gennemførte modenhedsanalyse er et del-element i en samlet vurdering af kompostens modenhed. Spireforsøgene tester kompostens indvirkning på spiring og vækst. I modenhedsbegrebet indgår også andre faktorer som f.eks. stabilitet mht. temperatur og tørstof.

beskrivelse

Der anvendtes i hvert forsøg kompost i 6 forskellige aldre.

nummerering

Nummereringen af prøverne svarer til den uge, hvor råkomposten er forkomposteret i De grønne Huse, dvs. efter én uges tunnelkompostering.

Der blev lavet forsøg både med råkompost (ned til 2 uger gammel) og med færdig kompost (op til 35 uger gammel).

kompost

Komposten fra uge 2, 12, 18 og 22 er færdig kompost fra lager. Komposten fra uge 26, 29, 33, 36 og 38 er råkompost, der lå i eftermodningsmiler.

karse-frø

I modenhedsforsøgene anvendtes karse, Lepidium Sativum.

Der blev gennemført 2 spiringsforsøg.

Analysemetoder og beregning af germinationsindex fremgår af bilag 9.

øvrige målinger

Ud over spiringsantal og spirelængde blev der målt på

- vækstmediets pH
- vækstmediets ledningsevne
- vækstmediets nitratindhold
- vækstmediets ammoniumindhold
- vækstmediets calciumindhold
- temperatur under spiring
- kompostens tørstofindhold
- kompostens indhold af organisk tørstof

Der blev målt på disse parametre for evt. at

finde frem til en endnu lettere metode end spiringstesten, at teste modenhed på.

8.4.2 Resultater

Resultaterne af modenhedsanalyserne fremgår af tabel 41 og 42.

	spireprocent gns.	spirelængde gns.	germinationsindex gns.	germinationsindex spredning % af gns.	pH
kontrol	100	18,0	100	0	6,8
uge 2	97	14,7	79	7	7,0
uge 12	98	12,8	70	6	8,5
uge 18	100	14,0	78	6	8,5
uge 22	99	9,8	54	7	6,5
uge 29	100	12,8	71	7	7,8
uge 33	100	10,5	58	12	7,2

Tabel 41
Resultater fra 1. spiringsforsøg, gennemført i uge 37.

	spireprocent gns.	spirelængde gns.	germinationsindex gns.	germinationsindex spredning % af gns.	pH
kontrol	100	13,2	100	5	7,0
uge 22	100	10,3	78	5	6,7
uge 26	95	10,6	76	12	6,6
uge 29	97	12,7	93	4	7,7
uge 33	98	12,3	91	6	7,9
uge 36	98	13,1	97	9	7,8
uge 38	96	8,1	59	24	7,0

Tabel 42
Resultater fra 2. spiringsforsøg, gennemført uge 39.

GI

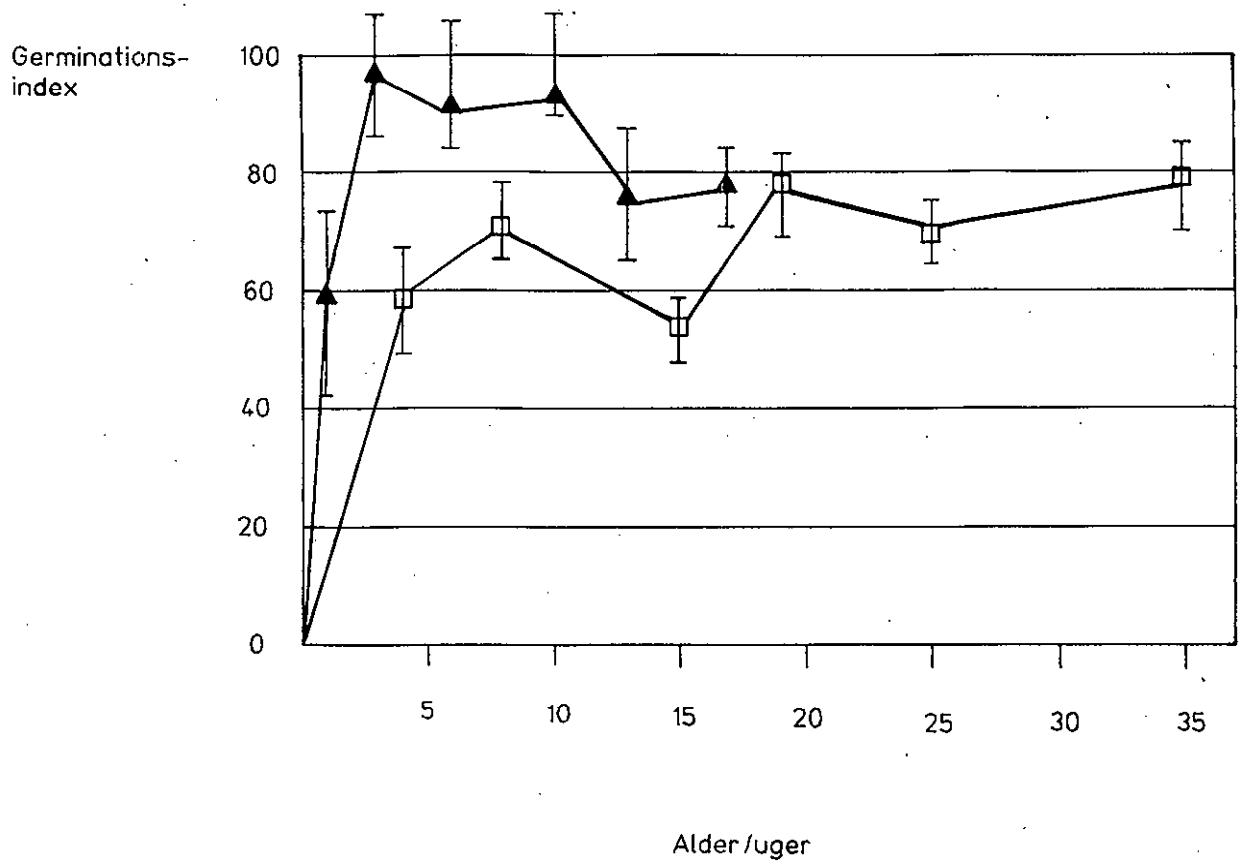
Germinationsindexet er et udtryk for den spirehæmning og den væksthæmning, som spirerne har været udsat for. Spirehæmningen kommer til udtryk ved spireprocenten. Væksthæmningen på spirerne kommer til udtryk i spirelængden.

I første forsøg er anvendt 10 g ts/250 ml vand, dvs. 40 mg ts/ml.

I begge forsøg blev der målt pH og ledningsevne (mS/cm) på vækstmediet. I andet forsøg blev ligeledes målt aktivitet af nitrat, ammonium og calcium. Resultatet af disse målinger fremgår af tabel 43.

kompostalder i uger	tørstof indhold i %	organisk stof % af ts	pH	ledningsevne mS/cm	aktivitet i mikromol/l. nitrat	ammonium	calcium
35	58	-	7,0	2,05	-	-	-
25	70	-	8,5	1,98	-	-	-
19	75	-	8,5	1,84	-	-	-
17	69	57	6,7	1,24	1023	4364	298
15	60	-	6,5	2,45	-	-	-
13	53	68	6,6	1,58	726	6606	553
10	67	62	7,7	1,27	1204	4750	67
8	82	-	7,8	1,79	-	-	-
6	78	65	7,9	0,98	1144	2820	31
4	64	-	7,2	2,17	-	-	-
3	73	68	7,8	1,22	988	4154	68
1	44	66	7,0	1,44	318	5218	681
Kontrol	-	-	6,9	0,03	-	-	-

Tabel 43
Resultater af kemiske analyser på vækstmedie, spiringsforsøg 1 og 2.



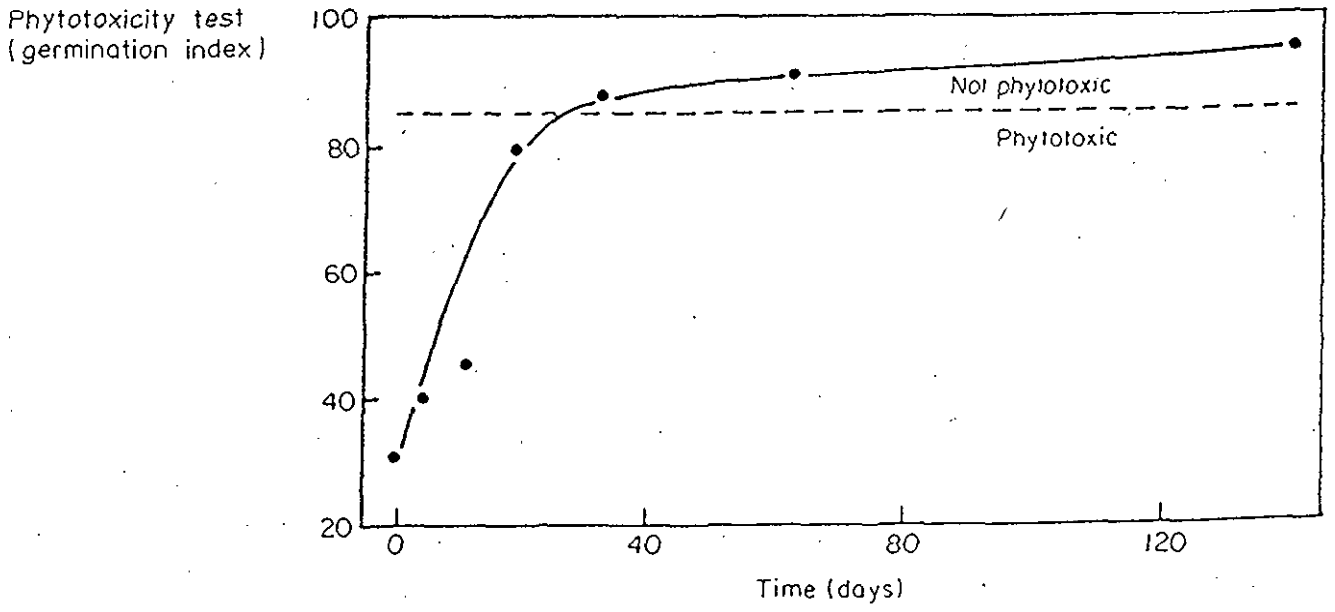
Figur 43
Germinationsindex for karsefrø i ekstrakt af AFAV-kompost.
□ : 40 mg/ml
▲ : 20 mg/ml

8.4.3 Diskussion og konklusion

Der var i begge forsøg meget lav spirehæmning for alle komposttyper, hvilket er lidt overraskende og yderst tilfredsstillende. Til gengæld ses en væksthæmning for alle komposttyper, værst for komposten fra uge 22 og 33 i 1. forsøg og uge 38 i 2. forsøg.

Ifølge Riffaldi et al (1986), se figur 44, er et vækstmedie ikke-toksisk, når germinationsindexet er over 85.

Zucconi et al (1981) sætter ikke nogen egentlig grænse for, hvornår vækstmediet er toksisk. Dog omtaler artiklen en kompost med et germinationsindex under 50 som værende svært toksisk. Germinationsindex over ca. 60 anses ifølge Zucconi som tilfredsstillende. Endvidere er den anvendte dosis i testen afgørende for resultatet. Zucconi anvender 20 mg ts/ml, som i andet forsøg her.



Figur 44
Germinationsindex for karsefrø, vand/kompost-ekstrakt. Riffaldi et al (1986).

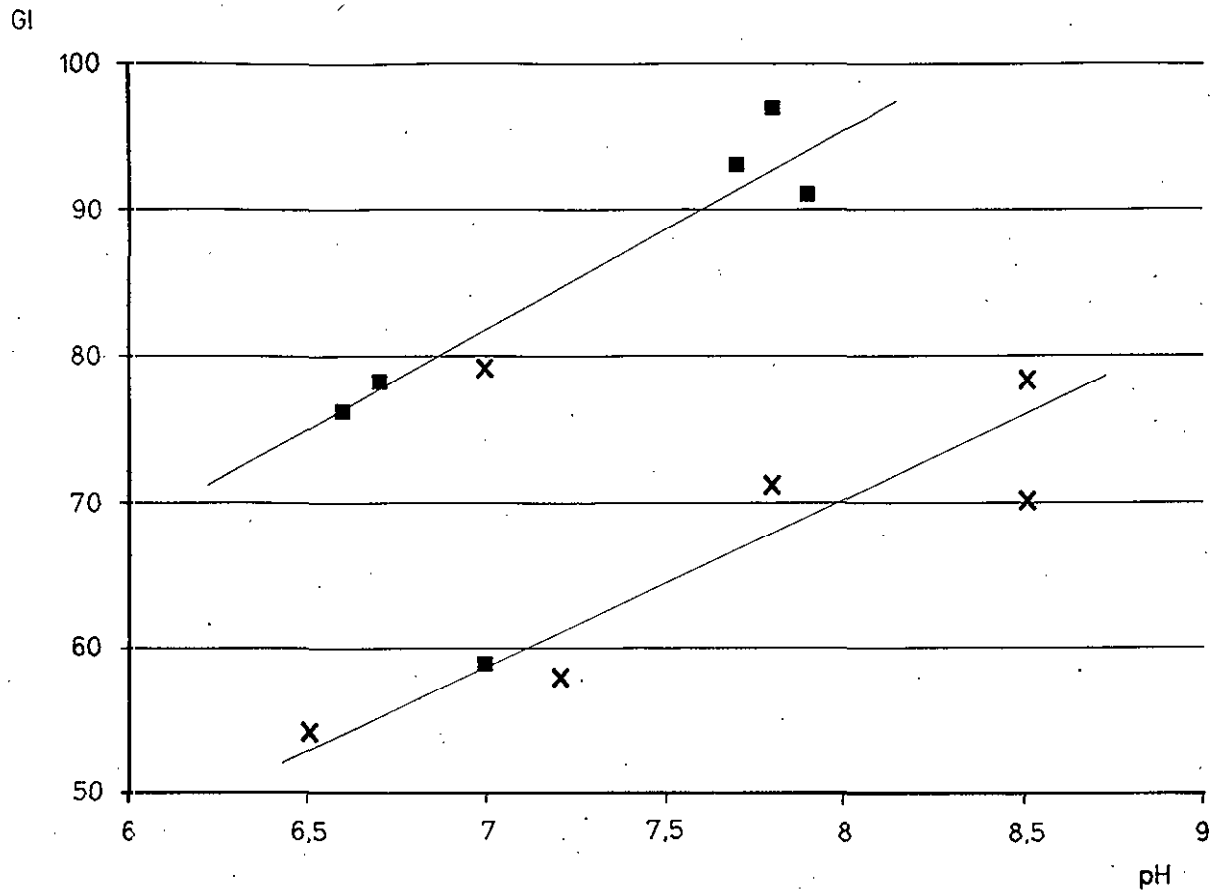
GI

Der ses visse korrelationer mellem de målte parametre og germinationsindexet (GI).

Der er ikke tale om nogen lineær korrelation mellem kompostalder og GI, men den karakteristiske S-formede kurve er genkendelig, se figur 43 og 44.

pH

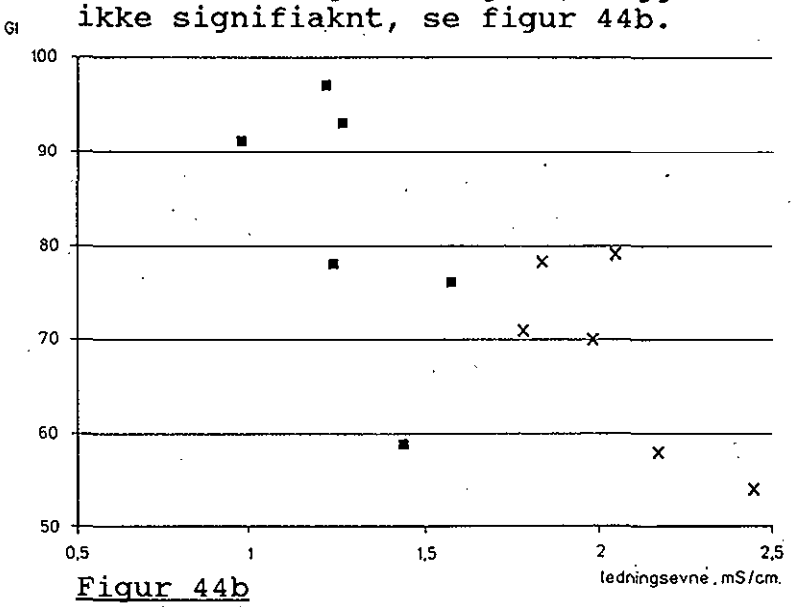
Der ses i begge forsøg at være en ligefrem proportional sammenhæng mellem pH-værdi og germinationsindex, regressionen er dog ikke signifikant, se figur 44a. Ingen af pH-værdierne er iøvrigt kritisk lave. Komposten vil altid blive brugt som tilsætning eller opblandingsmateriale, og under denne opblanding vil pH kunne hæves. pH og GI for kompostaldrene 1, 13 og 17 uger ligger under niveauet for kompostaldrene 3, 6 og 10 uger.



Figur 44a
Germinationsindex (GI) som funktion af pH i modenhedsanalyser.
x = 1. forsøg
■ = 2. forsøg

ledningsevne

Der ses en omvemdt proportional sammenhæng mellem ledningsevne og GI, reggressionen er dog ikke signifiaknt, se figur 44b.



Figur 44b
Germinationsindex (GI) som funktion af ledningsevne, målt i mS/cm. Modningsforsøg 1 og 2.
x = 1. forsøg
■ = 2. forsøg

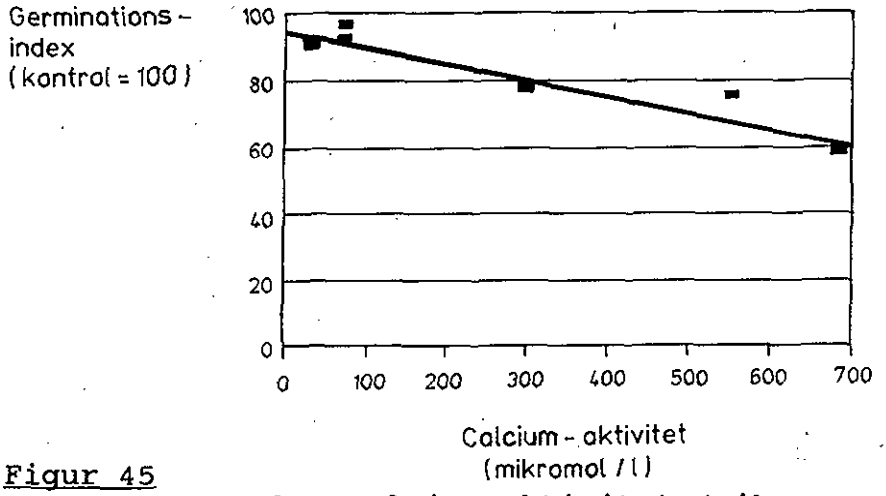
Også disse ledningsevnemålingerne viser tilfredsstillende resultat. Som vejledende grænseværdi bruges 4 mS/cm (Mengel, 1982 og Scheffer, 1984). Tal under denne værdi regnes generelt ikke for at have negativ indflydelse på plantevækst.

ammonium

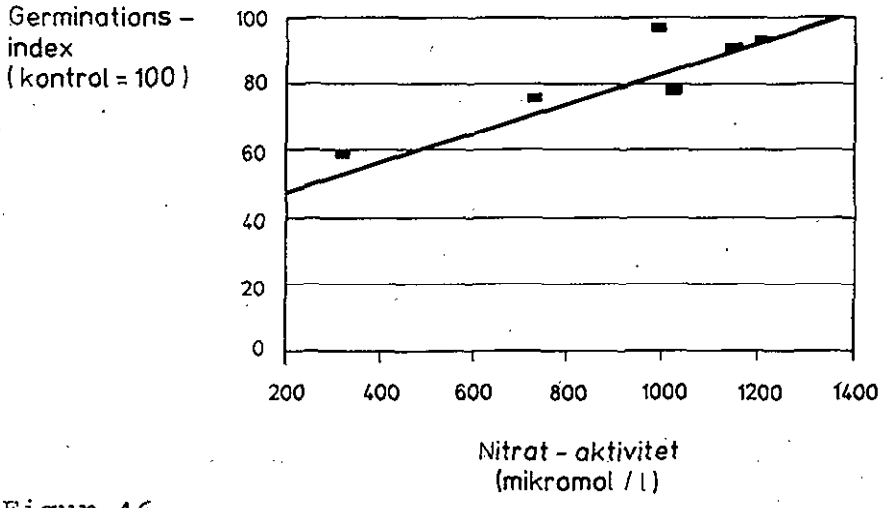
Aktiviteten af ammonium er størst ved kompostalder 1 og 14 uger, omvendt er GI mindst for disse to aldre. Der er ikke lineær sammenhæng mellem GI og ammonium-aktivitet. Se tabel 43.

nitrat og calcium

Derimod synes der at være lineær sammenhæng mellem både nitrat-aktiviteten og GI, og calcium-aktiviteten og GI. Stigende nitrat-aktivitet og faldende calcium-aktivitet medfører øget GI, se figur 45 og 46.



Figur 45
Sammenhæng mellem calcium-aktivitet (mikromol/l) og GI ved spiringstest med AFAV-kompost.



Figur 46
Sammenhæng mellem nitrat-aktivitet (mikromol/l) og GI ved spiringstest med AFAV-kompost.

konklusion

Udfra de gennemførte forsøg og sammenligning med tilsvarende forsøg i litteraturen kan det fastlægges, at selv en helt ny kompost (ca. 4 uger gammel) ikke er svært toksisk (her defineret ved et germinationsindex under 50). Når komposten er ca. 20 uger er germinationsindexet omkring 80, hvilket er yderst tilfredsstillende. Komposten kan således efter 20 uger betegnes som moden. Dette er en længere modningstid end forventet.

8.5 Konklusion

tungmetaller

Udfra resultaterne af de gennemførte tungmetalanalyser ses for det første, at komposten fra De grønne Huse skal være mindst 20 uger for at tungmetalindholdet er stabilt. Hvis ikke tungmetalindholdet er stabilt, giver det ingen mening at lave analyser. For det andet ses, at kompost, der er ældre end 20 uger ikke kan bruges i private haver p.g.a. for højt bly- og cadmiumindhold.

Endvidere ses, at cadmiumindholdet er for stort til, at komposten kan anvendes på landbrugsjord. Indholdet af cadmium er ca. 16% større end den tilladte grænseværdi.

næringsindhold

Hvis cadmiumindholdet kan nedbringes gennem bedre kildesortering, således at komposten kan anvendes på landbrugsjord, viser de gennemførte næringsstofanalyser, at komposten skal doseres efter afgrødens fosfor og kalium behov. De fleste afgrøders P og K behov vil kunne dækkes af komposten. Derefter suppleres med N-gødning.

modenhed

Komposten er ifølge de undersøgte parametre (temperatur, indhold af organisk stof, tungmetaller samt spiretest) moden efter 3½ - 6 måneder. Behovet for en moden kompost er helt afhængig af, hvem der skal bruge komposten. Landbruget er interesseret i et homogent produkt, der lever op til kravene i Bekendtgørelse nr. 736, 26.10.89. Eftermodningstiden bør af hensyn til bestemmelsen af tungmetaller være 20 uger.

De gennemførte spiringstest viste, at selv ikke en helt ny kompost (ca. 4 uger gammel) er svært toksisk (her defineret ved et germinationsindex under 50). Når komposten er ca. 20 uger viser germinationsindexet, at komposten er moden (her defineret ved et germinationsindex over 80).

9. Økonomi

Tunnelkomposteringsanlægget De grønne Huse har været i drift i godt et år. Anlægget har en max. kapacitet på ca. 80 t affald pr. uge, det vil sige ca. 3200 t pr. år.

formål

Et af formålene med opførelsen af De grønne Huse var at producere kvalitetskompost af kildesorteret, grønt husholdningsaffald med lave omkostninger. Omkostningerne skal her sammenlignes med de omkostninger, der ville være ved at behandle affaldet i det eksisterende tromleanlæg.

tromleanlæg

Birger Lund A/S har i samarbejde med AFAV foretaget en vurdering af det eksisterende anlæg til forkompostering, tromleanlægget, herunder vurderet prisen pr. t for behandling af affald. Heraf fremgår det, at det koster ca. kr. 1000, at behandle 1 t grønt affald i tromleanlægget. Dette er incl. udgifter til eftermodning og bidrag til den daglige drift af AFAV.

tunnelanlæg

Prisen for at behandle 1 t affald på AFAV I/S kan opdeles i 3 del-priser:

1) forkompostering (i tunnel eller tromle)
2) eftermodning udendørs
3) daglig drift (ledelse, administration, bygninger, skatter og afgifter, faciliteter m.m.)

Hver af disse 3 del-priser kan opdeles i udgifter til :

a) renter og afskrivning på anlæg og maskiner
b) drift (materialer og lønninger).

2 priser

Der er beregnet 2 priser på behandling af affald i tunnelanlægget.

AFAV's pris:

den pris, det i 1989/90 har kostet AFAV I/S at behandle affaldet. Prisen er beregnet udfra de faktiske omkostninger og er baseret på 1989/90-prisniveau.

Pris ved nyetablering:

den pris, det skønsmæssigt vil koste et lignende affaldsselskab at behandle affald ved etablering af et tilsvarende anlæg helt fra grunden. Prisen er baseret på 1991-prisniveau.

De to priser bliver temmelig forskellige, idet der på AFAV allerede er en række faciliteter som f.eks. et disponibelt og velegnet areal, disponibel arbejdskraft (også til små-reparationer), værksted, kantine, badefaciliteter m.m.

AFAV's pris er beregnet i afsnit 9.1.

Pris ved nyetablering er skønnet og beregnet i afsnit 9.2.

daglig drift

Prisen på "daglig drift" antages i disse beregninger at være ens for de 2 situationer.

I den daglige drift indgår følgende årlige udgifter:

afskrivning på admistrationsbygninger, værksted m.m. samt skatter og afgifter	kr.	1.700.000
drift, bygninger o.a.	kr.	1.145.000
lønninger til ledelse og administrationspersonale	kr.	3.600.000
diverse	kr.	255.000
I alt	kr.	6.700.000

Denne pris skal herefter deles op på de enkelte affaldsfraktioner, der modtages og behandles på AFAV. Det drejer sig om følgende mængder:

grønt affald	4.500 t
sort og rødt affald	25.500 t
I alt	30.000 t

Prisen på "daglig drift" bliver således

6.700.000 kr./30.000 t = 223 kr/t ≈ 225 kr./t

Hertil kommer for det røde og sorte affalds vedkommende en pris på ca. 480 kr./t til forbrænding og/eller deponering (incl. transport).

Rødt og grønt affald er her defineret som kildesorteret h.h.v. uorganisk og organisk affald. Sort affald er defineret som ikke-kildesorteret affald.

9.1 AFAV's pris.

9.1.1 Forkompostering

9.1.1.1. Anlægsudgifter pr. år.

Disse udgifter er opdelt i 3 grupper svarende til anlægsdelenes forventede levetid. Beluftningsanlægget forventes f.eks. at kunne holde ca. 2 år, hvorimod betonkonstruktioner forventes at kunne holde mindst 10 år. Den maximale afskrivningsperiode er sat til 10 år.

Levetid, 10 år	
Kompostvendemaskinen	kr. 1.050.000
Tunnel	kr. 550.000
Haller	kr. 1.400.000
Kompostfilter (incl. ventilation)	kr. 100.000
Betonarbejde	kr. 500.000
Projektering, tilsyn og omkostninger	kr. 700.000
Ialt, at afskrive over 10 år	kr. 4.300.000
Levetid, 5 år	
Ventilation m.m.	kr. 150.000
Ialt, at afskrive over 5 år	kr. 150.000
Levetid, 2 år	
Beluftning m.m.	kr. 150.000
Ialt, at afskrive over 2 år	kr. 150.000

Forrentning samt afskrivning pr. år af anlægsudgifterne kan ved maximal afskrivning over 10 år og ved en rente på 10% beregnes til følgende:

Afskrivninger over 10 år, 10% rente, omkostninger det første år	kr. 860.000
Afskrivninger over 5 år, 10% rente, omkostninger det første år	kr. 45.000

Afskrivninger over 2 år, 10% rente, omkostninger det første år		kr. 90.000
Omkostninger ialt, det første år 995.000 ≈		kr. 1.000.000

9.1.1.2 Driftsomkostninger pr. år:

2 medarbejdere á kr. 200.000		kr. 400.000
Strøm, olie og sliddele til kompostvendemaskinen og andre maskiner	≈	kr. 15.000
Diverse vedligeholdelse på kompostvendemaskinen		kr. 15.000
Forbrug af arbejdskraft udefra samt div. vedligeholdelsesudgifter		kr. 75.000
Ialt		kr. 505.000

9.1.1.3 Pris pr. t i alt

Samlede omkostninger pr. år: kr. 1.000.000 + kr. 505.000 =		kr. 1.505.000
	≈	kr. 1.500.000

Produktion:

16 t affald pr. dag
(5 dage om ugen) ..... 80 t/uge
50 arbejdsuger pr. år ..... 4000 t/år

Anlægget er dimensioneret til at køre ca. 50 uger om året. I praksis har anlægget p.g.a. indkøringsvanskeligheder m.m. kun kørt ca. 40 uger i 1990. Herved bliver den behandlede mængde ved

40 arbejdsuger pr. år..... 3200 t/år

Pris pr. ton behandlet affald:
(anlægsudgifter + driftsomkostninger)

1.500.000/3.200 = 469 kr./t

De samlede omkostninger for forkompostering i det nuværende tunnelanlæg er altså ca. 470 kr./t.

9.1.1.4 Forventet pris efter kapacitetsudvidelse

Dele af det nuværende komposteringsanlæg er som nævnt kun dimensioneret til at holde forsøgsperioden ud, d.v.s. ca. 2 år. Ved overgang til permanent drift med anlægget må det anbefales, at foretage et andet materialevalg af især ventilations- og beluftningsdelene.

udvidelse

Ved overgang til permanent drift vil vi endvidere foreslå en udvidelse af anlæggets kapacitet. Denne udvidelse kan ske ved en mindre ombygning af kompostvendemaskinen, således at der indlastes 15 - 20% større mængde end i øjeblikket, d.v.s. ca. 20 t pr. dag eller ialt ca. 100 t pr. uge. Denne kapacitetsudvidelse, skønner vi, vil kunne gennemføres for en merudgift på ca. kr. 500.000. Det vil medføre øgede udgifter til forrentning og afskrivning på ca. 100.000 kr./år.

permanent drift

Ved overgang til permanent drift kan driftsomkostningerne i forbindelse med bemanding af anlægget skæres ned fra 2 til 1-1½ medarbejdere. Denne nedskæring kan ske, da medarbejderne ikke længere skal forestå systematiske temperaturmålinger, prøveudtagninger, vejning af alt materiale m.m. Nedskæringen vil betyde en besparelse på ca. 50.000 kr./år.

Udgiften til udvidelse af anlægskapaciteten og besparelsen af 1/2 medarbejder medfører samlet en øget årlig udgift på ca. 50.000 kr.

Produktion (efter kapacitetsudvidelse):

20 t affald pr. dag
(5 dage om ugen) ..... 100 t/uge
40 arbejdsuger pr. år incl. evt.
driftsstop på grund af reparationer og lign. ..... 4000 t/år

Pris pr. ton behandlet affald
(efter kapacitetsudvidelse):

1.550.000/4000 ≈ 390 kr./t.

9.1.2 Eftermodning

9.1.2.1 Anlægsudgifter

Der er ikke i AFAV's pris regnet med anlægsudgifter til eftermodningsplads. AFAV har etableret en stor eftermodningsplads, der har ledig kapacitet til den nuværende produktion i De grønne Huse. Ligeledes er der ledig kapacitet, når det gælder vendemaskine, læssemaskine og sigte.

9.1.2.2 Driftsomkostninger

1/2 medarbejder til modningspladsen	kr.	100.000
Vedligeholdelse af modningspladsen.....	kr.	25.000
Vedligeholdelse af vendemaskine	kr.	30.000
Vedligeholdelse af læssemaskinen bl.a. filtre ...	kr.	20.000
Bortskaffelse af sigterest:		
1070 t, transport og forbrænding 480 kr./t	kr.	515.000
analyser, kontrol m.m.	kr.	35.000
driftsomkostninger ialt	kr.	725.000

9.1.2.3 Pris pr. t i alt

Samlede omkostninger ..... kr. 725.000

Ved en behandlingsmængde på 3200 t affald pr. år, bliver udgiften pr. t behandlet affald ca. kr. 230.

9.1.2.4 Forventet pris efter kapacitetsudvidelse

udvidet kapacitet

En udvidet produktion i De grønne Huse vil ikke kræve øgede anlæg eller udvidelser i driften af eftermodningspladsen. Dog vil sigteresten blive lidt større, og vedligeholdelsesudgifterne til maskinerne vil skulle øges med ca. 25%. Prisen pr. behandlet ton bliver derfor her kun lidt mindre.

Udgiften pr. ton behandlet affald ved udvidet kapacitet i De grønne Huse, f.eks 4000 t affald/år, bliver
880.000/4.000 = kr. 220

9.1.3 Samlet pris (forkompostering + eftermodning)

Den samlede pris for behandling af affald (forkompostering og eftermodning) i De grønne Huse, ved behandling af 3200 t/år bliver

470 kr./t + 230 kr./t .....≈ kr. 700 pr. t

Efter en eventuel kapacitetsudvidelse til f.eks. 4000 t/år bliver pris 1

390 kr./t + 220 kr./t ..... kr. 610 pr. t

samlet pris

Hertil kommer prisen på daglig drift på ca. 225 kr./t.

Den samlede pris 1 for forkompostering, eftermodning og daglig drift bliver således ved

3200 t/år ..... 925 kr./t

4000 t/år .....≈ 835 kr./t

9.2 Pris ved nyetablering

9.2.1 Forkompostering

9.2.1.1. Anlægsudgifter Ved etablering af et nyt forkomposteringsanlæg efter samme princip som De grønne Huse, bør ma-terialerne vælges således, at hele anlæggets levetid bliver mindst 10 år. Herved fås højere anlægsudgifter, men tilsvarende lavere vedligeholdelsesomkostninger. Forrentning og afskrivning er ved etablering af et nyt anlæg beregnet anderledes end ved beregning af AFAV's pris, hvor omkostningerne blev forudsat ens alle årene, idet faldet i afskrivninger og renter blev modsvaret af stigning i vedligeholdelsesomkostninger. Ved beregningerne for et nyetableret anlæg er der regnet efter annuitetsprincip, således at summen af afskrivning og renter er ens over 10 år. Med en rente på 10% p.a. giver det en gennemsnitlig betaling på 15,5% p.a. Til gengæld er

vedligeholdelsesomkostningerne (under driftsomkostninger) her forhøjet lidt.

Prisstigningen fra 1989 til 1991 er sat til ca. 8%.

Grundareal		kr. 1.000.000
Kompostvendemaskine		kr. 1.200.000
Tunnel		kr. 600.000
Haller		kr. 1.500.000
Kompostfilter (incl. ventilation)		kr. 110.000
Betonarbejde		kr. 540.000
Ventilation m.m.		kr. 135.000
Beluftning m.m.		kr. 625.000
Projektering, tilsyn og omkostninger		kr. 1.100.000
Ialt,der afskrives over 10 år		kr. 6.810.000
Afskrivninger og renter over 10 år, 10% rente = gennemsnitlig 15,5 % p.a.	=	kr. 1.056.000
Omkostninger ialt, pr. år	≈	kr. 1.060.000

På næste generation af kompostvendemaskinen indbygges en kost og evt. et vandspulingssystem til rengøring af grubearealet i tunnelen under maskinens gennemkørsel.

Beluftningssystemet tænkes udført i plastrør i stedet for de nuværende galvaniserede stålrør. Dette skønnes at øge anlægsudgifterne til det 3-5 dobbelte.

9.2.1.2 Driftsomkostninger

1½ medarbejdere á kr. 215.000		kr. 322.500
Strøm, olie og sliddele til kompostvendemaskinen og andre maskiner	≈	kr. 20.000
Diverse vedligeholdelse på kompostvendemaskinen		kr. 20.000
Forbrug af arbejdskraft udefra samt div. vedligeholdelsesudgifter		kr. 90.000
Ialt		kr. 452.500
	≈	kr. 455.000

9.2.1.3 Pris pr. t i alt

Samlede omkostninger
kr. 1.060.000 + kr. 455.000= kr. 1.515.000

Produktion:
Ved etablering af et permanent anlæg vil kapaciteten være udvidet fra 80 t pr. uge til ca. 100 t pr. uge. Endvidere må det formodes på næste generation af anlægget, at driftsstop pga. reparationer samt manglende affald er minimeret, således at den effektive driftstid kan sættes til 50 uger pr. år.

20 t affald pr. dag
(5 dage om ugen) ..... 100 t/uge

50 arbejdsuger pr. år ..... 5.000 t/år

Pris pr. ton behandlet affald:
(anlægsudgifter + driftsomkostninger)

1.515.000/5.000 = 303 kr./t

De samlede behandlingsomkostninger ved behandling af 5000 t/år bliver ca. 300 kr./t.

9.2.2 Eftermodning

9.2.2.1 Anlægsudgifter

Afskrivningsperioden for eftermodningspladsen er sat til 20 år. Afskrivningsperioden for maskiner er sat til 10 år. Ved en rente på 10% p.a. fås:

Modnings- og lagerplads, 5000 m² á 500 kr/m²	kr. 2.500.000
Vendemaskine	kr. 1.500.000
Læssemaskine	kr. 250.000
Sigte	kr. 200.000
Udgifter pr. år i alt	kr. 4.450.000

Afskrivninger over 10 år med 10% rente = en gennemsnitlig betaling p.a. = 15,5% ≈ kr. 690.000

9.2.2.2 Driftsomkostninger

1/2 medarbejder til modningspladsen	kr.	110.000
Vedligeholdelse af modningspladsen.....	kr.	30.000
Vedligeholdelse af vendemaskine	kr.	35.000
Vedligeholdelse af læssemaskinen bl.a. filtre ..	kr.	25.000
Bortskaffelse af sigterest:		
1700 t, transport og forbrænding 480 kr/t	kr.	815.000
analyser, kontrol m.m.	kr.	35.000
Driftsomkostninger ialt	kr.	1.050.000

9.2.2.3 Pris pr. t i alt Ved en behandlingsmængde på 5000 t affald pr. år, bliver udgiften pr. t behandlet affald

690.000 + 1.050.000/5.000 ≈ kr. 350

9.2.3 Samlet pris (forkompostering samt eftermodning)

Ved behandling af 5000 t/år bliver den samlede pris for behandling af affald i et nyetableret anlæg

300 kr./t + 350 kr./t ..... kr. 650 pr. t

Hertil kommer prisen på daglig drift på ca. 225 kr./t.

samlet pris

Den samlede pris for forkompostering, eftermodning og daglig drift i et nyetableret anlæg bliver således ved

5000 t/år ..... kr. 875 pr.t

10. Afsætning af komposten

10.1 Kompostkvalitet og myndighedskrav

10.1.1 Næringsindhold

deklaration

På baggrund af de gennemførte næringsstofanalyser er der udarbejdet en deklaration for komposten fra De grønne Huse. Deklarationen ses i afsnit 8.2.2.

Komposten er, sammenlignet med andre kompostprodukter (fra haveaffald), forholdsvis næringsrig. Komposten bør doseres efter afgrødens fosfor og kaliumbehov, derefter suppleres med kvælstofgødning.

10.1.2 Tungmetalindhold

bly

De gennemførte tungmetalanalyser har vist, at komposten fra De grønne Huse ikke kan anvendes i private haver pga. for højt blyindhold. Endvidere har analyserne vist et forholdsvis højt cadmiumindhold. Indholdet af cadmium er ca. 16% højere end den tilladte grænseværdi.

Der er dog håb om, at både cadmium og blyindholdet kan nedbringes gennem bedre kildesortering af affaldet. Det skønnes, at i hvert fald cadmiumindholdet kan bringes ned under den tilladte grænseværdi på 1,2 ppm i tørstof. Det er mere usikkert, om blyindholdet kan bringes helt ned under 80 ppm i tørstof, der er grænseværdien for, at komposten kan anvendes i private haver.

cadmium

Når cadmiumindholdet er bragt ned under 1,2 ppm kan komposten fra De grønne Huse anvendes på landbrugsjord i en mængde på 10 t tørstof pr. ha pr. år (beregnet som gennemsnit over 10 år). Endvidere kan komposten anvendes på park- og skovarealer, hvor der ikke dyrkes afgrøder, der er beregnet til at fortære. Den kan udbringes i en mængde på 20 t tørstof pr. ha pr. år (beregnet som gennemsnit over 10 år).

10.1.3 Markeder

Når tungmetalindholdet er bragt ned under grænseværdierne i Bekendtgørelse nr. 736, 26.10.89,

kan komposten afsættes til landbrug, skovbrug og parkarealer.

økologisk landbrug

Indenfor landbruget er komposten især interessant for økologiske avlere, fordi især det økologiske jordbrug er opmærksom på manglen på organiske gødninger.

I AFAV-området er der ca. 12 økologiske landbrug, der dækker et areal på ca. 360 ha (pers. medd. 1991).

AFAV producerede i 1990 ca. 350 t kompost fra De grønne Huse med et tørstofindhold på 55-60%. Det vil sige 190-210 t tørstof.

Ifølge Bekendtgørelse nr. 736, 26.10.89, § 14 stk. 3, må der maximalt tilføres jorden 10 t tørstof pr. ha pr. år med affaldsprodukter. Mængden beregnes som et gennemsnit over 10 år. Det påhviler AFAV ved levering af kompost at give kommunalbestyrelsen i brugerens kommune skriftlig meddelelse om den leverede mængde. Herefter er det op til den enkelte kommune at kontrollere anmeldelsen inden for det enkelte landbrug, d.v.s tildelingen pr. ha.

Ved en dosering på 10 t tørstof pr. ha pr. år vil AFAVs nuværende kompostproduktion altså kræve ca. 20 ha eller ca. 6% af det potentielle økologiske jordbrugsareal. Dertil kommer potentielle skov- og parkarealer samt ordinære jordbrug.

Der skulle således være rigelige muligheder for afsætning af komposten fra De grønne Huse i umiddelbar nærhed af AFAV.

10.2 Afsætning indtil nu

10.2.1 Mængder og afsætning

Der blev i 1990 produceret ca. 350 t kompost i De grønne Huse.

Heraf er ca. 60 t afsat til dyrkningsforsøg, der koordineres af Miljøstyrelsen, se arbejdsrapport nr. 13, 1991. Ca. 25 t er som forsøg afsat til He- deland I/S, som har anvendt komposten som slutafdækning og ved beplantning af gamle grusgravsområder og i mindre omfang på et opfyldt lossepladsområde. I 1991 er der yderligere afsat ca. 120 t til 2 økologiske jord-

brug i AFAV-området. AFAV har den resterende mængde (ca. 145 t) liggende på lager.

10.2.2 Tilfredshed med produktet

forsøg

Resultaterne af de dyrkningsforsøg, der gennemføres med bl.a. AFAV-kompost, afrapporteres årligt af Miljøstyrelsen og evt. også af de institutioner, der gennemfører forsøgene. Miljøstyrelsens afrapportering sker gennem arbejdsrapporter med titlen: "Forsøg med "grønne" kompostprodukter i Danmark".

landbrug

Komposten fra AFAV anvendes hos de økologiske jordbrug som supplering til gylle og hestegødningskompost. Der spredes kompost (fra hestegødning eller husholdningsaffald) hvert 3. år med 20 t/ha. Komposten (fra AFAV) doseres efter afgrødens kaliumbehov.

På det ene landbrug er komposten i år blevet anvendt på marker med kartofler. Halvdelen af arealet fik gylle (10 t/ha), og halvdelen fik AFAV-kompost. Der er ingen forskel umiddelbart at se i de to afgrøder. Kompostens gødningsværdi kan altså her sidestilles med den halve mængde gylle.

Det er brugernes indtryk, at der er mindre humus i AFAV-komposten end i hestegødningskomposten. Det ideelle produkt ville være en blanding. Brugeren er utilfreds med indholdet af glasskår og vatpinde.

Det er brugerens erfaring, at AFAV-komposten er nem at arbejde med. Den spredes med kalkspreder, og der har ikke været problemer med tilstopning.

Den adspurgte gårdejer er nervøs over den megen snak om tungmetaller, og overvejer at holde op med at bruge komposten af denne grund, i hvert fald til grønsager. Hvis nye analyser kan dokumentere et lavt indhold af tungmetaller, er han dog interesseret i fortsat at aftage mere AFAV-kompost.

I/S Hedeland

I/S Hedeland har foreløbig brugt komposten på gamle grusgravningsområder og i mindre omfang på et opfyldt lossepladsområde. Komposten er brugt som erstatning for muldjord og sphagnum ved plantning af eg, tjørn, vildrose m.m. Jorden på området består overvejende af ren ler. Komposten er tilsat for at bedre jordstrukturen. I/S Hedeland, der er et fælleskommunalt

selskab, opkøber jord efter grusgravning og lossepladsopfyldning. Formålet er at omdanne områderne til rekreative områder. I/S Hedeland bruger ikke kunstgødning eller pesticider. På linie med dette er man ikke interesseret i tungmetalbelastet kompost.

I/S Hedeland har været tilfreds med komposten. Den har været let at arbejde med og træerne står godt i den. Komposten har indeholdt lidt mere plast og glas end forventet.

På længere sigt vil man på I/S Hedeland bruge komposten på den måde, at den spredes ud over et stort areal og nedpløjes/nedharves som det allerførste i efterbehandlingen. Indtil nu er komposten kun brugt i forbindelse med plantning, dvs. lige omkring træets/buskens rødder.

store portioner

Hvis komposten overholder Miljøstyrelsens grænseværdier, er I/S Hedeland interesseret i at aftage store mængder kompost. På årsbasis kan der anvendes ca. 500 t.

10.3 Afsætning fremover

Ved en fortsat produktion af kompost i De grønne Huse vil der blive produceret ca. 600 t kompost pr. år.

Det er AFAV's holdning til afsætning af komposten, at den skal afsættes i store portioner til få aftagere. Aftagerne skal selv hente komposten eller afholde udgiften til transport af komposten.

På denne måde minimeres AFAVs udgifter både til administration og transport i forbindelse med afsætning af komposten.

modenhed

Landbrug, skovbrug og aftagere som Hedeland stiller ikke store krav til kompostens modenhed, men kræver kun kendskab til næringsstofindhold, og til, om komposten overholder Miljøstyrelsens grænseværdier for tungmetalindhold.

Det er således AFAV's mål at opretholde kontakten til de nuværende aftagere og evt. udvide med samme type aftagere.

10.3.1 Prisfastsættelse

Det er ikke realistisk idag at få betaling ved afsætning af kompost. De praktiske forsøg, der er udført, har enten ikke givet et tilstrækkeligt kendskab til kompostens positive indvirkning på jorden og dermed afgrøden og dyrkningsbalancen som helhed, til at nogen vil betale for komposten. Dette forhold vil formodentlig og forhåbentlig ændre sig med tiden.

Endvidere er behandlingsprisen på affald idag så høj i forhold til selv den bedst tænkelige nyttevirkning af komposten, at det er uden mening at tale om at indføre en pris, som skulle dække omkostningerne ved selve affaldsbehandlingen. Derimod kunne man på længere sigt tænke sig en pris, der var ækvivalent med værdien af kompostens indhold af fosfor, kalium, organisk stof eller blot tørstof.

10.4 Konklusion

næringsindhold

Komposten indeholder 0-5 g kvælstof (N) pr. l, 0-5 g fosfor (P) pr. liter og 1-2 g kalium (K) pr. liter. Ved anvendelse på dyrkningsarealer doseres komposten efter afgrødens P- eller K-behov.

tungmetaller

Det gennemsnitlige tungmetalindhold i komposten (samtlige analyser, uanset kompostens alder) ligger under Miljøstyrelsens grænseværdier for anvendelse i landbrug, skovbrug og på parkarealer.

Det giver, jvf. afsnit 8.3., ikke nogen mening at analysere for tungmetaller, før komposten er eftermodnet i 20 uger. Heterogeniteten i materialet og dermed usikkerheden på resultatet er for stor i kompost, der er yngre. Det må således anbefales at indføje en tidsfaktor i forbindelse med grænseværdier for tungmetaller i kompost.

Kompost, der er ældre end 20 uger, kan ikke idag anvendes på landbrugsjord p.g.a. for højt cadmiumindhold (16% over grænseværdien) eller i private haver p.g.a. for højt bly- og cadmiumindhold. Der stilles dog i bekendtgørelse nr. 736, 26.10.89, ingen krav til kompostens alder.

Det er på nuværende tidspunkt svært i AFAV-området at overholde grænseværdierne for bly og

cadmium i kompost, der er ældre end 20 uger. Endvidere er det uklart, hvorfra tungmetallerne stammer. Det må således anbefales at oppriori-tere kildesporingsundersøgelserne vedrørende tungmetaller i kompost/affald yderligere. Gen-nem resultater fra sådanne undersøgelser vil man blive i stand til at fjerne mere tungmetal ved kilden.

afsætning

Komposten er hidtil afsat i store portioner til få aftagere. Denne praksis ønskes fortsat bl.a. for at holde administrationsomkostningerne ne-de. Komposten er afsat ab fabrik, d.v.s. at af-tageren selv har afhentet den eller afholdt om-kostningerne til transport.

Aftagerne har været økologiske landbrug, Hede-land Selskabet I/S samt de forskellige forsøgs-værter, der bl.a. har anvendt AFAV-kompost.

Samtlige aftagere har været tilfredse med kom-posten. Den har levet op til deres forventnin-ger m.h.t., næringsværdi, strukturegenskaber og måden, hvorpå det kan håndteres. Dog udtrykker det adspurgte landbrug skepsis overfor det sti-gende tungmetalindhold, som de seneste analyser har vist.

LITTERATURLISTE

AFAV (1989)
AFAV. - Strandvangen 15, 3600 Frederikssund, tlf. 42 31 34 43, *Personlig kommunikation*

AFAV (1989)
Hildebrandt, J. - Oplysninger fra AFAV om affaldsmængder fra 1987-1989.

AFAV (1989)
AFAV. - *Notat ang. kildesortering, grønt affald.*

BERTHELSEN, (1986)
Berthelsen, L. - Komposteringsvarme, særtryk fra Det kongelige danske landhusholdningsselskab : "Altervativ energiforsyning i landbruget. Sol, vind, biomasse".

BERTHELSEN (1990)
Berthelsen, L. - Jordbrugsteknisk Institut, Den Kgl. Vet. og Landbohøjskole. Personlig kommunikation.

BIRGER LUND A/S (1990)
Birger Lund A/S. - Arbejdsmiljømæssige målinger.

DIF (1987)
DIF. - DIF's anvisning for korrosionsbeskyttelse af stålkonstruktioner.

HOFFMANN OG KRISTIANSEN (1989)
Hoffmann, L.; Kristiansen, K. - Kildesporing af bly og cadmium i kompost. Forprojekt, Teknologisk Institut.

JÄGER (1980)
Jäger, B.; Jager, J. - Ermittlung un Bewertung von Geruchsemissionen bei der Kompostierung von Siedlungsabfällen. Müll und Abfall, p. 22-28.

LARSEN (1988)
Larsen, J.B. - Grænseværdi for blyindhold i jord ? Stads- og havneingeniøren 10, p. 22-24.

MILJØSTYRELSEN (1988)
Miljøstyrelsen. - § 11 godkendelse til at anvende AFAV-kompost på jord på visse vilkår. 24.2.1988. Ny tilføjelse 26.01.1989.

MILJØSTYRELSEN (1989)
Arbejdsrapport nr. 2, Forsøg med anvendelse af kompost i Danmark.

MILJØSTYRELSEN (1990)
Arbejdsrapport nr. 8, Madraskompostering i Odense og Århus kommuner.

MILJØSTYRELSEN (1990)
Arbejdsrapport nr. 13, Status for kompostafsætning i Danmark, 1989.

MILJØSTYRELSEN (1990)
Arbejdsrapport nr. 14, Forsøg med "grønne" kompostprodukter i Danmark.

MILJØSTYRELSEN (1990)
Arbejdsrapport nr. 38, Kompostering af kildesorteret madaffald fra etageejendomme i København.

MILJØSTYRELSEN (1990)
Miljøprojekt nr. 141, Det grønne affaldssystem i AFAV.

MILJØSTYRELSEN (1991)
Arbejdsrapport nr. 13, Forsøg med "grønne" kompostprodukter i Danmark 1990.

RAMBØLL & HANNEMANN (1987)
Rambøll & Hannemann. - Notat af 08.05.1987 vedr. kompostfilter på AFAV-komposteringsanlæg.

RIFFALDI, LEVI-MINZ, PERA, BERTOLDI (1986)
Riffaldi, R.; Levi-Minz, R.; Pera, Å.; Bertoldi, M. - Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. Waste Management and Research 4:4, p. 387-396.

VEMMELUND & BERTHELSEN, (1977)
Vemmelund, N.; Berthelsen, L. - Udnyttelse af komposteringsvarme fra staldgødning, Jordbrugs Teknisk Institut, KVL.

WILLE (1988)
Wille, E. - Modningsundersøgelser af kompost. Litteraturrapport over udvælgelse af analysemetoder, eksamensprojekt ved Danmarks Ingeniørakademi, Kemiafdelingen.

ZUCCONI, FORTE, MONACO, BERTOLDI (1981)
Zucconi, F.; Monaco, Å.; de Bertoldi, M. - Biological evaluation of compost maturity. Biocycle 22:4, p. 26-29.

ZUCCONI, PERA, FORTE (1981)
Zucconi, F.; Pera, Å.; Forte, M. - Evaluating toxicity of immature compost. Biocycle 22:2, p. 54-57.

ECK / BINDOMATIC 01 77 06 77