

Central sortering af dagrenovation

Mads Prag Rosen
NLM Combineering

Trine Lund Hansen
Danmarks Tekniske Universitet, Miljø og Ressourcer

Jens Brandt
Bedriftssundhedstjenesten

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATTENDE ARTIKEL	7
SUMMARY	15
1 PROJEKTETS FORMÅL	23
1.1 FORMÅL IFØLGE PROJEKTANSØGNING	23
1.2 KONKRETE PROJEKTMÅL	23
1.3 SUCCESKRITERIER	24
2 BAGGRUND FOR PROJEKTET	25
3 SORTERINGSANLÆGGET	27
3.1 ANLÆGSOPBYGNING	27
3.1.1 <i>Modtagesilo</i>	28
3.1.2 <i>Poseoprøver</i>	29
3.1.3 <i>Sneglesigte</i>	29
3.1.4 <i>Magnetseparator</i>	29
3.1.5 <i>Desizer[®]</i>	30
3.1.6 <i>Dewaster[®]</i>	30
3.2 ANLÆGSÆNDRINGER I FORHOLD TIL KILDESORTERET AFFALD	31
3.3 SORTERINGSFRAKTIONER	32
4 FORSØG OG DATAOPSAMLING	33
4.1 DAGLIG PROCEDURE	33
4.2 AFFALDET	34
4.3 FIRE SPECIFIKKE TESTDAGE	34
4.3.1 <i>Testprocedure</i>	34
4.3.2 <i>Analyseprogram</i>	35
4.4 FORSØG PÅ IBUS ANLÆGGET	36
5 RESULTATER	37
5.1 SORTERINGSFRAKTIONER, MASSEBALANCE	37
5.2 KARAKTERISERING AF BIOPULP	41
5.2.1 <i>Tungmetaller og miljøfremmede stoffer</i>	42
5.2.2 <i>Biogasparametre</i>	46
5.2.3 <i>Plast i biopulp</i>	47
5.3 KARAKTERISERING AF SIGTEREST	48
5.4 KARAKTERISERING AF REJEKT	49
5.5 ØVRIGE FRAKTIONER	49
5.6 KAPACITET, ELFORBRUG OG SLID	50
5.6.1 <i>Kapacitet</i>	50
5.6.2 <i>Elforbrug</i>	51
5.6.3 <i>Slid</i>	52
6 DISKUSSION	53
6.1 DISKUSSION AF RESULTATER I FORHOLD TIL PROJEKTMÅL	53
6.1.1 <i>Kvalitet og udnyttelse af biopulp</i>	53

6.1.2	<i>Genanvendelse af metal</i>	55
6.1.3	<i>Sigterest</i>	55
6.1.4	<i>Restaffald</i>	56
6.2	AFFALDSKVALITET / POSITIV FRASORTERING	56
6.3	FORVENTNINGER TIL STORSKALAANLÆG	57
6.3.1	<i>Kapacitet</i>	58
6.3.2	<i>Slid</i>	58
6.3.3	<i>Økonomi</i>	58
6.3.4	<i>Arbejdsmiljø</i>	60

1. Miljø & Ressourcer DTU: Karakterisering af sorteret dagrenovation på EWOC's mekaniske anlæg på Fynsværket, Efterår 2003.
2. BST Århus: Arbejdsmiljøet ved behandling af usorteret dagrenovation i Dewaster, Efterår 2003.
3. NLM Combineering: Forbehandling af usorteret dagrenovation med Dewaster - retningsgivende forsøg udført hos I/S NOVEREN, Holbæk. Oktober 2002.

Forord

Formål og baggrund

Projektets hovedformål er at vise om det er muligt at udskille det biologiske materiale fra usorteret dagrenovation, alene ved en mekanisk behandling, og derved undgå kildesortering og todelt indsamling.

Den mekaniske sortering er foretaget på et anlæg med en række sorteringstrin og en presseenhed. Ud over at udskille det biologiske materiale, har det været formålet at undersøge om det er muligt at opnå andre genanvendelige fraktioner fra affaldet, alene ved mekanisk sortering.

Tidligere erfaringer med sigtning har givet for dårlige resultater, bl.a. med for høje tungmetalniveauer i det biologiske materiale. Udviklingen af en ny type skruepresse gav under pilotforsøg formodet håb om at det var muligt at opnå biologisk materiale af god kvalitet ud fra usorteret dagrenovation.

Projektets miljømæssige relevans

Evalueringen af tidligere projekter omkring udnyttelse af det biologiske potentiale i husholdningsaffald, alle ved kildesortering, har vist at den miljømæssige gevinst er begrænset og samtidig meget dyr at opnå. Det er der to hovedårsager til. Dels er den tostrengede indsamling af en "grøn" og en "sort" fraktion uforholdsmæssig energikrævende og dyr, dels er det kun det biologiske materiale der udnyttes mens resten forbrændes. Borgernes engagement ved kildesortering spiller også ind idet en del biologisk affald havner i forbrændingsfraktionen og derved går tabt.

Enstrenget indsamling efterfulgt af mekanisk sortering har potentialet til at vende dette billede idet man både sparer investering, drift og miljøomkostning til den tostrengede indsamling. Den potentielle mængde biologisk materiale øges, da intet forsvinder ved fejlsortering.

Ved kildesortering er det ofte kun et spørgsmål om at udnytte det biologiske materiale, mens en mekanisk sortering åbner mulighed for at genanvende metal samt medforbrænde rene plast/papir fraktioner på anlæg med højere elvirkningsgrader end traditionelle affaldsforbrændingsanlæg, f.eks. kulfyrede kraftvarmeværker.

I forbindelse med etablering af nye affaldsforbrændingsanlæg kan der ligge en miljømæssig såvel som økonomisk gevinst i at foretage en mekanisk sortering og nøjes med et mindre, eller slet intet affaldsforbrændingsanlæg. Dette har dog begrænset relevans i Danmark fordi vi har tilstrækkelig forbrændingskapacitet, men er højaktuelt i f.eks. England og det sydlige Europa. Affaldsmængden ventes dog at stige i Danmark fra de nuværende ca. 3,3 mill. tons til ca. 4 mill. tons i 2020. Frem for at udbygge med nye forbrændingsanlæg kan den øgede affaldsmængde sorteres og fraktionerne i højere grad genanvendes eller forbrændes på andre energianlæg.

Målgruppe

Målgruppen for anvendelse af teknologien fra dette projekt er primært affaldsselskaber, energiselskaber og kommuner. Der vil desuden være et stort eksportpotentiale i processen, da den i et vist omfang vil kunne erstatte opførelsen af forbrændingsanlæg i lande, der endnu ikke har en veludbygget forbrændingskapacitet. Processen underbygges af EU krav om udnyttelse af emballage og biologisk materiale i affaldet

Projektets gennemførelse

Projektet er udført i perioden juni 2003 til januar 2004 med støtte fra Miljøstyrelsen. Projektet er gennemført i samarbejde mellem Elsam A/S og NLM Combineering ApS med NLM som projektleder. EWOC A/S har leveret, installeret og opereret det nødvendige udstyr i projektperioden.

Et komplet anlæg til forsoring har været opstillet på Fynsværket i Odense og alle forsøg er foretaget på dette anlæg. Odense Renovation har leveret affaldet og Odense Kraftvarmeværk har aftaget affaldet efter sortering. Fangel Biogas har aftaget en del af det biologiske materiale mens Uniscrap har aftaget metal.

Til forsøget har været tilknyttet en følgegruppe med repræsentanter fra:

- Miljøstyrelsen (*Formand for følgegruppen: Svend-Erik Jepsen, Birgitte Jørgensen*)
- ELSAM (Peter Gedbjerg)
- ELSAM Engineering (Christian Morgen)
- Affald Danmark (Hanne Johnsen, Tom Elmer, Annette Hou Olsen, Henrik Ørnebjerg)
- Reno-Sam (Henning Jørgensen)
- M&R DTU (Thomas Højlund Christensen)
- Arbejdstilsynet (Bent Horn Andersen)
- PK Miljøteknik (Per Kierulf)
- Århus Kommunale Værker (Bjarne Munk)
- EWOC (Henrik Lauersen)
- NLM Combineering (*Projektleder: Mads Prag Roesen, Lars Jørgensen*)

Følgegruppen har stået til rådighed med kommentarer og vejledning undervejs i projektet samt bidraget med faglig korrekturlæsning på rapporten.

M&R DTU samt BST Århus har leveret selvstændige delrapporter til undersøgelsen, disse er vedlagt som bilag og resultaterne er inddraget i hovedrapporten.

Sammenfattende artikel

En ny undersøgelse ”Central sortering af dagrenovation” viser at det ved brug af mekanisk sortering er muligt at udskille en væsentlig del af det biologiske materiale fra blandet husholdningsaffald uden brug af kildesortering.

Undersøgelsen bygger på et projekt med forsøgsdrift på et såkaldt Dewaster^a anlæg opstillet på affaldsforbrændingsanlægget i Odense. Forsøgsanlægget blev leveret af den danske virksomhed Ewoc A/S. Under projektet blev der gennemført ca. 30 testkørsler af 1-2 dages varighed, og i alt behandlet ca. 400 tons dagrenovation.

Projektet blev gennemført i samarbejde mellem energiselskabet Elsam A/S og miljøfirmaet NLM Combineering ApS med sidstnævnte som projektleder og med maskinleverandøren Ewoc A/S som operatør af anlægget. Miljøstyrelsen ydede finansiel støtte til undersøgelsen, som havde en følgegruppe bestående af repræsentanter fra Miljøstyrelsen, Affald Danmark, Reno-Sam, Danmarks Tekniske Universitet, Arbejdstilsynet, Århus Kommune Værker og PK Miljøteknik.

BAGGRUND FOR PROJEKTET

Der er i årenes løb gjort mange forsøg på at udnytte det biologiske affald fra danske husholdninger gennem bioforgasning og efterfølgende udspreddning på landbrugsjord. Anvendelsen i biogasanlæg indebærer at det biologiske materiale skal være befriet for mekaniske urenheder, som plast, glas og metal mens anvendelsen i jordbruget indebærer at det biologiske materiale kan overholde en række kemiske grænseværdier. Hidtidige forsøg på bioforgasning af husholdningsaffald har været baseret på kildesortering og tostrengt indsamling af affaldet. Til trods herfor har affaldet de fleste steder ikke været rent nok til at kunne anvendes direkte i et biogasanlæg, hvorfor en mekanisk forbehandling under alle omstændigheder er nødvendig.

Dewaster systemet er oprindeligt udviklet til at fjerne plastik og andre urenheder i kildesorteret biologiske affald forud for bioforgasning. Systemet har på nuværende tidspunkt været afprøvet til dette formål i bl.a. Ålborg, Holbæk, Hamborg og Kristianstad og der er installeret et kommercielt storskalaanlæg på forbrændingsanlægget i Århus.

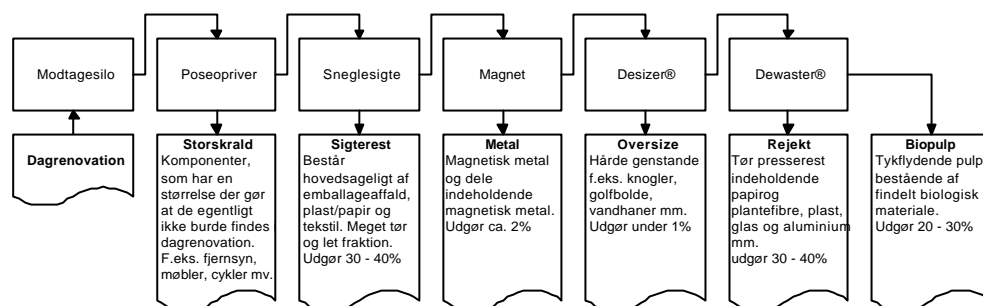
Da kildesortering dels er relativt besværlig og dyr og ofte har være så dårlig at der alligevel skulle etableres mekanisk efterbehandling opstod der interesse for at afprøve Dewaster processen på usorteret husholdningsaffald.

^a Ordene Dewaster og Desizer er registrerede varemærker ejet af EWOC A/S.

SORTERINGSANLÆGGET OG TESTPROCEDURE

Det Dewaster anlæg, som er benyttet ved undersøgelsen er i sin grundopbygning identisk med tidligere Ewoc-anlæg til kildesorteret affald, dog er der foretaget modifikationer der tager højde for det procentvist lavere indhold af biologisk materiale.

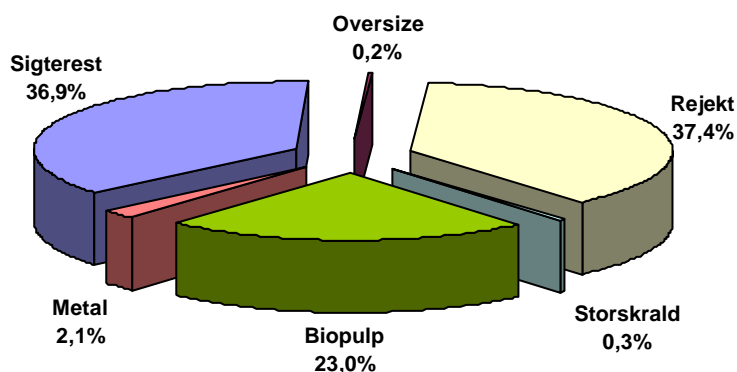
Princippet er baseret på en indledende skånsom oprivning af affaldsposerne og blotlægning af affaldet, denne proces fjerner også store fremmedlegemer (storskrald), som egentligt ikke bør forefindes i dagrenovationen. En størrelsessortering udtager en let fraktion af plast, papir og emballageaffald (sigterest). Magnetisk udtages en metalfraktion. Herefter udtages større hårde emner (knogler, vandhaner) i en Desizer enhed. Som sidste trin separeres affaldet i en tottrins skruepresse (Dewaster) i biopulp og rejkt.



Herover ses princippet i anlæggets opbygning og de fraktioner affaldet blev opdelt i. Dewaster anlægget leverede automatisk sorteringsfraktionerne i hver sin container.

RESULTATER OG DISKUSSION

Under hele projektet blev alle indgående og udgående fraktioner vejede og for hver ca. 15 tons dagrenovation blev der udarbejdet en massebalance. Fire gange i løbet af forsøgsperioden deltog Danmarks Tekniske Universitet, Miljø og Ressourcer (M&R DTU) ved prøvetagning og validering. På disse testdage blev der udtaget repræsentative prøver af sigterest, rejkt og biopulp til analyse for en række parametre. Nedenstående diagram viser fordelingen af de sorterede fraktioner.



Biopulp

Generelt kan biopulpen beskrives som en brun/grå pastøs grød, der minder om spildevandsslam, men uden spildevandsslammets karakteristiske rådne

lugt. Kun i forbindelse med tømning af container kan der opstå lugt som følge af anerobe forhold, ellers er lugten svagt sur-sødlig. Biopulpen kan direkte omsættes i ethvert eksisterende biogasanlæg.

Ud fra et indledende pilotforsøg var det ventet at der kunne opnås et udbytte af biologisk materiale (biopulp) på 20 - 25% ved ca. 28% tørstofindhold (pilotforsøget gav 21% udbytte). Disse forventninger blev rigeligt indfriet, idet udbyttet på testdagene i gennemsnit var 23% (230kg/tons) med et tørstofindhold på 29 - 34%.

Af den seneste offentlige undersøgelse af husholdningsaffalds sammensætning fremgår det at i Odense området udgør det biologiske materiale omkring 390 kg/tons affald. Udbyttet på 230kg/tons svarer altså til at 59% af det biologiske materiale sorteres ud af husholdningsaffaldet som biopulp, hvilket er mere end der typisk kan leveres til et biogasanlæg ved kildesortering.

Det var målet at biopulpen skulle overholde slambekendtgørelsens krav mht. indhold af tungmetaller og miljøfremmede stoffer. Dette mål er stort set opfyldt - for de fleste stoffers vedkommende med god margin. For DEHP er der dog en overskridelse på gennemsnitligt 62%.

For tungmetallerne var der kun én prøve som mht. kviksølv ikke overholdt gældende lovgivningskrav om udspreddning på landbrugsjord. Beregninger viser at den samlede kviksølvmængde i det læs, som prøven stammede fra, svarer til mængden i et kviksølvtermometer og overskridelsen kan formodentlig tilskrives et termometer eller anden tilsvarende punktkilde. På længere sigt forventes det ikke at udgøre et større problem, da kviksølv er under kraftig udfasning i EU. Nedenstående tabel viser tungmetalindholdet i otte prøver opgjort i procent af grænseværdierne.

	P016		P017		P018		P019		P030		P031		P032		P033	
Bly	33	4	20	3	17	1	20	2	15	5	11	1	38	8	17	0
Cadmium	27	1	31	3	76	11	32	6	30	2	26	1	28	4	30	23
Chrom	23	1	21	4	26	11	18	0	19	0	13	0	39	1	36	3
Kobber	4	1	6	0	10	1	4	0	4	1	4	2	7	0	6	0
Kviksølv	650	159	136	72	84	14	54	33	7	3	15	0	6	6	12	0
Nikkel	29	1	86	86	37	0	26	3	22	1	23	0	22	7	16	3
Zink	4	0	7	2	4	0	3	1	5	0	5	0	5	1	5	0

Gennemsnitlige indhold af tungmetaller opgjort som procent af grænseværdien for hvert enkelt stof.

Værdierne er baseret på to målinger, spredningen er angivet med småt. For kviksølv overskrider P016 slambekendtgørelsens regler mens P017 må gøre brug af reglen om at enkelte analyser må overskride med op til 50%.

Nedenstående tabel viser indholdet af miljøfremmede stoffer i reelle tal og i procent af grænseværdierne i Slambekendtgørelsen.

	P016		P017		P018		P019		P030		P031		P032		P033		gns	
NPE	2,2	22	3,3	33	2,0	20	2,3	23	2,4	24	3,6	36	1,7	17	1,8	18	2,4	24
PAH	0,8	27	0,5	17	0,8	27	1,3	43	0,4	13	0,6	18	0,4	12	0,5	16	0,7	22
DEHP	36	72	93	186	130	260	200	400	62	124	29	58	32	64	65	130	81	162
LAS	71	5	29	2	34	3	30	2	21	2	52	4	54	4	25	2	40	3

Værdierne er angivet i mg/kg TS. Tallene i kursiv angiver det relative indhold i forhold til grænseværdierne i Slambekendtgørelsen (NPE 10, PAH 3, DEHP 50, LAS 1300 mg/kg TS)

Biogaspotential (heraf 65% metan) ligger teoretisk på 193 Nm³/tons biopulp hvis der regnes med 100% omsætning af VS. Analyser af nedbrydeligheden (EFOS - kvæg)^a har vist at omkring 93% af VS kan omsættes, men det er ikke målt i praksis. EFOS-kvæg viser typisk et lidt højere udbytte end der kan opnås i praksis. I forhold til Biopulp opnået ved kildesortering, som typisk giver 100 – 150 Nm³/tons ved 80% omsætning, ligger den mekanisk udvundne biopulp således i den høje ende. De 80% omsætning af biopulp fra kildesorteret affald svarer nogenlunde til at indholdet af træstof (plantefibre) ikke nedbrydes. EFOS analysens indikation af en højere nedbrydelighed stemmer godt overens med et tilsvarende lavere indhold af træstof i den mekanisk udvundne biopulp.

Sigterest

Sigteresten er en meget luftig/let fraktion med lav vægtfylde. Visuelt består den hovedsageligt af plast, men indeholder også en del pap og tekstil. Komponenterne er relativt store og intakte og kan derfor let genkendes. F.eks. indeholder sigteresten aviser/ugeblade, plastikposer, fødevareemballage og bleer.

Et formål med undersøgelsen var at vurdere, om mekanisk forsoring af husholdningsaffald kan muliggøre anvendelse af fraktioner til medforbrænding på anlæg med højere elvirkningsgrader end affaldsforbrændingsanlæg, alternativt som medforbrænding i industrielle anlæg, f.eks. cementfremstilling. Det var således målet at øge brændværdien og reducere indholdet af klor, svovl og alkalimetaller. Nedenstående tabel viser en række forbrændingsrelevante parametre i forhold i gennemsnitlig dagrenovation.

	TS	Brændværdi	C	H	N	Cl	S	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
	% af vvv	MJ/kg TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS
Sigterest	60,8	24,8	52,7	7,2	1,1	0,6	0,13	0,31	0,29	0,69
Middel	52,0	18,9	43,0	5,7	1,3	0,6	0,20	0,75	0,48	1,76

Middelværdien er fundet som et vægtet gennemsnit af indholdet i biopulp, sigterest og rejekt.

Det fremgår umiddelbart at sigteresten har højere brændværdi end den gennemsnitlige dagrenovation. Dette skyldes dels at der er fjernet en del uorganisk materiale og dels at en stor del af sigteresten består af plastik med høj brændværdi. Regnes brændværdien på våd basis er den i dagrenovationen ca. 9,8 GJ/tons men den for sigteresten er ca. 15,1 GJ/tons, hvilket er en forøgelse på 54%. Tørstofindholdet er desuden øget omend mindre end forventet.

Rejekt

Rejekt er den tørre fraktion fra presningen i Dewaster enheden. Fraktionen består hovedsageligt af plante- og papirfibre samt plastik og uorganiske komponenter som aluminium, glas og kattegrus mv. Der er umiddelbart tre mulige anvendelser for rejktet: forbrænding i et affaldsforbrændingsanlæg, medforbrænding i industrielle anlæg, f.eks. cement eller kompostering og efterfølgende anvendelse som afdækningsjord ved affaldsdeponering. Nedenstående tabel viser forbrændingsparametre for rejekt fraktionen.

^a EFOS – kvæg bestemmer mængden af enzymfordøjeligt biologisk materiale til simulering af fordøjeligheden hos drøvtyggere.

	TS	Brændværdi	C	H	N	Cl	S	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
	% af ww	MJ/kg TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS
Rejekt	58,6	14,9	37,1	4,8	1,3	0,4	0,19	0,80	0,66	2,86
Middel	51,96	18,94	43,00	5,72	1,35	0,61	0,20	0,75	0,48	1,76

Middelværdien er fundet som et vægtet gennemsnit af indholdet i biopulp, sigterest og rejekt.

Det fremgår umiddelbart at brændværdien er lavere end for den gennemsnitlige dagrenovation, hvilket formentlig skyldes det relativt højere indhold af uorganiske komponenter. Klorindholdet er lavere mens alkalimetallerne er højere end for den gennemsnitlige dagrenovation.

Metal

Metal fraktionen udgør ca. to procent af dagrenovationsmængden. Sorteringskvaliteten var under forsøget ikke optimal med den valgte magnettype. Til trods herfor var renheden tilstrækkelig til at metallet kunne genanvendes hos Uniscrap A/S uden problemer. En tidligere undersøgelse viser at kun ca. 30% af det tynde metal (blik) kan genanvendes efterfølgende. Da hovedparten af det frasorterede metal vurderes at være blik (øldåser, kapsler, konservesdåser mv.), er der dermed grundlag for at konkludere at mekanisk sortering af husholdningsaffald kan være basis for øget genanvendelse af metal.

ØKONOMISK VURDERING

Kapacitet

Kapaciteten målt i input har i gennemsnit ligget på 1,8 tons/time på én Dewaster enhed, med en variation på ca. 1,4 – 2,4 tons/time. Hvis der korrigeres for den ekstra tid der er brugt i forbindelse med opstart og nedlukning i forhold til et kommercielt anlæg vil kapaciteten være ca. 2 tons/time. Det primære mål med driften under forsøget har ikke været opnåelse af høj kapacitet, men derimod velafgrænsede massebalancedata. På anlægget i Århus til kildesorteret affald er der indført en række forbedringer i forhold til anlægget brugt i dette projekt. Indput til Dewaster anlægget i Århus ligger omkring 2 tons/time per Dewaster enhed, selv om kildesorteringen langt fra er optimal. Det vurderes at en tilsvarende kapacitet vil kunne opnås med usorteret dagrenovation. Korrigeret for sigteresten svarer det således til en total kapacitet på ca. 3 tons dagrenovation per time.

Slid

Ved drift af et sorteringsanlæg, som anvendt i projektet, er mekanisk slid på skruepressen den væsentligste årsag til udgifter til service og vedligehold. Under udformningen af anlægget i Århus var der, på baggrund af tidligere erfaringer fra et Dewaster anlæg hos I/S NOVEREN i Holbæk, fokuseret meget på optimering af sliddele og konstruktive ændringer, der kunne nedbringe sliddet. På det nuværende udviklingsniveau skal pressesneglene renoveres for hver ca. 1000 tons, mens stavene der danner pressechamber holder noget længere.

Det har i løbet af forsøgsperioden ikke været muligt at sætte præcise tal på sliddet ved behandling af usorteret husholdningsaffald, men vurderingen er at sliddet ikke er væsentligt større end for det kildesorterede affald. Derfor er der i de økonomiske vurderinger taget udgangspunkt i det reservedelsforbrug og de serviceintervaller som er estimeret for kildesorteret affald.

Økonomiske scenarier

Der er i undersøgelsen opstillet tre scenarier for de økonomiske forhold ved kommerciel drift på usorteret dagrenovation. Scenarierne tager udelukkende stilling til omkostningerne til sorteringen af affaldet. Der er således ikke indregnet "værdien" af de opnåede fraktioner i forhold til det oprindelige affald, ligesom afgiftsmæssige forhold ikke er indregnet. Desuden er der ikke medregnet udgifter til bygninger, køretøjer og containere mv.

I scenario 1 tages der udgangspunkt i et nyt anlæg i samme størrelse som det under forsøget anvendte. Kapaciteten pr. time er sat 4 tons målt på dagrenovation indput, idet anlægget er udstyret med 2 Dewaster enheder. Anlægget drives i etholds skift med anslået 2100 driftstimer årligt. Afskrivningstiden er 5 år med en rentesats på 6%. Nyanskaffelses prisen for anlægget er ca. 7,5 mill. Driften regnes som fritstående operation, så mandskab (én mand) ikke har andre opgaver. Den samlede sorteringsomkostning bliver her ca. 324 kr./tons dagrenovation.

I scenario 2 tages der udgangspunkt i samme anlæg som i scenario 1, men anlægget drives i toholds skift med anslået 4200 driftstimer årligt. Driften regnes som delvist integreret operation, så mandskab (én mand) kan have andre opgaver 50% af tiden. Den samlede sorteringsomkostning bliver her ca. 192 kr./tons dagrenovation.

I scenario 3 tages der udgangspunkt i behandling af ca. 100.000 tons dagrenovation pr. år. Anlægget er baseret på tohold skift med 8 Dewaster enheder med en samlet kapacitet på 20 tons/time målt på dagrenovation indput. Afskrivningstiden forlænges til 8 år med en rentesats på 6%. Nyanskaffelses prisen for anlægget er ca. 23 mill. Driften regnes som automatiseret og integreret operation, men der regnes med to operatører på anlægget i hele driftstiden. Den samlede sorteringsomkostning bliver her ca. 117 kr./tons dagrenovation.

Hvis det antages at kun biopulp og metal genanvendes opnås en reduktion af affald til forbrænding på ca. 25%. Med en antaget behandlingspris til affaldsforbrænding på 500 kr./tons incl. afgifter, får man en besparelse på 125 kr./tons dagrenovation. Det vurderes at bortskaffelse af metalfraktionen til genanvendelse er omkostningsneutralt.

Biopulpen giver et teoretisk biogasudbytte på 193 Nm³/tons biopulp. Regnes omsætningen til 70% opnås 136 Nm³ biogas. Biogasdata fra Energistyrelsen (December 2001 / Juni 2002) viser at indtægten for energisalg ligger på ca. 2,00 kr./Nm³ biogas uafhængig af årstid, dog med en væsentlig variation mellem de forskellige biogasanlæg. Den teoretiske indtægt for salg af energi fra biopulpen er således ca. 272 kr./tons biopulp. Sættes driftsomkostningen til udrådning og udspredding til 70 kr. er netto energiværdien ca. 202 kr./tons biopulp.

Med et 23% biopulp (230 kg/tons dagrenovation) findes biogasgasværdien af dagrenovationen at være ca. 46 kr./tons dagrenovation.

Samlet set giver sorteringen således en "besparelse" på 125 kr./tons og en "indtægt" på 46 kr./tons, i alt 171 kr./tons dagrenovation. Dette overstiger omkostningerne i scenario 3 med go margin, og giver derfor grund til at antage, at mekanisk forsoring af husholdningsaffald med Dewaster systemet kan være økonomisk rentabelt i stor skala.

Det skal dog understreget, at ovenstående beregningseksempel er foretaget på baggrund af en virksomhedsøkonomisk betragtning og indregner således besparelse på forbrændingsafgift. Der er desuden ikke indregnet omkostninger til bygninger, administration og transport mv. I en mere konkret vurdering må der naturligvis tages hensyn til den faktisk mulige afregningspris i forhold til biogasproducenterne, evt. udnyttelse af andre fraktioner samt de omkostninger og besparelser, der ikke er kvantificeret i scenarierne.

MILJØMÆSSIGE PERSPEKTIVER AF PROJEKTET

Evalueringen af tidligere projekter omkring udnyttelse af det biologiske potentiale i husholdningsaffald ved kildesortering, har vist at den miljømæssige gevinst er begrænset og samtidig dyr at opnå. Det er der to hovedårsager til. Dels er den tostrengede indsamling af en "grøn" og en "sort" fraktion uforholdsmæssig dyr i såvel etablering som drift. Dels er det kun det biologiske materiale der udnyttes mens resten forbrændes uden udsortering af metal og andre fraktioner, som kunne udnyttes mere optimalt end ved affaldsforbrænding. Desuden mistes en del af det biologiske affald under kildesorteringen ved at borgerne kommer det i den forkerte fraktion.

Enstrengt indsamling uden kildesortering har potentialet til at vende dette billede fordi man både sparer investering, drift og miljøomkostning til den tostrengede indsamling og fordi det potentielle udbytte af biologisk materiale øges når hele dagrenovationsmængden underkastes behandling og der ikke forsvinder biologisk materiale ved fejlsortering. Yderligere åbner en mekanisk sortering mulighed for at genanvende metal samt medforbrænde plast/papir fraktioner på anlæg med højere virkningsgrader end traditionelle affaldsforbrændingsanlæg.

I forbindelse med etablering af nye affaldsforbrændingsanlæg kan der ligge en miljømæssig såvel som økonomisk gevinst i at foretage en mekanisk sortering og nøjes med et mindre, eller slet intet affaldsforbrændingsanlæg. Dette har dog begrænset relevans i Danmark fordi vi har rigelig eksisterende forbrændingskapacitet, men besparelser på investeringer i ny forbrændingskapacitet er højaktuelt i f.eks. England og det sydlige Europa.

Summary

A new study “Centralised Sorting of Municipal Solid Waste” shows that is technically possible to utilise the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) without source-sorting or separate collection.

The study is based on a project presenting a three months test operation of a so-called Dewaster^a installation placed at the MSW incineration plant in Odense, Denmark. The test installation was supplied by the Danish company Ewoc A/S. During the project, app. 30 tests were carried out, covering a total of app. 400 tonnes of MSW.

The project was carried out in co-operation between the energy company Elsam A/S and the environmental company NLM Combineering ApS, the latter being project manager. Ewoc A/S operated the equipment during the project. The Danish EPA has supported the study financially.

PROJECT BACKGROUND

Over the years, many efforts have been made to recycle the OFMSW in Denmark into biogas fermentation, and subsequent spreading of the residues on farmland. For the purpose of biogas production, the OFMSW must be cleaned for plastic, glass, metal and other foreign matter, and the use on farmland requires that the OFMSW meets a number of chemical requirements. So far, the efforts have been focused on source-sorting and separate collection. In spite of this, the OFMSW is often not clean enough to be utilised directly in biogas fermentors without prior mechanical treatment.

The Dewaster system was originally developed for removal of plastic and other unwanted substances from the source-sorted OFMSW prior to biogas fermentation. So far the system has been tested or is in operation for this purpose in Aarhus, Aalborg and Holbæk (Denmark), Hamburg (Germany) and Kristianstad (Sweden).

The fact that source-sorting and separate collecting are relatively expensive and troublesome, and often gives a poor result, rendering mechanical treatment inevitable in most cases, gave the idea to test the Dewaster process on non-sorted MSW.

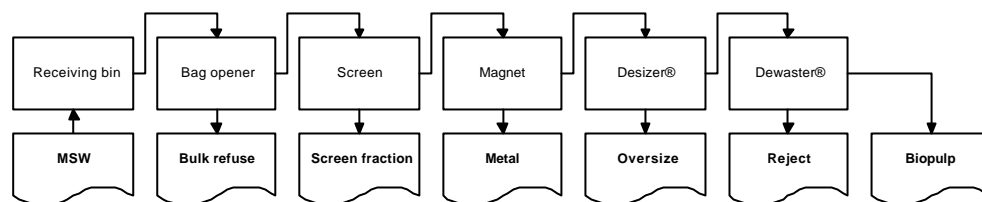
THE SORTING PLANT AND TEST PROCEDURES

The Dewaster installation used in this study is basically identical with prior Ewoc-plants for treatment of source-sorted waste for biogas fermentation. Only a few adjustments were made to compensate for the lower content of organic material in the waste.

The principle of the treatment is based on a gentle tearing/opening of the collection bags. In this process, large items like bicycles (bulky refuse), which should not be in the MSW in the first place, are also removed. A screen takes

^a The names Dewaster and Desizer is registered trademarks owned by EWOC A/S

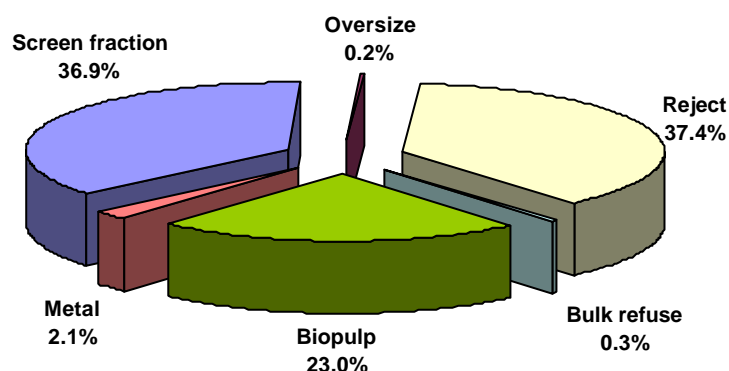
out a light fraction of plastic, paper and packaging material (screen fraction). By means of a magnet, a Ferro metal fraction is then removed, and a special device (Desizer) removes hard items like bones and woodblocks. In the last step, the pre-sorted OFMSW is pressed in a two stage screw-press into a reject fraction containing plastic, paper, glass and fibres, and a clean OFMSW fraction (biopulp).



The diagram shows the working principle of the sorting process and the six outgoing fractions. The fractions are automatically placed in separate containers.

RESULTS AND DISCUSSION

During the tests, all incoming and outgoing fractions were weighed, and for every app. 15 tonnes MSW a mass balance was calculated. The Technical University of Denmark, Environment and Resources (M&R DTU) took part in the tests four times during the study for sample-taking and validation. During these test days, samples were taken from the screen fraction, the reject and the biopulp. The diagram below shows the obtained fractions.



Biopulp

Generally, the pulp OFMSW can be described as a brown/grey pasty mush, which looks like sewage sludge, but does not have the characteristic smell of rotten material. Only in connection with container discharge, a smell may arise, coming from anaerobic biological activity, otherwise the smell is a little sweet/sour. The biopulp is easily digestible in any existing biogas plant.

From experience gained in a preliminary pilot test, a yield of OFMSW in the range of 20 – 25% (app. 28% dry matter) was expected. The pilot test gave a yield of 21%. The actual average yield during the study was 23% (230 kg/tonne) with 29 – 34% DM, which fulfilled the expectations.

From the latest Danish study of the composition of MSW (published in 2003) we know that the OFMSW in Odense is app. 390 kg/tonne of the total MSW.

The yield of 230 kg/tonne in this study means that app. 59% of the organic material is sorted out of the MSW as biopulp. This is more than what is typically supplied to the biogas plant by sorting at the source and separate collection.

According to the goals set, the level of heavy metals and other harmful substances in the biopulp should meet the requirements in Danish legislation at the time of the study. This goal has been fulfilled, and in most cases with a good margin. Only the level of DEHP (Di(2-ethylhexyl) phthalate) is generally above the limit.

Only one sample does not meet the requirements for heavy metals (mercury) for use of OFMSW on farmland. The quantity of mercury in the load indicates that it may have come from a thermometer illegally disposed of in the MSW. In a longer perspective, mercury is not expected to be a problem, since it is prohibited in consumer goods in the EU. The list below shows the levels of heavy metals in eight samples, the values are presented as percentages of the limit values.

	P016	P017	P018	P019	P030	P031	P032	P033
Pb	33 4	20 3	17 1	20 2	15 5	11 1	38 8	17 0
Cd	27 1	31 3	76 11	32 6	30 2	26 1	28 4	30 23
Cr	23 1	21 4	26 11	18 0	19 0	13 0	39 1	36 3
Cu	4 1	6 0	10 1	4 0	4 1	4 2	7 0	6 0
Hg	650 159	136 72	84 14	54 33	7 3	15 0	6 6	12 0
Ni	29 1	86 86	37 0	26 3	22 1	23 0	22 7	16 3
Zn	4 0	7 2	4 0	3 1	5 0	5 0	5 1	5 0

Average content of heavy metals as percentages of limit values for each metal. Values are based on two measurements (different laboratories). Small numbers indicate dispersion. In sample P016 Hg is higher than allowed. In sample P017 the level of Hg is allowed when using the rule that some samples may exceed the limit by up to 50%.

The list below shows the results in real numbers and in percent of the limit values.

	P016	P017	P018	P019	P030	P031	P032	P033	gns
NPE	2,2 22	3,3 33	2,0 20	2,3 23	2,4 24	3,6 36	1,7 17	1,8 18	2,4 24
PAH	0,8 27	0,5 17	0,8 27	1,3 43	0,4 13	0,6 18	0,4 12	0,5 16	0,7 22
DEHP	36 72	93 186	130 260	200 400	62 124	29 58	32 64	65 130	81 162
LAS	71 5	29 2	34 3	30 2	21 2	52 4	54 4	25 2	40 3

Values are displayed in mg/kg DM. The small numbers is the percentage of the limit value (NPE 10, PAH 3, DEHP 50, LAS 1300 mg/kg DM). **LAS**: Active component (anionic detergent) in detergents and cleaning materials. **NPE**: Active component (non-ionic detergent) in detergents and cleaning materials, etc.

DEHP: Used as plasticiser in plastic products, e.g. PVC and Mac183. **PAH**: The sum of nine individual substances found in oil/tar products

The potential biogas production (of this 65% methane) is theoretically app. 193 Nm³/tonnes biopulp, based on 100% digestion of all VS (volatile substances). Analysis of the digestion (EFOS – cattle)^a shows that app. 93% of VS is digestible. The digestion has not been measured in a biogas reactor. Normally the EFOS analysis shows a somewhat higher yield than what is practically obtainable. Compared to OFMSW obtained by source-sorting and separate collection, which typically gives a production of 100 – 150 Nm³

^a EFOS – cattle determines the content of enzymatic digestible biological material as simulation of the digestion in cattle.

biogas/tonnes at 80% digestion, the mechanically obtained biopulp is in the higher end.

Screen fraction

The screen fraction is very light and contains mainly plastic, paper, cardboard and textiles. The components are relatively large and intact and therefore easily recognisable. Some of the common components are plastic bags, newspapers, food packaging and diapers.

One of the purposes of the study was to evaluate if this fraction could be used for co-burning in energy installations with higher electrical efficiency than waste incinerators. Or, alternatively, if it could be utilised in industrial plants such as cement production. It was therefore the goal to increase the heat value and reduce the content of chloride, sulphur and alkali metals. The list below shows a number of combustion parameters compared to the mixed MSW.

	TS	Ash	Heat value	C	H	N	Cl	S	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
	% of ww	% of DM	MJ/kg DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM
Screen fraction	60,8	12,6	24,8	52,7	7,2	1,1	0,6	0,13	0,31	0,29	0,69
MSW	52,0	24,1	18,9	43,0	5,7	1,3	0,6	0,20	0,75	0,48	1,76

Average values, weighted average of the content in biopulp, oversize and reject

It is seen that the dry matter has a higher heat value than the average MSW. The removal of inorganic material and the high content of plastic can explain this. The dry matter content is also increased but not as much as expected.

Reject

The reject is the dry fraction from the Dewaster screw-press. The fraction contains mainly paper- and plant fibres, plastic and inorganic components such as gravel, glass and aluminium.

There are basically three ways of disposing of this fraction: Incineration in a waste incinerator, co-burning in industrial plants or composting prior to landfill. The list below shows a number of combustion parameters compared to the mixed MSW.

	TS	Ash	Heat value	C	H	N	Cl	S	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
	% of ww	% of DM	MJ/kg DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM	% of DM
Reject	58,6	36,6	14,9	37,1	4,8	1,3	0,4	0,19	0,80	0,66	2,86
MSW	52,0	24,1	18,9	43,0	5,7	1,3	0,6	0,20	0,75	0,48	1,76

It is seen that the heat value is lower than for average MSW, which is explained by the higher ash content. The level of chloride is lower, while the level of alkali metals is higher than in mixed MSW.

Metal

The metal fraction covers app. 2 per cent of the total MSW. The sorting quality was not optimised during the study, and the type of magnet used was not the best solution. Therefore, visually, the metal was somewhat contaminated with organic material. Nevertheless, the company Uniscrap A/S has recycled the metal without problems. A previous study shows that up to 70% of the sheet metal decomposes during incineration in a normal waste incineration plant. Most of the metal fraction is estimated to be sheet metal, which means that the mechanical sorting plant has the potential of higher metal recycling.

ECONOMICAL EVALUATION

Capacity

During the tests, the average capacity of the test plant was app. 1.8 tonnes/hour on one Dewaster unit. The variation was 1.4 – 2.4 tonnes/hour (MSW). If the numbers are corrected for the extra start-up and shut-down time, compared to a commercially operating plant, the capacity is estimated to be app. 2.0 tonnes MSW/hour. On a commercial plant in Århus for treatment of source-sorted OFMSW, a number of improvements have been made, compared to the plant used in this study. The input to the Dewaster units on this plant is app. 2 tonnes/hour (after the screen fraction) even though the sorting quality is not optimal. It is estimated that a similar capacity can be obtained on mixed MSW, which means that the total capacity should be up to 3 tonnes MSW/hour in a new installation.

Wear

The mechanical wear on the screw press is the most important cause of service and maintenance costs. During the construction of the plant in Århus, the focus was on efforts to minimise wear and tear. At the present stage of development, the screw press should be renovated for each app. 1000 tonnes.

It has during the study not been possible to gain precise data of the wear and tear when running on mixed MSW, but it is estimated that the wear is not significantly higher than when running on source-sorted waste. On this basis all the economic estimates are based on the consumption of spare parts estimated for source-sorted waste.

Economy scenarios

During three scenarios, the economical basis on commercial mechanical waste separation was studied. The scenarios only focus on the costs directly connected to the sorting equipment installation, operation and maintenance. Costs for buildings, administration and transportation etc. are not included in the scenarios. Also the potential value of the different fractions is not included in the scenarios.

Scenario 1 is based on a new plant including two Dewaster units. The total capacity is set to 4 tonnes MSW/hour. The plant is operated in one-shift, app. 2100 hours per year. The depreciation is made over five years at 6%. The plant price is estimated to be 7,500,000.00 DKK. It is estimated that the operator does not have other assignments.

The total cost of the operation is calculated to be app. 324.00 DKK/tonnes MSW

Scenario 2 is based on the same plant as scenario 1, but the plant is operated in two-shift, app. 4200 hours/year. The operator is assigned to other tasks during 50% of the time of operation.

The total costs of the operation are calculated to be app. 192.00 DKK/tonnes MSW

Scenario 3 is based on the treatment of 100,000 tonnes MSW per year. The operation is based on two-shift on 8 Dewaster unit plants. The total capacity is 20 tonnes MSW/hour. The depreciation time is raised to eight years at 6%. The plant price is estimated to be 23 mill. DKK. Two operators are estimated to be on the plant during operation.

The total cost of the operation is calculated to be app. 117.00 DKK/tonnes MSW

It is estimated that if only metal and biopulp are recycled, a decrease of 25% in waste for incineration is obtained. At an estimated cost of incineration of DKK 500.00/tonnes (incl. environmental taxes), savings of DKK 125.00 are obtained, based on cost-free disposal of metal.

The biopulp generates a theoretical biogas yield of 194 Nm³/tonnes. Based on 70% digestion efficiency a realistic outcome is 136 Nm³ biogas. Based on biogas data from the Danish Energy Authority (December 2001 and June 2002) an average profit from selling biogas energy can be estimated at app. DKK 2.00 per Nm³ biogas, although there are large variations between the different biogas plants.

The theoretical profit from selling biogas produced on biopulp is DKK 272 per tonne biopulp. If the expenses at the biogas plant for operation and spreading of the residues are estimated at DKK 70.00, the net energy value of the biopulp is app. DKK 202.00 per tonne. Giving 230 kg of biopulp per tonne of MSW (23%), one tonne of MSW has a biogas value of app. DKK 46.00

In total, the mechanical sorting generates “savings” of DKK 125.00 and a “profit” of DKK 46.00, in total a margin of DKK 171.00 per tonnes MSW compared to incineration. This is more than the expenses in scenario 3, and gives reason to assume that mechanical sorting of household waste with the Dewaster system can be profitable at large scale.

The above calculations and estimations are based on the financial conditions of the companies, and, thus, include savings of incineration taxes. Further, the calculations do not cover the expenses relating to buildings, administration and transport etc. In a more specific evaluation of the economic consequences, the actual obtainable disposal price at the biogas producers, the possible use of other fractions and the costs and benefits not quantified in the scenarios should be taken into consideration.

THE ENVIRONMENTAL PERSPECTIVE OF THE PROJECT

The evaluation of previous projects regarding utilisation of OFMSW, all by source-sorting, shows that the environmental benefit is very small and very expensive to obtain. There are two main reasons for this. The separate collection of “green” and “black” bags is expensive and energy-demanding, and it is only the organic fraction that is recycled, while the rest is incinerated. Further, organic material is lost during the source-sorting when it is put into the wrong bag.

Collection of mixed MSW followed by mechanical separation of the waste into a number of fractions can possibly change this picture. The OFMSW can be obtained without costs of installation, operation and environmental costs of the separate collection. Further, the potential quantity of organic material is increased, since nothing is lost in the wrong fraction. Source-sorting is often just a question of using the organic fraction, while the mechanical sorting presented in this study has the potential of metal recycling and co-incineration.

In connection with the installation of new incineration plants, both environmental and economic benefit may be obtained by mechanical sorting

of MSW combined with a smaller incineration plant – or no incineration plant at all. In Denmark this has limited relevance since Denmark already has sufficient incineration capacity for the produced MSW, but in the UK and the southern part of Europe it may be most relevant when MSW is no longer permitted on the landfills.

1 Projektets formål

Evalueringen¹ af tidligere projekter omkring udnyttelse af det biologiske potentiale i husholdningsaffald, alle ved kildesortering, har vist at det biologiske materiale kan udnyttes ved bioforgasning. Der er en tendens til at bioforgasning giver en energimæssig fordel frem for forbrænding, men den samfundsøkonomiske omkostning er relativt høj, ca. 250 mill. kr. pr. år på landsplan. Dette skyldes bl.a. at den tostrengede indsamling af en "grøn" og en "sort" fraktion uforholdsmæssig dyr og at der mistes en del af det biologiske affald ved fejlsortering.

På baggrund af et pilotforsøg med mekanisk udskillelse af biologisk materiale fra normal usorteret dagrenovation, har det været projektets hovedformål at eftervise om dette var muligt i stor skala.

1.1 Formål ifølge projektansøgning

"Formålet med projektet er at eftervise om det er muligt at udskille en ren biomassefraktion ud fra almindeligt usorteret dagrenovation ved hjælp af bl.a. den af EWOC A/S udviklede Dewaster. Formålet er samtidig at undersøge, om det er muligt at udskille andre fraktioner, såsom magnetisk metal og plast/papir i separate fraktioner, som er egnede til henholdsvis genanvendelse eller energiudnyttelse i andet end forbrændingsanlæg. Endelig er formålet at konstatere slid og andre parametre, der vil gøre os i stand til at beregne en pris på, hvad det vil koste at indføre denne proces og hvilke fordele det vil indebære".

1.2 Konkrete projektmål

- Mekanisk frasortering af biologisk materiale i form af en pumpbar masse "biopulp" i en kvalitet, fysisk såvel som kemisk, der gør det egnet til anvendelse i et biogasanlæg med efterfølgende udspreddning på landbrugsjord eller i en rådnetank på et kloakværk med biogasudnyttelse.
- Vurdere om det er muligt at frasortere metal i en kvalitet, der gør det egnet til videreforarbejdning på en skrotoparbejdningsvirksomhed.
- Vurdere om det er muligt at frasortere emballageaffald (plast/papir) med tilstrækkelig renhed til at det kan udnyttes ved medforbrænding i f.eks. cementværk eller kulkraftværk.
- Vurdere anvendelsesmuligheder for restaffaldet.
- Projektet har været tilknyttet et projekt udført af ELSAM A/S, med det formål at producere ethanol ud fra bl.a. husholdningsaffald. Det har i den sammenhæng været et mål at vurdere de forskellige delfraktioners anvendelse til dette formål.

1.3 Succeskriterier

Forud for projektet er der opstillet to enkle succeskriterier:

- At vise at det er muligt at frasortere 20 – 25% af husholdningsaffaldet i form af biopulp, regnet på et tørstofindhold på ca. 28%
- At vise at det er muligt at opnå en biopulp som overholder slambekendtgørelsens krav for indhold af tungmetaller og miljøfremmede stoffer, og som er fri for plastik og andre fremmedlegemer.

2 Baggrund for projektet

Det udstyr og de erfaringer, som ligger til grund for tilblivelsen af dette projekt, stammer fra behandlingen af kildesorteret biologisk affald forud for bioforgasning.

De fleste steder i landet, hvor man har indført kildesortering for at foretage en udrådning i et biogasanlæg, har der været problemer med urenheder i den biologiske fraktion. Urenhederne er havnet i biogasanlæggene, hvor især de lette fraktioner har givet problemer i form af et massivt flydelag. Dette er også en af årsagerne til at kildesortering er opgivet flere steder, både i Danmark og i udlandet.

EWOC A/S begyndte i 1998 at udvikle en presse, Dewaster, med det formål at fjerne urenhederne inden de nåede biogasanlæggets reaktor. En mere detaljeret beskrivelse heraf fremgår af rapporten "Vurdering af Dewaster til forsorering af kildesorteret organisk husholdningsaffald" udgivet af Ålborg Kommune med støtte fra Energistyrelsen, maj 2000.

Dewaster anlægget udskiller en stor del af det biologiske materiale, som under højt tryk og mekanisk bearbejdning kan gøres flydende. En del papir- og plantefibre vil også være at finde i den afpressede biopulp. Biopulpen er pumpbar og minder om tyk spildevandsslam, men uden nogen særlig lugt.

I løbet af 2001 – 2002 er Dewaster pressen og følgeudstyr videreudviklet og optimeret til behandling af kildesorteret biologisk affald. Denne udvikling har fundet sted under kommercielle forhold. Det største erfaringsgrundlag med kildesorteret affald stammer fra ca. 1½ års drift for affaldsselskabet Noveren I/S. I denne periode blev alt "grønt" affald indsamlet i selskabets 9 medlemskommuner (ca. 3.000 tons) behandlet på et Dewaster anlæg. Den producerede biopulp blev leveret til biogasanlægget i Snertinge.

Efter flere forespørgsler på behandling af usorteret affald, blev der i november 2002 udført et én-dags pilotforsøg med usorteret affald fra blandet bebyggelse. Affaldet kom fra Roskilde, som er uden for Noverens område og hvor der ikke er tradition for kildesortering. Det viste sig overraskende at tungmetalindholdet i biopulp fra usorteret dagrenovation var lige så lavt som i biopulp fra kildesorteret affald. Også målingerne på miljøfremmede stoffer var gode, bortset fra en lille overskridelse på PAH, i forhold til *Slambekendtgørelsens* grænseværdier².

Nærværende projekt er blevet til på baggrund af erfaringerne med kildesorteret affald og de gode resultater fra pilotprojektet med usorteret dagrenovation. For at projektet kunne realiseres var der imidlertid behov for en partner, der kunne levere de nødvendige mængder usorteret dagrenovation, aftage sorteringsfraktionerne og stille den nødvendige plads mv. til rådighed, samt bidrage med faglig sparring

Da ELSAM A/S var (og er) i færd med at udvikle en metode til at producere ethanol ud fra bl.a. halm og husholdningsaffald, men endnu ikke havde

udviklet en metode til at sortere affaldet, var der en naturlig symbiose i at placere Dewaster projektet i tilknytning til ethanol projektet (IBUS).

Denne placering gav desuden grundlag for at vi fik bedre mulighed for at teste forbrændingsegenskaber mv. for nogle af fraktionerne.

3 Sorteringsanlægget

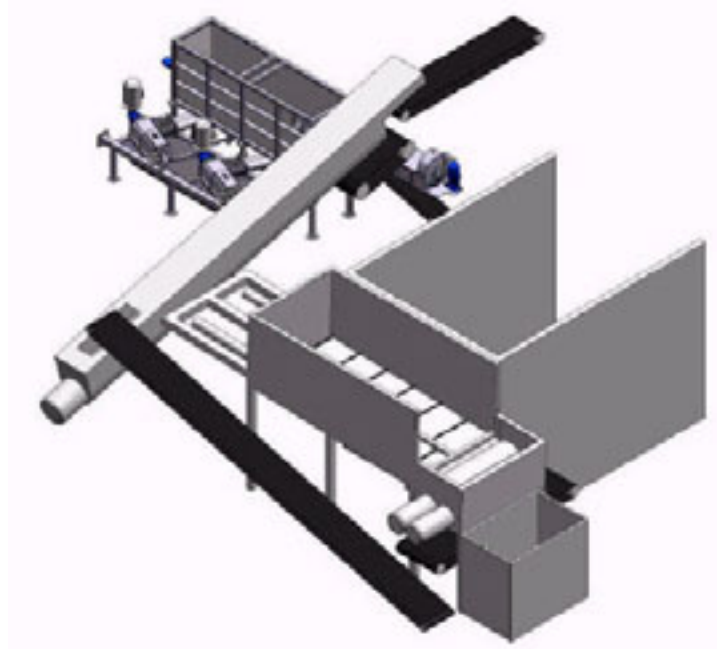
Det Dewaster anlæg, som er benyttet i dette projekt er i sin grundopbygning identisk med anlægget til behandling af kildesorteret affald. Hovedkomponenterne er de samme som har været anvendt i behandlingen af ca. 3.000 tons kildesorteret affald hos Noveren I/S.

Opstarten med usorteret affald overraskede positivt. Der var oprindeligt afsat ca. én måned til indkøring, men allerede efter få dage og uden voldsomme ændringer var anlægget i "normal" drift.

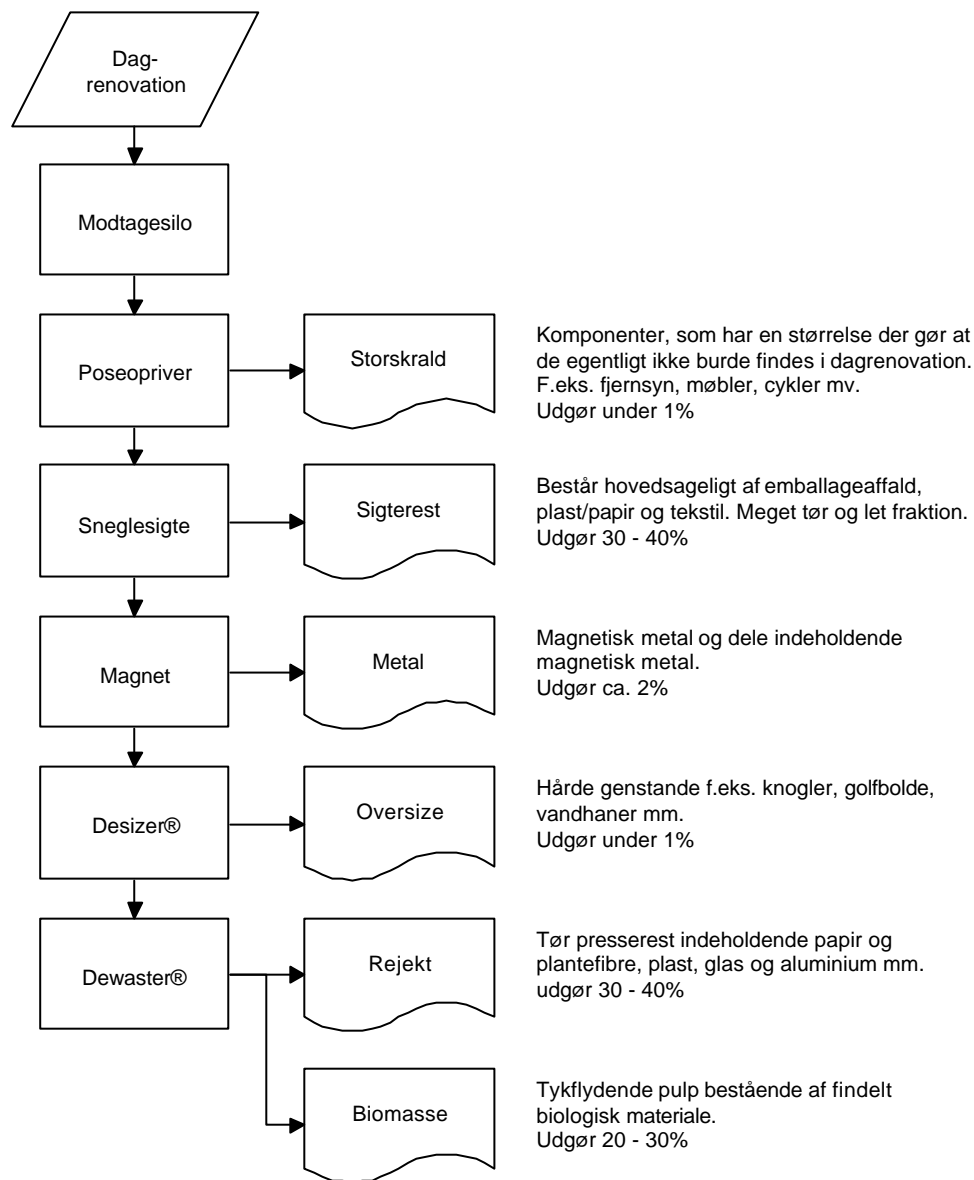
3.1 Anlægsopbygning

Princippet i anlægget er baseret på en skånsom åbning/oprivning af affaldsposerne, således at store partikler forbliver store og det biologiske materiale ikke æltes sammen med det øvrige affald. I forbindelse med denne åbning af affaldsposerne fjernes store affaldsemner (storskrald), som rettelig ikke hører hjemme i den normale dagrenovation. Efter oprivningen foretages en størrelsessortering af affaldet. Langt hovedparten af det biologiske affald er mindre end ca. 10 cm kantlængde. Ved denne indledende sortering fremkommer en fraktion af emballageaffald, som udgør ca. 35% af affaldsmængden. Fraktionen indeholdende det biologiske materiale ledes over en magnet og en Desizer[®], som fjerner hårde genstande. Til sidst afsluttes med presning i en Dewaster enhed. Nedenstående ses en skematisk opbygning af anlægget og de genererede sorteringsfraktioner.

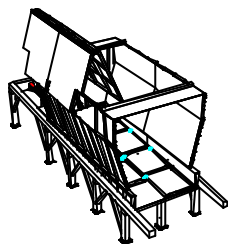
Dewaster anlægget var under forsøget opbygget i en telthal på ca. 10x12 m. Et tilsvarende areal uden for telhallen blev brugt til containere og køretøjer mv. Anlægget var placeret på Fynsværket i Odense i umiddelbar nærhed af IBUS projektets anlægsfaciliteter.



Figur 1 Anlægsopbygning

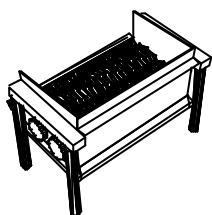


3.1.1 Modtagesilo



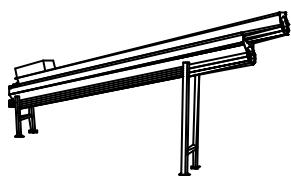
Modtagesiloen består af en ca. 20m³ opsvejt plansilo udstyret med hydraulisk skubbebund. Modtagesiloen fyldes med gummiged og indeholder op til ca. 8 tons affald. Skubbebunden doserer affaldet til poseoprivern. Doseringshastigheden styres manuelt eller via energiforbruget på poseoprivern. Andre former for silo/doseringsudstyr vil også kunne løse opgaven.

3.1.2 Poseoprøver



Den anvendte poseoprøver er opbygget som en grov neddeler. Den består af to vandret liggende aksler, hver med 25 opriverskiver med en diameter på 850 mm. Akslerne er hydraulisk drevne og roterer mod hinanden. Ved fastkørsel reverserer akslerne og evt. fremmedlegemer (storskrald) kan automatisk udkastes. Affaldsposerne flås itu men efterlades i meget store stykker, som senere er lette at sortere fra.

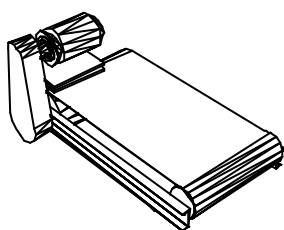
3.1.3 Sneglesigte



Som sigteprincip er valgt en sneglesigte, men andre sigteprincipper er mulige. Sneglesigten er opbygget som to sammenbyggede centerløse snegle indbygget i U-formede profiler. Profilerne er sammenbygget, således at den ene ligger over den anden. Bunden i den øverste profil er udført i udstanset hulplade med en hulstørrelse på ca. 80 X 50 mm, hullerne dækker ca. 70% af arealet. Bunden i den underliggende profil er beklædt med lavfriktions plastmateriale.

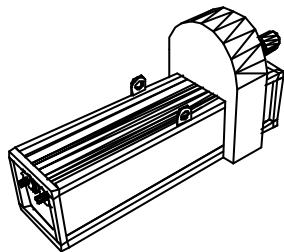
Affaldet tilføres i den øverste snegls lave ende og transporteres af sneglen mod topenden. Undervejs tømmes de åbnede poser og alle små dele, herunder hovedparten af det biologiske materiale falder gennem hulpladen til den nederste snegl. Affaldets store genstande, hovedsageligt papir- og plast emballage (sigterest) føres af den øverste snegl til en container.

3.1.4 Magnetseparator



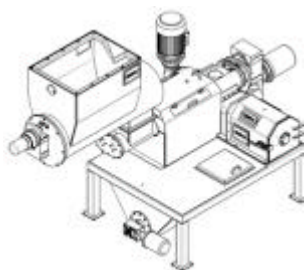
Fra sneglesigten føres den "lille" fraktion over en magnetseparator. I forsøget er valgt en underbåndsmagnet men det har ved senere installationer vist sig at en overbåndsmagnet kan lave en renere metalfraktion. Desuden er der i senere installationer indsat en hvirvelstrøms separator, som frasorterer en del aluminium.

3.1.5 Desizer®



Desizer^a enheden udskiller væsentlige fremmedlegemer som sten, hårde knogler, golfbolde mv. som vil kunne medføre blokering af Dewaster enheden. Desizer enheden er opbygget som dobbeltvalse med fremdriver (riffelgang). Mellem valserne er en spalte på ca. 1,5 cm. Større bløde dele deformeres og passerer mellem valserne mens større hårde genstande drives til den ene ende, hvor de udkastes. Desizer enheden er udviklet af EWOC. For visse typer affald kan den erstattes af en shredder, men det vurderes ikke at være muligt med dagrenovation.

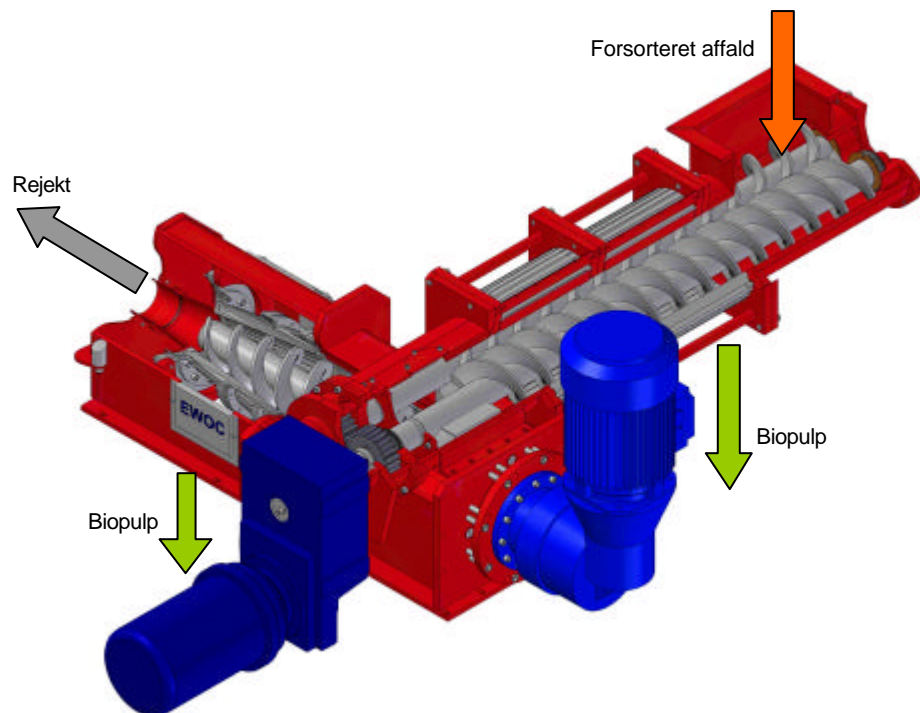
3.1.6 Dewaster®



Fra Desizer enheden føres affaldet til en buffertank, hvorfra den kan doseres jævnt til Dewaster^b enheden. Buffertanken er i bunden forsynet med to vandretliggende snegle med modsatrettede vindinger. Sneglenes udformning sikrer at affaldet holdes i en konstant cirkulerende bevægelse. Dewaster enheden består af to pressetrin, først en dobbeltsneglet lavtrykspresse som presser luft og væske ud af affaldet og føder slutpressen. Slutpressen består af en kraftig konisk sneglepresse, som under højt tryk presser det biologiske materiale ud gennem en række langsgående spalter. Pressehuset består af 38 fikserede, langsgående stave, som danner 38 spalter med en længde på ca. 400 mm. Spaltebredden i både forpresse og slutpresse er ca. 1,3 mm. Den tørre presserest føres ud af pressens ende gennem et passende modhold, mens biopulpen falder ned i en underliggende tank, hvorfra den kan pumpes bort.

^a Ordene Dewaster og Desizer er registrerede varemærker ejet af EWOC A/S.

^b Ordene Dewaster og Desizer er registrerede varemærker ejet af EWOC A/S.



Figur 2 Snit af Dewaster

3.2 Anlægsændringer i forhold til kildesorteret affald

Det tilsvarende Dewaster anlæg har tidligere været anvendt til behandling af kildesorteret biologisk affald. Da det usorterede affald adskiller sig, bl.a. med hensyn til mængden af biologisk materiale og arten og hyppigheden af uheldige fremmedlegemer, har det været nødvendigt at foretage en række modifikationer. Disse anlægsændringer er i stor udstrækning foretaget på baggrund af forudsete problemstillinger og således implementeret inden anlægget blev endeligt opstillet.

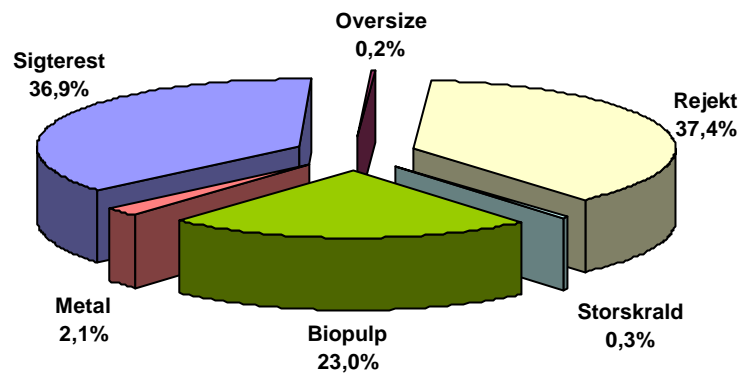
Modtagesilo og skubbebund er lavet i en kraftigere udførsel end til kildesorteret affald, for at kunne modstå de mange "grove" komponenter i affaldet.

Dewaster enhedens første pressetrin er blevet ændret idet sneglene har fået dobbelte vindinger. Denne ændring er indført for at få en bedre afpresning, idet der i perioder er tilsat vand til affaldet for at øge udbyttet af biologisk materiale.

Komprimeringsforholdet i Dewaster enheden er sat ned for at harmonere med den større %-del af rejekt i det usorterede affald.

Dewaster enhedens pressekurv er ændret således at den består af færre men kraftigere stave. Spaltearealet er således også formindsket en smule, men det har tilsyneladende ikke haft indflydelse på afpresningen.

3.3 Sorteringsfraktioner



Figur 3, %-fordeling af sorteringsfraktioner, gennemsnit af fire testdage

Sorteringsanlægget leverede automatisk sorteringsfraktionerne i hver sin container. De små fraktioner (storskrald, metal, oversize) blev opsamlet i 600 l gaffeltruck containere, som kunne vejes og tømmes manuelt. Sigteresten blev opsamlet i en ca. 15 m³ pressecontainer. Rejektet blev opsamlet i en ca. 15 m³ standardcontainer med presenning. Biopulpen blev opsamlet i en ca. 15 m³ lukket slamcontainer.

4 Forsøg og dataopsamling

Forsøgsperioden, som effektivt varede ca. 3 mdr., var opdelt i en "normal" daglig drift samt et antal egentlige testdage med deltagelse fra M&R DTU.

Både under den normale drift og på testdagene blev der opsamlet forsøgsdata. Anlægsændringer, optimeringsforsøg og andre "forstyrrende" tiltag blev lagt i den normale driftsperiode, hvorfor resultaterne herfra også har de største udsving.

Der blev afholdt fire testdage med M&R DTU's deltagelse, hver med behandling af ca. 8 - 12 tons affald. På disse dage blev det tilstræbt at anlægget havde samme konfiguration, for også at kunne spore evt. variationer i affaldets sammensætning.

4.1 Daglig procedure

Anlægget har været i drift på stort set alle hverdage i perioden 5/9 til 30/11 2003. Hver dag modtog anlægget ét læs dagrenovation indsamlet af Odense Renovation i enten områder med villa bebyggelse eller fra etageejendomme. Læssene havde en vægt på 6 - 12 tons, typisk ca. 8 tons, hvilket gav tid til oparbejdning, vejning, prøveudtagninger, oprydning mv. inden for en normal arbejdsdag. Affaldet blev typisk oparbejdet med én dags forsinkelse, da leveringen først skete sidst på formiddagen.

Alt affald blev indvejet over Fynsværkets / Odense Kraftvarmeværks normale brovægte og automatisk registreret på EDB.

Efter oparbejdningen blev de tre "små" fraktioner (storskrald, metal og oversize) manuelt vejet vha. palleløfter m. digital vægt. Herefter blev de tre fraktioner overført til containeren med rejekt. I den sidste halvdel af forsøget blev metal dog leveret til Uniscrap A/S. De tre store fraktioner blev udvejet over værkets brovægte og automatisk registreret på EDB inden de blev overført til forbrændingsanlægget. Vægten af de tre små fraktioner blev efterfølgende fratrukket vægten af rejektcontaineren. I en periode blev biopulpen leveret til et lokalt biogasanlæg indtil en analyse gav mistanke om for højt kviksølvindhold. Senere analyser afkræftede dog denne mistanke.

For at få klare afgrænsninger mellem indput og output, blev der lavet en massebalance rapport for hvert 1 - 2 læs affald, hvilket svarede til den mængde outputcontainerne kunne rumme. Ud over registrering af de enkelte vægte blev vandtilsætning, el-forbrug og driftstid registreret med hver massebalance. Der er i alt lavet 30 massebalance registreringer, som tilsammen omfatter 383 tons tilført husholdningsaffald.

Opsamlingskaret for biopulp, under Dewaster[®] enheden, rummer ca. 500 l. Hver gang den er fuld pumpes biomassen automatisk til transportcontaineren. Ved forsøget blev dette dog ændret, så udpumpningen foregik manuelt. Umiddelbart før hver udpumpning blev der udtaget ca. 1,5 kg. biopulp.

Opsamlingskaret var fuldt omrørt af to bundsnegle, så den udtagne prøve var repræsentativ for den udpumpede mængde biopulp.

De udtagne prøver af biopulpen blev samlet i en spand og for hver afsluttet massebalance blev spanden kraftigt omrørt med elektrisk røreværk. Af de ca. 10 kg opsamlet prøve blev der udtaget en delprøve på ca. 1 kg til nedfrysning og referenceopbevaring. Evt. yderligere delprøver blev udtaget med henblik på analyse.

Nogle dage blev der tillige udtaget prøve af rejktet og der blev målt tørstofindhold på rejkt og biomasse (hurtigmåling på stedet), som hjælp til operatørens visuelle bedømmelse af driftsforholdene.

4.2 Affaldet

Hovedparten af affaldet stammer fra 10 forskellige områder i Odense. De 9 områder var varierende villabebyggelse, både nyere og ældre, mens den sidste var etagebyggeri i den indre by, hvor en stor del af affaldet blev opsamlet i 6 – 800 l containere. På én af de fire testdage kom affaldet fra et nyere område med etagebyggeri, hvor hovedparten af affaldet ligeledes var indsamlet i 6 – 800 l containere.

Visuelt og driftsmæssigt blev der ikke observeret den store forskel på om affaldet kom fra villa- eller etagebyggeri. Dog var der en tendens til at der var større fremmedlegemer i affald indsamlet i containere. F.eks. blev der konstateret fjernsyn, støvsugere og bildele mv. i disse læs, men procentvis udgjorde disse fremmedlegemer fortsat kun en meget lille del

Indholdet af aviser og ugeblade i affaldet var forholdsvist lavt, hvilket skyldes at der i Odense er husstandsindsamling for disse fraktioner. Den seneste undersøgelse³ af sammensætningen af dagrenovation i Danmark bekræfter at mængden af genanvendeligt papir er signifikant mindre i husholdningsaffald i Odense end for landsgennemsnittet.

4.3 Fire specifikke testdage

M&R DTU har deltaget med prøveudtagning og forsøgsovervågning fire dage i løbet af perioden. To af dagene (28/10 og 18/11) blev kørt med husholdningsaffald fra ældre villaområder, mens de to andre dage (29/10 og 19/11) blev kørt med affald fra etagebyggeri.

4.3.1 Testprocedure

For hver af de fire testdage blev anlægget tømt for affald og der blev lavet en komplet massebalance samt registreret forbrug af el, vand og drifttid.

Der blev udtaget prøver af de tre ”store” fraktioner (biopulp, rejkt og sigterest). For at kunne vurdere variationen i affaldet i forhold til variationen mellem de enkelte testdage og boligtyper blev der udtaget ét sæt prøver for den første halvdel af det behandlede affald og ét sæt for den anden halvdel (formiddag og eftermiddag) i alt 8 prøver af hver fraktion.

Prøvetagningen af biopulp foregik på samme måde som på de øvrige driftdage. Hver gang opsamlingskaret under Dewaster[®] enheden var fuldt blev der udtaget ca. 1,5 kg. biopulp, herefter blev biopulpen pumpet ud i

transportcontaineren. Opsamlingskaret var fuldt omrørt af to bundsnegle, så den udtagne prøve var repræsentativ for den udpumpede mængde biopulp. Prøverne blev samlet i en spand og omrørt grundigt med elektrisk røreværk. Af denne samleprøve blev der udtaget et antal delprøver á ca. 1 kg. (Referenceprøve til fryser, prøve til eksternt laboratorium for bestemmelse af miljøfremmede stoffer og tungmetaller, prøve til Elsams laboratorium, bl.a. til bestemmelse af grundstofsammensætning (denne prøve blev dog senere sendt til M&R DTU og analyseret i Sverige), prøve til M&R DTU, bl.a. til bestemmelse af ernæringsparametre).

Rejektet fra Dewaster[®] enheden blev løbende transporteret af en snegl ud til en transportcontainer. Ved udløbet af sneglen blev der for hver 15 min. udtaget ca. 1 liter prøve. prøverne blev opsamlet i en spand med låg for at undgå fordampning. Den samlede prøve blev blandet grundigt og et antal delprøver blev udtaget. (Prøve til Elsams laboratorium, bl.a. til bestemmelse af grundstofsammensætning (denne prøve blev dog senere sendt til M&R DTU og analyseret i Sverige), prøve til M&R DTU, bl.a. til bestemmelse af ”ernærings”-parametre).

Sigteresten blev løbende transporteret af et bånd til en skakt, hvor det faldt ned i en pressecontainer. I skakten var det monteret en låge for prøveudtagning. Da denne fraktion bestod af store inhomogene emner var det nødvendigt med en væsentligt større prøve end for de andre fraktioner, for at få retvisende analyser. Der blev udtaget ca. 100 kg jævnt fordelt over testperioden (50 kg formiddag + 50 kg eftermiddag). Prøverne blev i første omgang opsamlet i 1 m³ storsække og efterfølgende neddelt i en finsnitter til ca. 2 X 5 cm. En delmængde af det neddelte materiale blev løbende udtaget og efterfølgende blandet grundigt. Fra denne delmængde blev et antal delprøver udtaget til analyse. (Prøve til Elsams laboratorium, bl.a. til bestemmelse af grundstofsammensætning (denne prøve blev dog senere sendt til M&R DTU og analyseret i Sverige), prøve til M&R DTU).

For hver testdag blev der således udtaget to sæt prøver (formiddag + eftermiddag) af biopulp, rejkt og sigterest.

Der var på de fire testdage ingen egentlige driftsforstyrrelser, dog betød et defekt stik at sneglesigten på én af dagene (18/11) blev overfyldt og funktionen derfor ikke var optimal. Dette resulterede i en større mængde sigterest end på de øvrige dage. Udbyttet af biopulp blev dog ikke påvirket synligt.

Af nedenstående tabel ses de behandlede mængder på testdagene samt indsamlingsområderne.

Tabel 1 Dagrenovation på testdage.

Dato	Mængde	ID	Affaldstype	Indsamlingsområde
28/10	7.460	M018	Ældre villa	Munkebjerg / Kragssbjerg
29/10	11.720	M019	Nyere etage	Blangstedgård
18/11	6.340	M025	Ældre etage	Odense C
19/11	7.820	M026	Ældre villa	Åløkke - Tarup

4.3.2 Analyseprogram

Analyseprogrammet er fastlagt i samråd med M&R DTU og ELSAM, for dels at kunne efterprøve de opstillede målsætninger for projektet og dels for at

gøre resultaterne sammenlignelige med tidligere undersøgelser af behandlingsanlæg for kildesorteret affald.

Tabel 2 Analyseplan

Fraktion	Analyser	Laboratorium
Biomasse	Tørstof, Kvælstof, Fosfor, Bly, Cadmium, Krom, Kobber, Kviksølv, Nikkel, Zink, NPE, PAH, DEHP, LAS. Efter slambekendtgørelsens regler.	AnalyCen / Eurofins
	Tørstof, VS, Foderstofanalyse, Brændværdi, Klor, Kalium, Svovl, Tungmetal screening, Primære grundstoffer.	M&R DTU / SLU / DLG
Rejekt	Tørstof, VS, Foderstofanalyse, Brændværdi, Klor, Kalium, Svovl, Tungmetal screening, Primære grundstoffer.	M&R DTU / SLU / DLG
Sigterest	Tørstof, VS, Foderstofanalyse, Brændværdi, Klor, Kalium, Svovl, Tungmetal screening, Primære grundstoffer.	M&R DTU / SLU / DLG
Storskrald	Ingen	
Metal	Ingen	
Oversize	Ingen	

Ud over analyserne på testdagene er der udført et antal tørstofbestemmelser på rejekt og biomasse og foretaget kontrolanalyser for tungmetaller og miljøfremmede stoffer på biomassen.

I en periode efter forsøgets afslutning vil referenceprøver blive opbevaret på frost til evt. senere verifikation eller yderligere analyser.

4.4 Forsøg på IBUS anlægget

IBUS projektet, som dette projekt er udført parallelt med, går kort fortalt ud på at fremstille ethanol ud fra bl.a. halm og husholdningsaffald. Som et indledende forsøg i IBUS projektet er det undersøgt om det er muligt at hydrolysere halm ved højt tryk og temperatur i en kontinuert proces. Hertil er der opbygget et forsøgsanlæg, som var placeret i umiddelbar nærhed af Dewaster anlægget.

IBUS anlægget er blevet testet med rejekt og sigterest fra Dewaster forsøget for at undersøge om det gav mekaniske problemer at hydrolysere fibermaterialet i disse fraktioner under tilstedeværelse af store mængder plast. Der viste sig ingen mekaniske vanskeligheder under de korte forsøg. Dog er der ikke foretaget egentlige hydrolyseringsforsøg. En nærmere gennemgang af forsøgene ligger uden for denne rapportens afgrænsning, ligesom forsøgene ved rapportens udarbejdelse ikke var afsluttet. Den umiddelbare vurdering er at rejekt og sigterest fraktionerne ikke er egnede i IBUS anlægget.

5 Resultater

Set ud fra de opstillede succeskriterier i afsnit 1.3 må projektet betegnes som en succes. Målet om at opnå et udbytte på 20 – 25% biopulp er opfyldt. På de tre af testdagene ligger udbyttet på 24%. Gennemsnittet for hele perioden er 21%. Den normale variation er fra ca. 19 til 26%, men en del småtest trækker gennemsnittet ned. Tørstofindholdet i biopulpen var på testdagene 29 – 34%. Det er således ikke urealistisk at man i et mere permanent produktionsforløb vil kunne opnå et gennemsnitligt udbytte på ca. 25% med den testede affaldssammensætning.

Målet om at biopulpen skulle overholde slambekendtgørelsens krav mht. indhold af tungmetaller og miljøfremmede stoffer er stort set opfyldt – for de fleste stoffers vedkommende med god margin. For DEHP er der dog en mindre overskridelse, som i alle tilfælde er lavere end faktor 2

5.1 Sorteringsfraktioner, massebalance

I det følgende gennemgås de opnåede massebalance resultater, dels for de fire testdage og dels for hele forsøgsperioden.

Tabellerne nedenfor viser sammensætningen for de fire testdage. I alt blev der behandlet godt 33 tons.

Tabel 3 Massebalance data på testdage

Massebalance ID	Dagrenovation	Sigterest	Rejekt	Biopulp vejet (korrigeret for vand)	Biopulp Tørstofindhold	Storskrald	Magnetisk	Oversize	Vand total	Svind
nr.	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
M018	7.460	2.500	3.020	1.800	517	0	142	20	0	-22
M019	11.720	4.320	4.557	2.422	829	86	273	17	518	45
M025	6.340	2.699	1.946	1.521	498	0	103	14	139	57
M026	7.820	2.740	2.916	1.879	628	0	166	4	401	115
SUM	33.340	12.259	12.439	7.622	2.472	86	684	55	1.058	195

Ved tre af forsøgsdagene blev der tilsat vand til affaldet. Dette skete i buffertanken umiddelbart før Dewaster enheden. Vandet blev tilsat for at kompensere for det tab af vand der, i forhold til kildesorteret affald, finder sted ved fugtvandring til f.eks. papir. Formålet var at opløse en del "udtørret" biologisk materiale og dermed øge udbyttet. Det ses at tørstofudbyttet, i forhold til dagrenovationsmængden, var lavest den dag hvor der ikke blev tilsat vand, men nogen entydig sammenhæng ses ikke.

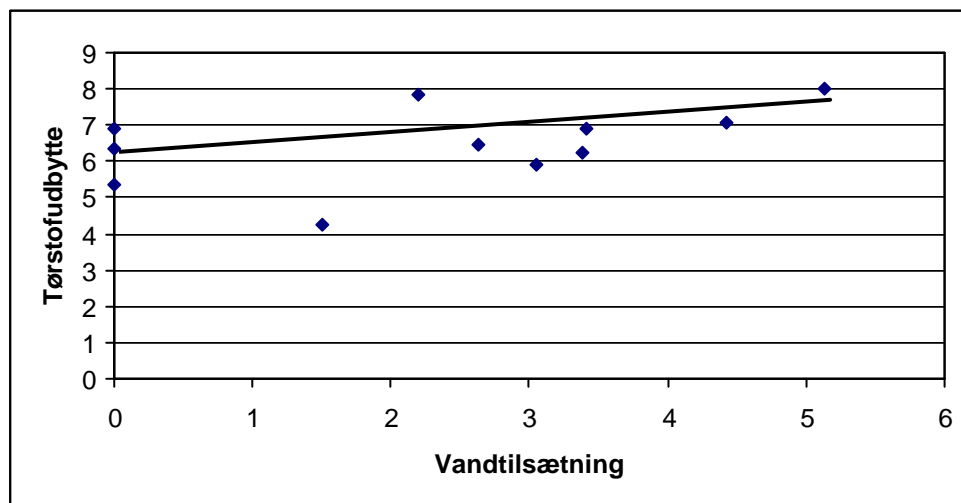
Da vandet blev tilsat inden presningen i Dewaster enheden, er det ikke muligt at sige hvor stor en del af vandet der ender i rejekt hhv. biopulp. I databehandlingen er det derfor *antaget* at alt tilsat vand efterfølgende findes i

biopulpen. Massebalance resultaterne er korrigeret således at den vejede mængde biopulp er blevet fratrukket den tilsatte vandmængde. Herved fås et ret konservativt skøn for det reelle biopulp udbytte, det ses således (Tabel 4 Massebalance %-fordeling) at det korrigerede tørstofindhold i biopulpen er væsentligt over de 28% som er normalt for kildesorteret affald.

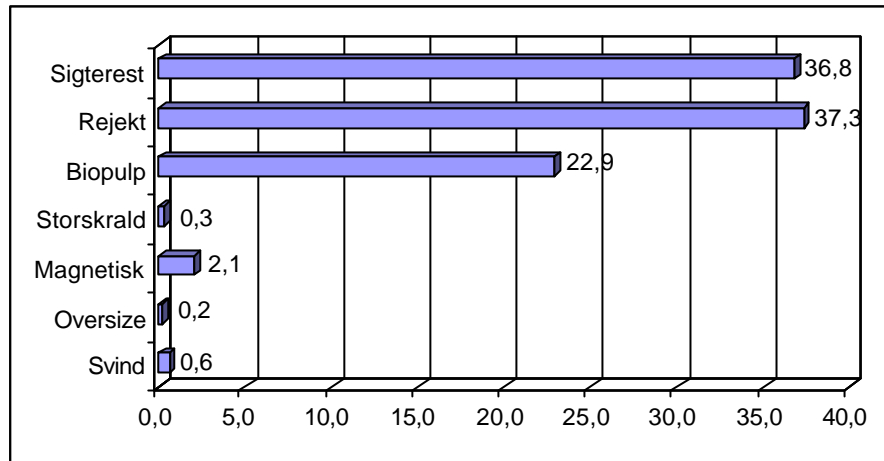
Tabel 4 Massebalance %-fordeling

Massebalance ID	Sigterest	Rejekt	Biopulp vejlet (korrigeret for vand)	Tørstof i biopulp (korrigeret for vand)	Storskrald	Magnetisk	Oversize	Svind
nr.	%	%	%	%	%	%	%	%
M018	33,5	40,5	24,1	28,7	0,0	1,9	0,3	-0,3
M019	36,9	38,9	20,7	34,2	0,7	2,3	0,1	0,4
M025	42,6	30,7	24,0	32,7	0,0	1,6	0,2	0,9
M026	35,0	37,3	24,0	33,4	0,0	2,1	0,1	1,5
GNS	36,8	37,3	22,9	32,4	0,3	2,1	0,2	0,6

Det har ikke været muligt, på det foreliggende datagrundlag, at se entydige sammenhænge. Nedenstående ses som eksempel det totale biologiske tørstofudbytte som funktion af vandtilsætningen i procent af dagrenovationsmængden. Det ses at det muligvis giver et øget udbytte at tilsætte vand og derved opløse noget af det biologiske materiale inden presningen.



Figur 4 Tørstof udbytte i forhold til vandtilsætning, begge angivet i % af dagrenovationsmængden



Figur 5 %-fordeling på testdage

Tabel 5 Massebalance data for hele perioden

Massebalance ID	Dagrenovation	Sigterest	Rejekt	Biopulp vejlet (korrigeret for vand)	Storskrald	Magnetisk	Oversize	Vand total	Svind
nr.	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
M003+4	19.720	8.660	5.353	4.333	0	317	50	1.247	1.007
M005+6	30.400	13.460	8.034	5.947	181	490	75	1.573	2.213
M007+8	22.560	9.760	7.032	4.540	77	422	69	760	660
M009	18.460	6.780	5.088	5.113	0	345	47	967	1.087
M010	18.120	6.560	6.076	4.635	0	328	56	485	465
M011	14.240	5.320	5.386	3.350	52	356	66	0	-290
M012	13.460	4.480	5.021	3.092	0	249	50	38	568
M013	14.820	5.220	5.237	3.660	0	293	63	0	347
M014	18.500	6.140	7.674	3.640	0	421	66	0	559
M015	16.540	6.440	7.191	2.212	0	298	49	248	350
M016	14.420	5.760	5.349	2.766	0	309	71	974	165
M017	14.720	5.260	6.277	2.692	0	316	43	448	132
M018	7.460	2.500	3.020	1.800	0	142	20	0	-22
M019	11.720	4.320	4.557	2.422	86	273	17	518	45
M020	10.580	3.880	4.151	2.189	0	237	9	351	114
M021	14.300	5.500	5.000	3.076	0	267	20	484	437
M022	17.980	6.360	6.428	4.026	0	382	18	474	766
M023	17.020	6.600	5.540	3.880	0	306	0	580	694
M025	6.340	2.699	1.946	1.521	0	103	14	139	57
M026	7.820	2.740	2.916	1.879	0	166	4	401	115
M027	13.240	4.380	5.668	2.467	0	289	12	413	424
M028	5.820	1.920	2.600	1.117	0	130	0	483	53
M029	8.320	2.780	3.560	1.326	0	164	0	434	490
M030	14.310	5.100	5.672	3.168	0	342	28	832	0
SUM	350.870	132.619	124.776	74.851	396	6.945	847	11.849	10.436

Massebalancerne for hele forsøgsperioden viser et lidt lavere gennemsnitsudbytte af biologisk materiale end for de fire testdage. Der er under den "normale" drift foretaget en række justeringer og forsøg, bl.a. med forskellige snegle, modhold, vandtilsætning, hastighed mv. mens det på

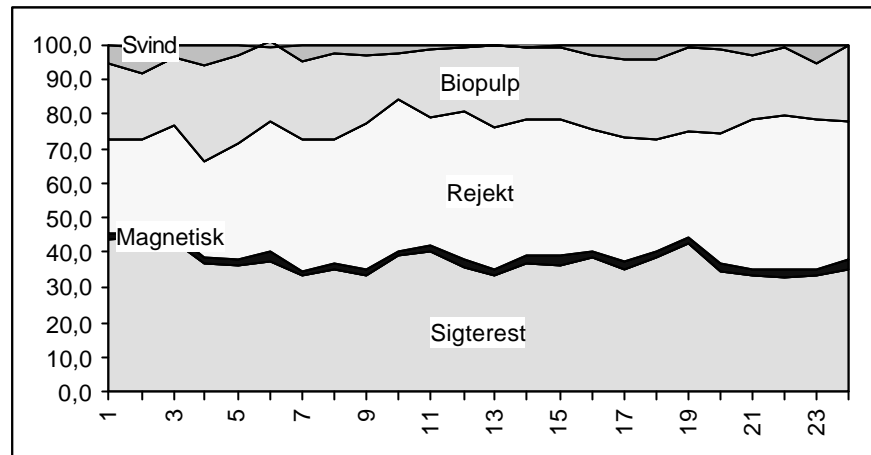
testdagene er forsøgt at holde så stabile forhold som muligt under de givne omstændigheder.

Indledningsvist ses en højere andel af sigterest, hvilket kan henføres til en overfyldning af sneglesigten. På én af testdagene opstod denne situation igen på grund af et defekt stik.

Over hele projektforløbet er der et svind på ca. 3%, hvilket overstiger den usikkerhed der er ved vejningerne. En del af svindet må formodes at hidrøre fra fordampning, hvor det især er rejektet, der med en stor overflade og porøs struktur samt en let opvarmning fra presningen kan give anledning til fordampning.

Table 6 Massebalance %-fordeling for hele perioden

Massebalance ID	Sigterest	Rejekt	Biopulp (Korrigeret for vandtilsætning)	Storskrald	Magnetisk	Oversize	Vandtilsætning vs dagrenovation	Svind	Kapacitet Dagrenovation	Elforbrug pr. tons Dagrenovation
nr.	%	%	%	%	%	%	%	%	kg/t	kwh
M003+4	43,9	27,1	22,0	0,0	1,6	0,3	6,3	5,1	1.823	17,7
M005+6	44,3	26,4	19,6	0,6	1,6	0,2	5,2	7,3	1.972	16,5
M007+8	43,3	31,2	20,1	0,3	1,9	0,3	3,4	2,9	2.358	14,8
M009	36,7	27,6	27,7	0,0	1,9	0,3	5,2	5,9	1.195	25,2
M010	36,2	33,5	25,6	0,0	1,8	0,3	2,7	2,6	1.962	21,5
M011	37,4	37,8	23,5	0,4	2,5	0,5	0,0	-2,0	1.712	23,7
M012	33,3	37,3	23,0	0,0	1,8	0,4	0,3	4,2	1.783	21,5
M013	35,2	35,3	24,7	0,0	2,0	0,4	0,0	2,3	1.694	20,1
M014	33,2	41,5	19,7	0,0	2,3	0,4	0,0	3,0	2.063	21,8
M015	38,9	43,5	13,4	0,0	1,8	0,3	1,5	2,1	2.927	26,1
M016	39,9	37,1	19,2	0,0	2,1	0,5	6,8	1,1	2.271	26,0
M017	35,7	42,6	18,3	0,0	2,1	0,3	3,0	0,9	1.732	34,8
M018	33,5	40,5	24,1	0,0	1,9	0,3	0,0	-0,3	1.472	25,6
M019	36,9	38,9	20,7	0,7	2,3	0,1	4,4	0,4	1.643	29,7
M020	36,7	39,2	20,7	0,0	2,2	0,1	3,3	1,1	1.720	21,9
M021	38,5	35,0	21,5	0,0	1,9	0,1	3,4	3,1	1.484	22,9
M022	35,4	35,8	22,4	0,0	2,1	0,1	2,6	4,3	1.392	24,7
M023	38,8	32,5	22,8	0,0	1,8	0,0	3,4	4,1	2.055	20,4
M025	42,6	30,7	24,0	0,0	1,6	0,2	2,2	0,9	1.393	19,6
M026	35,0	37,3	24,0	0,0	2,1	0,1	5,1	1,5	1.448	23,5
M027	33,1	42,8	18,6	0,0	2,2	0,1	3,1	3,2	1.923	20,6
M028	33,0	44,7	19,2	0,0	2,2	0,0	8,3	0,9	1.809	24,1
M029	33,4	42,8	15,9	0,0	2,0	0,0	5,2	5,9	2.029	19,2
M030	35,6	39,6	22,1	0,0	2,4	0,2	5,8	0,0	1.564	23,5
GNS	37,8	35,6	21,3	0,1	2,0	0,2	2,0	3,0	1.781	22,2



Figur 6 %-fordeling, skematisk oversigt

Det fremgår af tidligere undersøgelser^{1,5} at det er muligt at indsamle op mod 80% af den potentielle mængde biologisk materiale, hvis der ydes en stor indsats i form af oplysning og opfølgning. Af en samfundsøkonomisk analyse af bioforgasning⁴ viser erfaringerne at der indsamles omkring 61% af potentialet. Desuden fremgår det at mængden af fejlsorteringer gør at en mekanisk behandling er nødvendig inden det biologiske materiale kan tilføres til et biogasanlæg. Denne efterfølgende behandling fjerner typisk en rejektmængde på ca. 35% undtagen i nogle få områder med meget ren kildesortering.

Det samlede udbytte af biologisk materiale (den del der når biogasanlægget) ved kildesortering er således omkring 40%, eller måske op til 50% hvis der gøres en ekstra informations indsats. Højst halvdelen af det biologiske materiale ender således i biogasanlægget ved kildesortering. Der regnes her med et tørstofindhold i det biologiske materiale på omkring 29% og VS ca. 88% af TS (gennemsnitstal fra tidligere undersøgelser¹). Det totale VS indhold kan således sættes til ca. 25,5% af det udvundne biologiske materiale.

Det fremgår af Tabel 4 og Tabel 12, at gennemsnitligt 22,9% af dagrenovationen ender som biopulp med et tørstofindhold på 32,4% og VS på 78% af TS. Det totale VS indhold kan således findes til 25,3% af den udvundne biopulp, hvilket er næsten identisk med gennemsnittet af tidligere undersøgelser på kildesorteret affald.

Af den seneste undersøgelse³ af dagrenovations sammensætning fremgår det at i Odense området udgør det biologiske materiale omkring 39% af dagrenovationsmængden (tallet indeholder animalsk-, vegetabilsk- og haveaffald og er korrigeret for fugtvandring).

Udbyttet på 22,9% svarer altså til at 59% af det biologiske potentiale sorteres ud af dagrenovations affaldet. Dette er således mere end der typisk opnås ved kildesortering.

5.2 Karakterisering af Biopulp

Generelt kan biopulpen beskrives som en brun/grå pastøs grød, der minder om spildevandsslam, men uden spildevandsslammets karakteristiske rådne lugt. Kun i forbindelse med tømning af container kan der opstå lugt som følge af anerobe forhold, ellers er lugten svagt sur-sødlig.

Biopulpen er meget biologisk tilgængelig og efter kort tid ses en begyndende gasdannelse, det er derfor vigtigt at containeren med biopulp tømmes ofte, helst dagligt.



Figur 7 Biopulp

5.2.1 Tungmetaller og miljøfremmede stoffer

5.2.1.1 Analyseusikkerhed

For at få et samlet billede af usikkerheden på bestemmelse af tungmetaller og miljøfremmede stoffer, som defineret i *Slambekendtgørelsen*, blev der foretaget kontrolanalyser.

Det laboratorium, som var udset til at foretage alle analyserne, blev bedt om at foretage en akkrediteret prøvetagning af biopulpen iht. Plantedirektoratets retningslinier. Der blev udtaget en samleprøve på ca. 10 kg, repræsentativt for containerens indhold af biopulp. Samleprøven blev omrørt grundigt med elektrisk røreværk og opdelt i et antal delprøver.

Laboratoriet hjemtog samme dag én prøve til analyse. En anden prøve blev samme dag leveret til et andet akkrediteret laboratorium. De øvrige delprøver blev frosset ned. Efter ca. 10 dage blev yderligere én delprøve sendt til det laboratorium, der havde udtaget prøverne. Resultaterne fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 7 Undersøgelse af analyseusikkerhed

Stof	Enhed	Prøve ID	P011	Q011	R011	Max - Min	Max - Min	Middel	Spredning
			M013	M013	M013		% af grænse		
			Lab 3	Lab 2	Lab 3				
Tørstof	%		27,3	28,1	26,7	1,4		27,4	0,7
Kvælstof	g/kg TS		20,6		21	0,4		20,8	0,3
Fosfor	g/kg TS		2,6		2,6	0		2,6	0,0
		Grænse							
Bly	mg/kg TS	120	160	27	19	141	118	68,7	79,2
Cadmium	mg/kg TS	0,8	0,41	0,53	0,28	0,25	31	0,4	0,1
Chrom	mg/kg TS	100	27	29	29	2	2	28,3	1,2
Kobber	mg/kg TS	1000	40	55	79	39	4	58,0	19,7
Kviksølv	mg/kg TS	0,8	1,8	1,3	1,5	0,5	63	1,5	0,3
Nikkel	mg/kg TS	30	10	19	11	9	30	13,3	4,9
Zink	mg/kg TS	4000	190	210	180	30	1	193,3	15,3
NPE	mg/kg TS	10	2,9	1	12	11	110	5,3	5,9
PAH	mg/kg TS	3	1,2	1	0,73	0,47	16	1,0	0,2
DEHP	mg/kg TS	50	61	83	66	22	44	70,0	11,5
LAS	mg/kg TS	1300	25	50	25	25	2	33,3	14,4

Overskridelser af gældende grænseværdier er markeret med fed. Resultater under detektionsgrænsen er markeret med kursiv, halvdelen af detektionsgrænsen er indsat som værdi.

Som det fremgår af resultaterne kan der være stor usikkerhed på enkeltanalyser. F.eks. er begge laboratorier enige om at indholdet af bly er langt under grænseværdien, mens det ene laboratorium i sin anden analyse

ligger over grænseværdien. Usikkerheden på bly er altså større end grænseværdien! Det samme gør sig gældende for NPE. Her måler det ene laboratorium hhv. 2,9 og 12 mg/kg TS mens det andet laboratorium er under detektionsgrænsen. Igen en usikkerhed, der er større end grænseværdien.

På kviksølv og DEHP er usikkerheden hhv. 63% og 44% af grænseværdien, her er laboratorierne dog enige om at der er en overskridelse.

Man skal desuden være varsom med fokusere på enkeltresultater, idet de portioner biopulp som prøverne er taget af er relativt små, typisk omkring ét tons. Tabellen herunder viser prøvestørrelsen for de enkelte analyser på testdagene.

Tabel 8 Biopulp analysebatch

28. okt.		29. okt.		18. nov.		19. nov.		
P016	P017	P018	P019	P030	P031	P032	P033	SUM
900 kg	900 kg	1211 kg	1211 kg	760 kg	760 kg	940 kg	940 kg	7622 kg

Tallene er korrigeret for tilsat vand.

5.2.1.2 Analyseresultater tungmetaller

Generelt er tungmetalindholdet lavt. I forhold til en analyse på kildesorteret affald fra Århus ligger indholdet af nogle stoffer højere (Pb, Cr, Cu, Zn) mens andre er sammenlignelige (Cd, Hg, Ni). Én prøve skiller sig dog ud med en markant overskridelse på kviksølv.

På alle otte prøver er der målt tungmetaller af to uafhængige laboratorier efter standarderne angivet i Slambekendtgørelsen² og på de fleste resultater er der rimelig overensstemmelse. Nedenstående tabeller viser middelværdier og spredning i forhold til gældende² grænseværdier.

Tabel 9 Tungmetal indhold i Biopulp i mg/kg TS

	P016	P017	P018	P019	P030	P031	P032	P033	Ref
Bly	40 ₄	25 ₄	21 ₁	25 ₂	18 ₆	14 ₁	46 ₁₀	20 ₀	9
Cadmium	0,2 _{0,0}	0,2 _{0,0}	0,6 _{0,1}	0,3 _{0,0}	0,2 _{0,0}	0,2 _{0,0}	0,2 _{0,0}	0,2 _{0,2}	0,2
Chrom	23 ₁	21 ₄	26 ₁₁	18 ₀	19 ₀	13 ₀	39 ₁	36 ₃	15
Kobber	44 ₇	55 ₄	101 ₁₃	42 ₀	44 ₇	37 ₁₆	67 ₀	61 ₁	27
Kviksølv	5,2 _{1,3}	1,1 _{0,6}	0,7 _{0,1}	0,4 _{0,3}	0,1 _{0,0}	0,1 _{0,0}	0,0 _{0,0}	0,1 _{0,0}	0,1
Nikkel	9 ₀	26 ₂₆	11 ₀	8 ₁	6 ₀	7 ₀	6 ₂	5 ₁	11
Zink	165 ₇	280 ₈₅	140 ₀	120 ₂₈	190 ₀	180 ₀	195 ₃₅	185 ₇	100

Værdierne er baseret på to målinger, spredningen er angivet med småt. Ref. angiver værdier opnået i Århus på kildesorteret affald.

Ved omregningen i nedenstående tabel i forhold til Slambekendtgørelsens grænser er følgende værdier benyttet i mg/kg TS:

Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Nikkel	Zink
120	0,8	100	1000	0,8	30	4000

Tabel 10 Tungmetalindhold i Biopulp i procent af grænseværdier

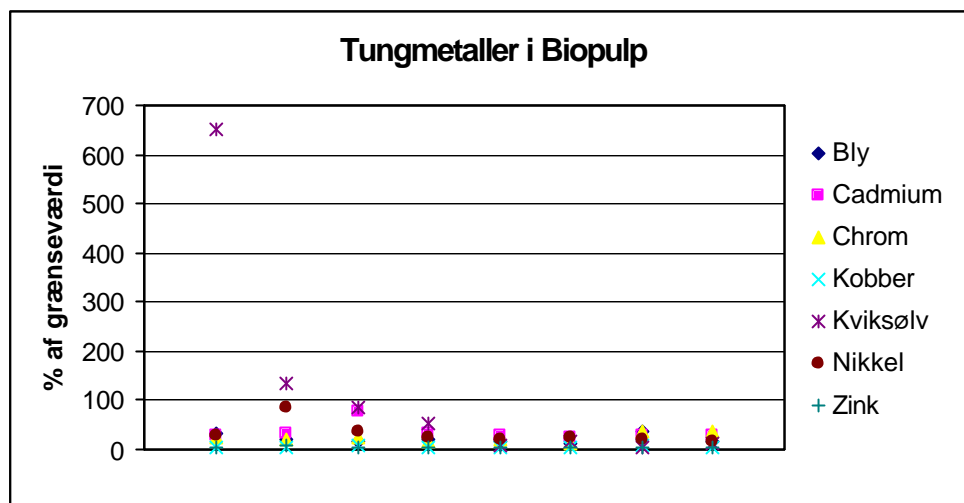
	P016	P017	P018	P019	P030	P031	P032	P033
Bly	33 4	20 3	17 1	20 2	15 5	11 1	38 8	17 0
Cadmium	27 1	31 3	76 11	32 6	30 2	26 1	28 4	30 23
Chrom	23 1	21 4	26 11	18 0	19 0	13 0	39 1	36 3
Kobber	4 1	6 0	10 1	4 0	4 1	4 2	7 0	6 0
Kviksølv	650 159	136 72	84 14	54 33	7 3	15 0	6 6	12 0
Nikkel	29 1	86 86	37 0	26 3	22 1	23 0	22 7	16 3
Zink	4 0	7 2	4 0	3 1	5 0	5 0	5 1	5 0

Gennemsnitlige indhold af tungmetaller opgjort som procent af grænseværdien for hvert enkelt stof.

Værdierne er baseret på to målinger, spredningen er angivet med småt. For kviksølv overskrider P016 slambekendtgørelsens regler mens P017 må gøre brug af reglen om at enkelte analyser må overskride med op til 50%.

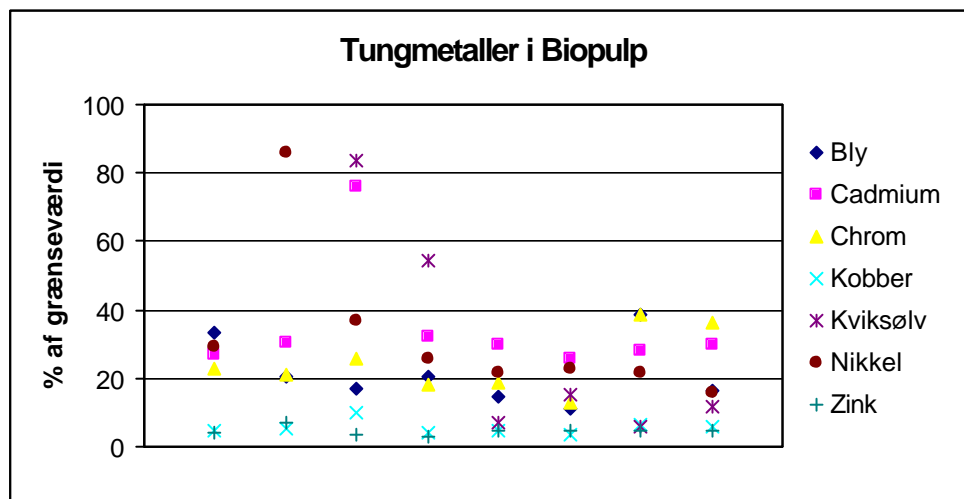
Den eneste måling, som ikke vil kunne overholde kravene i Slambekendtgørelsen² er værdien for kviksølv i prøve nr. P016. Det har ikke været muligt at finde årsagen til denne overskridelse, men omregnet svarer overskridelsen til at der har været i alt ca. 1,5 g kviksølv i læsset, hvilket kunne svare til indholdet i et kviksølv termometer. Er denne antagelse korrekt er der tale om en ulovlig fejlsortering, idet termometre ikke må bortskaffes med dagrenovationen, men skal bortskaffes som farligt affald. Herudover overholder alle målinger bekendtgørelsens regler, med det forbehold at der for kviksølv i prøve nr. P017 skal gøres brug af reglen om at enkelte analyser må overskride grænseværdien med op til 50%.

Nedenstående figurer viser en grafisk afbildning af Tabel 10, dog uden angivelse af spredningsintervaller.



Figur 8 Tungmetalindhold i Biopulp i procent af grænseværdier

Nedenstående figurs afbildningsområde er begrænset til 100% af grænseværdierne, hvorfor de to værdier for kviksølv, der overstiger dette, ikke er medtaget. Uddraget er vist for at tydeliggøre de øvige værdiers placering.



Figur 9 Tungmetalindhold i Biopulp i procent af grænseværdier (undtaget to Hg værdier >100%)

5.2.1.3 Analyseresultater miljøfremmede stoffer

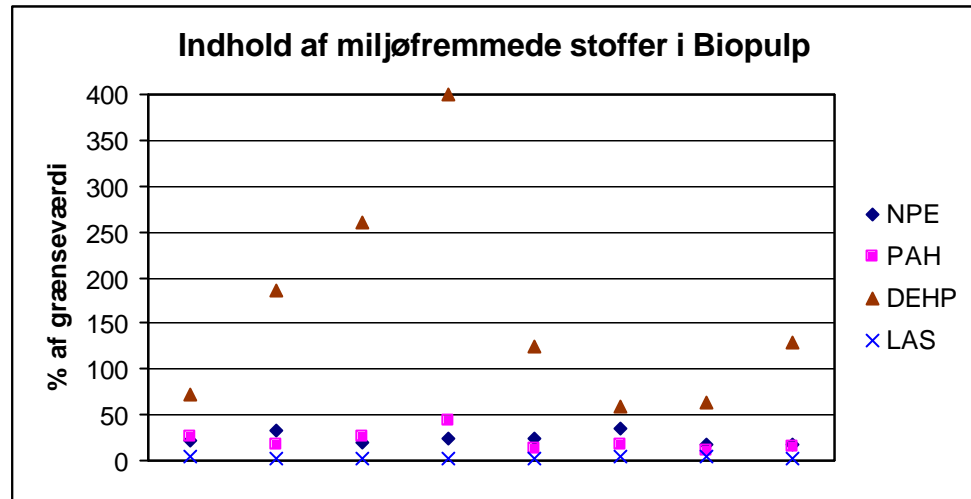
Det har vist sig overraskende vanskeligt for laboratorierne at analysere for miljøfremmede stoffer på biopulpen. Tilsyneladende skyldes dette at biopulpen, modsat spildevandsslam, indeholder en del fedt, som virker interfererende på analyserne. Undervejs blev det på den baggrund nødvendigt at skifte laboratorium. Nedenstående tabeller viser indholdet af miljøfremmede stoffer i reelle tal og i procent af grænseværdierne i Slambekendtgørelsen².

Tabel 11 Indhold af miljøfremmede stoffer i Biopulp

	P016	P017	P018	P019	P030	P031	P032	P033	gns	Ref
NPE	2,2 22	3,3 33	2,0 20	2,3 23	2,4 24	3,6 36	1,7 17	1,8 18	2,4 24	1,9
PAH	0,8 27	0,5 17	0,8 27	1,3 43	0,4 13	0,6 18	0,4 12	0,5 16	0,7 22	1,6
DEHP	36 72	93 186	130 260	200 400	62 124	29 58	32 64	65 130	81 162	11
LAS	71 5	29 2	34 3	30 2	21 2	52 4	54 4	25 2	40 3	<50

Værdierne er angivet i mg/kg TS. Tallene i kursiv angiver det relative indhold i forhold til grænseværdierne i Slambekendtgørelsen² (NPE 10, PAH 3, DEHP 50, LAS 1300 mg/kg TS). Ref. angiver værdier opnået på kildesorteret affald hos Noveren I/S.

Generelt ligger indholdet af miljøfremmede stoffer væsentligt under grænseværdierne. Kun for DEHP er der overskridelse i en del af prøverne. Laboratoriet har tilkendegivet at resultaterne for DEHP kan være meget varierende pga. små stykker plast i biopulpen, se afsnit 5.2.3. Nedenstående figur viser en grafisk afbildning af Tabel 11.



Figur 10 MFS i Biopulp

5.2.2 Biogasparametre

Tidligere undersøgelser¹ af biopulp opnået ved kildesortering viser en typisk sammensætning på 22 – 32% tørstof, heraf 83 – 93% organisk stof (VS). Tørstoffet indeholder typisk 10 – 14% fedt, 13 – 15% protein, 10 – 16% stivelse, 4 – 10% sukker og 10 – 24% træstof.

Nedenstående tabel viser resultaterne af denne undersøgelse. Resultaterne er baseret på et gennemsnit af de 8 prøver biopulp udtaget på testdagene. Umiddelbart er tallene sammenlignelige med tilsvarende kildesorteret materiale, vægtes tallene i forhold til VS er der stort set ingen forskæl. De samlede resultater findes i M&R DTU's redegørelse, der findes som bilag 1 til denne rapport.

Tabel 12 Biogasparametre

Tørstof	% af ww	30,8		
Fedt	% af TS	12,7	% af VS	16,4
Råprotein	% af TS	12,1	% af VS	15,5
Stivelse	% af TS	12,2	% af VS	15,8
Kulhydrat	% af TS	28,9	% af VS	37,2
Træstof	% af TS	11,7	% af VS	15,0
Aske	% af TS	22,3		
VS	% af TS	78		
EFOS kvæg	% af VS	93,0		
Energi	FEK	97,7		
Brændværdi	MJ/kg TS	17,7		
Klor	% af TS	1,0	% af VS	1,3
Svovl	% af TS	0,3	% af VS	0,4
Kulstof	% af TS	40,4	% af VS	52,0
Brint	% af TS	5,3	% af VS	6,8
Kvælstof	% af TS	1,9	% af VS	2,4

5.2.2.1 Biogaspotential

Undersøgelser⁵ af gaspotential i det biologiske materiale, opnået ved kildesortering og efterfølgende mekanisk behandling, viser at det teoretisk maksimale biogasudbytte ligger på 546 Nm³ CH₄/ton VS. Typisk opnås et realudbytte på 100 – 150 Nm³ biogas (65% CH₄) pr. tons biopulp. Omsætningen har i disse undersøgelser vist sig at være op til 80% af det teoretisk mulige.

Der er i denne undersøgelse ikke foretaget målinger af biogaspotential, men en beregning af det teoretiske udbytte viser et CH₄ (metan) potential på 126 Nm³ pr. tons biopulp (408 Nm³ pr. tons TS, eller 525 Nm³ pr. tons VS). Ved omregning til biogas (65% CH₄) og 80% omsætning fås 154 Nm³ biogas pr. tons biopulp.

I forhold til sammensætning og biogaspotential er den opnåede biopulp således sammenlignelig med det der typisk opnås med kildesortering.

5.2.3 Plast i biopulp

Indholdet af mekaniske forureninger i biopulpen er ikke undersøgt specifikt under dette projekt, dels af omkostningshensyn og dels fordi der allerede ligger undersøgelser på Dewaster systemet som alle viser acceptabelt lave indhold af plast og andre fysiske forureninger.

I forbindelse med pilotforsøget forud for dette projekt blev der foretaget en fysisk karakterisering af biopulpen. Da det er det samme udstyr der er anvendt ved dette forsøg og da karakteriseringen gav sammenlignelige resultater som tilsvarende undersøgelser med kildesorteret affald har vi valgt at lade disse resultater være dækkende for forsøget. Ved pilotforsøget blev der fundet mindre end 0,05% plast og 0,01% aluminium med en størrelse over 1,5 mm.

Resume af fysisk karakterisering

Under pilotforsøget blev der behandlet godt 2 tons dagrenovation fra Roskilde. Af den producerede biopulp blev der løbende udtaget prøver til en samlet prøve på ca. 22 kg. Heraf blev der udtaget ca. 6 kg til undersøgelse af mekaniske forureninger. Prøven blev fortyndet i varmt vand og sigtet på et 1,5

mm sold. Det frasigtede materiale blev tørret, sorteret og regnet tilbage til oprindeligt tørstof indhold i biopulpen. I alt blev der frasiget knapt 300 g hvoraf det meste var plantefibre og papirfibre. 3,5 gram bestod af plast og 0,5 gram var aluminium.

Undersøgelsen findes som bilag 3.

5.3 Karakterisering af sigterest

Sigteresten er en meget luftig/let fraktion med lav vægtfylde. Visuelt består den hovedsageligt af plast, men indeholder også en del pap og tekstil. Komponenterne er relativt store og intakte og kan derfor let genkendes. F.eks. indeholder sigteresten aviser/ugeblade, plastikposer, fødevareemballage og blear.



Figur 11 Sigterest

Det var formålet at vurdere om denne fraktion kunne anvendes til medforbrænding på anlæg med højere elvirkningsgrader end affaldsforbrændingsanlæg, alternativt som medforbrænding i industrielle anlæg, f.eks. cementfremstilling. Det var således målet at øge brændværdien og reducere indholdet af klor, svovl og alkalimetaller.

I forhold til pilotforsøget forud for denne undersøgelse har det overrasket at sigteresten var mere våd. I gennemsnit lå tørstofindholdet på 61% mod 82% i forundersøgelsen. Forskellen kan måske tilskrives den separate indsamling af aviser og ugeblade som finder sted i Odense. Nedenstående tabel viser en række parametre i forhold til middelværdien for dagrenovation.

Tabel 13 Forbrændingsparametre for sigterest

	TS	Aske	Brændværdi	C	H	N	Cl	S	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
	% af ww	% af TS	MJ/kg TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS
Sigterest	60,8	12,6	24,8	52,7	7,2	1,1	0,6	0,13	0,31	0,29	0,69
Middel	52,0	24,1	18,9	43,0	5,7	1,3	0,6	0,20	0,75	0,48	1,76

Middelværdien er fundet som et vægtet gennemsnit af indholdet i biopulp, sigterest og rejekt. Brændværdien er den øvre brændværdi.

Tabel 14 Tungmetalscreening for sigterest

mg/kg TS	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	La	Mo	Nb	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn
Sigterest	2,6	92,2	0,1	1,1	1,7	34,9	613,0	0,1	1,2	1,5	1,4	7,5	14,0	0,2	36,0	2,3	1,6	508,4

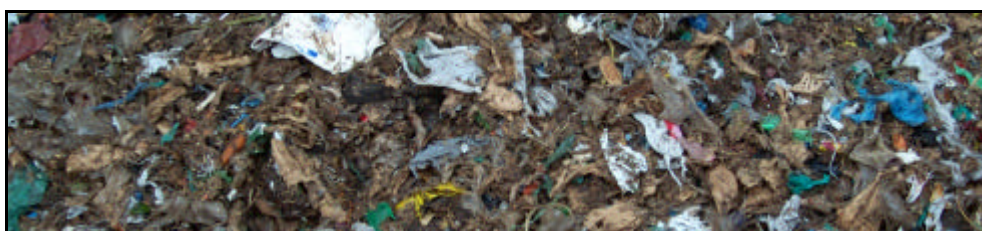
Det fremgår umiddelbart at tørstoffet i sigteresten har højere brændværdi end den gennemsnitlige dagrenovation. Dette skyldes dels at der er fjernet en del uorganisk materiale og dels at en stor del af sigteresten består af plastik. Tørstofindholdet er desuden øget omend mindre end forventet. Regnes brændværdien på våd basis er den i dagrenovationen ca. 9,8 GJ/tons men den for sigteresten er ca. 15,1 GJ/tons (øvre brændværdier), hvilket er en forøgelse på 54%.

Klorindholdet er ikke umiddelbart reduceret målt på tørstof basis, men i forhold til brændværdien er der sket en reduktion på ca. 24% i forhold til den gennemsnitlige dagrenovation. Denne reduktion er lavere end forventet og skyldes formentlig at der fortsat er en del blød PVC i husholdningsaffaldet. Indholdet af PVC forventes at falde de kommende år, hvorved indholdet af klor i sigteresten forventes af falde tilsvarende.

Alkalimetallerne og svovl er reduceret væsentligt i forhold til den gennemsnitlige dagrenovation.

5.4 Karakterisering af rejekt

Rejekt er den tørre fraktion fra presningen i Dewaster enheden. Fraktionen består hovedsageligt af plante- og papirfibre samt plastik og uorganiske komponenter som aluminium, glas og kattegrus mv.



Figur 12 Rejekt

Der er umiddelbart tre mulige anvendelser for rejektet: forbrænding i et affaldsforbrændingsanlæg, evt. medforbrænding i industrielle anlæg, f.eks. cement eller kompostering og efterfølgende anvendelse som afdækningsjord ved affaldsdeponering. Nedenstående tabel viser forbrændingsparametre for rejekt fraktionen.

Tabel 15 Forbrændingsparametre for Rejekt

	TS	Aske	Brændværdi	C	H	N	Cl	S	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
	% af ww	% af TS	MJ/kg TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS
Rejekt	58,6	36,6	14,9	37,1	4,8	1,3	0,4	0,19	0,80	0,66	2,86
Midde	51,96	24,1	18,94	43,00	5,72	1,35	0,61	0,20	0,75	0,48	1,76

Middeværdien er fundet som et vægtet gennemsnit af indholdet i biopulp, sigterest og rejekt. Brændværdien er den øvre brændværdi.

Tabel 16 Tungmetal screening for rejekt

mg/kg TS	As	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	La	Mo	Nb	Ni	Pb	Sc	Sr	V	Y	Zn
Rejekt	5,4	241,4	0,3	0,9	2,5	169,6	807,2	0,2	3,9	2,4	2,0	13,9	40,6	0,7	76,8	9,4	3,9	358,3

Det fremgår umiddelbart at brændværdien er lavere end for den gennemsnitlige dagrenovation, hvilket formentlig skyldes det relativt højere indhold af uorganiske komponenter. Klorindholdet er lavere mens alkalimetallerne er højere end for den gennemsnitlige dagrenovation. Dette skyldes formentlig at alkalimetallindholdet i uorganiske komponenter som f.eks. glas indgår i analysen. Ses klorindholdet i forhold til brændværdien er der ikke den store forskæl.

5.5 Øvrige fraktioner

Storskrald og oversize fraktionerne udgør kun ca. 0,3% af dagrenovationsmængden og er i øvrigt uden betydning. De opstår kun for at beskytte systemet mod overbelastning og fastkøring.

Metal fraktionen udgør ca. to procent af dagrenovationsmængden. Sorteringskvaliteten var under forsøget ikke optimal med den valgte magnettype. Til trods herfor var renheden tilstrækkelig til at metallet kunne genanvendes hos Uniscrap A/S uden problemer. I den sidste halvdel af forsøget opstillede Uniscrap en container til metalfraktionen og efter forsøgets afslutning blev de godt 4 tons metal kørt til behandling på Uniscraps oparbejdningsanlæg i Kolding.



Figur 13 Magnetisk metal

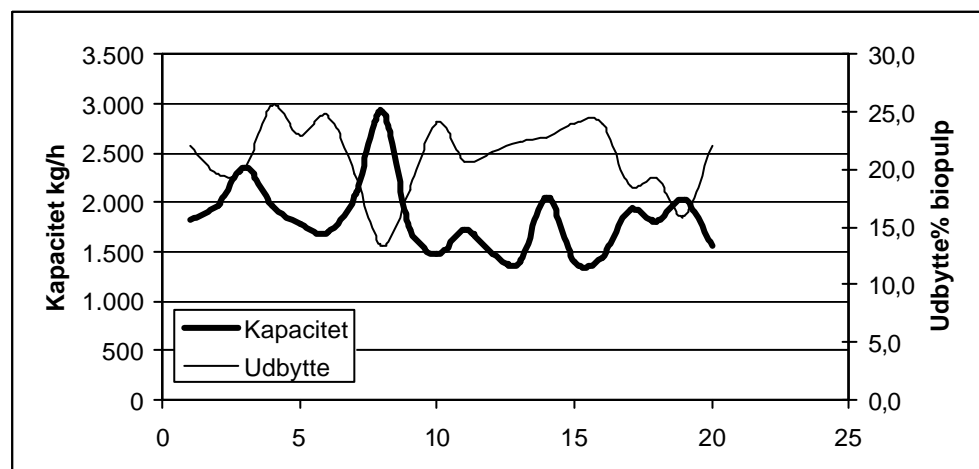
En tidligere undersøgelse⁶ af hvad der sker med metallet under en normal affaldsforbrændingsproces viser at kun ca. 30% af det tynde metal (blik) kan genanvendes efterfølgende. Hovedparten af det frasorterede metal vurderes at være blik (øldåser, kapsler, konservesdåser mv.), så der er basis for en øget genanvendelse af metal.

5.6 Kapacitet, elforbrug og slid

Målingen af kapacitet, forbrug og især slid er behæftet med en del usikkerhed idet der under forsøget er fokuseret på klare massebalanceafgrænsninger. Derfor er der brugt en del "spiltdid" ved opstart og afslutning af hver produktionsperiode, hvor anlægget har kørt på nedsat kapacitet.

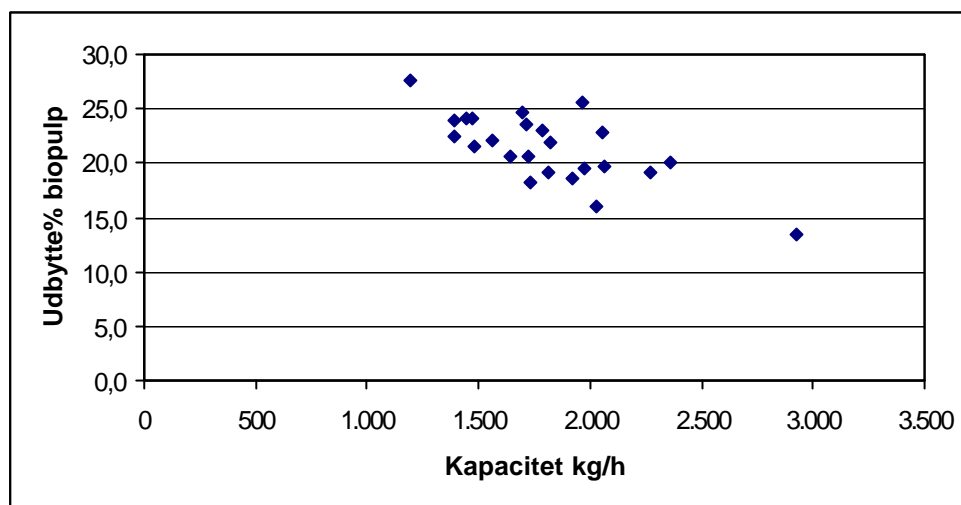
5.6.1 Kapacitet

Kapaciteten har i forsøgsperioden i gennemsnit ligget på 1,8 tons dagrenovation per time på én Dewaster. Det øvrige udstyr har kapacitet til at føde 2 – 3 Dewaster enheder. Variationen i kapacitet har været fra ca. 1,4 t/h til 2,4 t/h afhængig af de forskellige småforsøg der er foretaget samt indkøring af nye komponenter mv. Nedenstående diagrammer viser kapaciteten samt korrelation mellem kapacitet og biopulp udbytte.



Figur 14 Kapacitet og biopulp udbytte

Af Figur 14 ses noget der ligner en sammenhæng mellem kapacitet og udbytte af biologisk materiale, således at lav kapacitet giver størst udbytte. Ser man imidlertid på Figur 15, der afbilder de samme data i forhold til hinanden, er konklusionen ikke så entydig – især hvis de to enlige yderpunkter lades ude af betragtning.



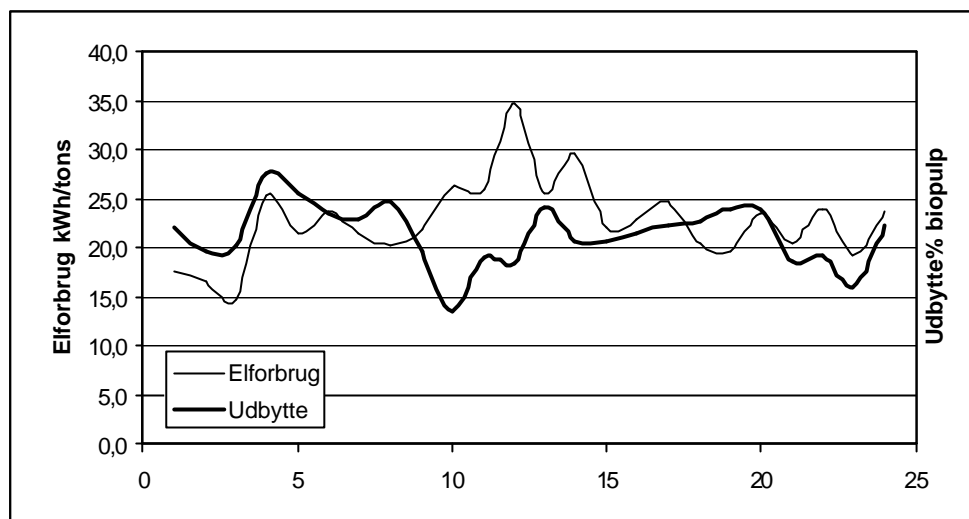
Figur 15 Korrelation udbytte vs kapacitet

Ved vurderingen af kapacitetsdata skal der her tages højde for at der er kørt relativt små portioner, ca. 8 tons dagrenovation dagligt. For at få så præcise massebalancer som muligt er anlægget kørt tomt for hver måling. Det har betydet en opstarts- og nedlukningsfase med lavere kapacitet end under kontinuerlig drift.

Det vurderes at der er brugt ca. 30 min. ekstra i starten og slutningen af hver produktionsperiode i forhold til et anlæg i kommerciel drift. Hver produktionsperiode har i gennemsnit været 493 min. med behandling af 14,6 tons. Ved kommerciel drift må det antages at den reelle produktionstid kan reduceres til ca. 433 min. (7,2 timer), hvilket giver en gennemsnitskapacitet på 2,0 tons/time. Dette tal er ikke korrigeret for den kapacitetsnedgang som de udførte forsøg har medført.

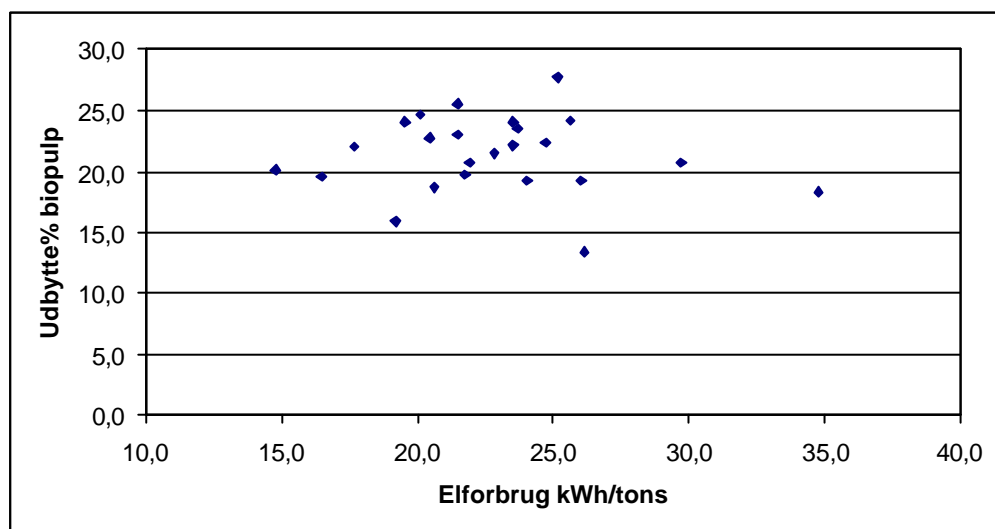
5.6.2 Elforbrug

Elforbruget har i forsøgsperioden ligget på gennemsnitligt 22 kWh per tons behandlet dagrenovation. Variationen har været ca. 15 – 25 kWh/tons. Det er vurderingen at elforbruget ligger en del højere end for et tilsvarende kommercielt anlæg. Dels er forbruget målt på hele anlægget incl. belysning mv. og i en kort periode incl. strøm til opvarmning af værkstedscontainer. Dels har forbehandlingsudstyret en kapacitet til at føde 2 – 3 Dewaster enheder og bruger derfor uforholdsmæssigt mere strøm ved lav kapacitet. Desuden gør der sig, som for kapaciteten, gældende at der har været brugt ekstra opstarts og nedlukningstid i forhold til et kommercielt anlæg.



Figur 16 El forbrug og biopulp udbytte

Af Figur 16 ses en mulig sammenhæng mellem udbyttet af biologisk materiale og elforbruget, således at større udbytte kræver større elforbrug. Ser man imidlertid på Figur 17, der viser de samme data i forhold til hinanden, er billedet mindre entydigt. Her ses ikke umiddelbart nogen korrelation.



Figur 17 Korrelation udbytte vs el forbrug

5.6.3 Slid

Det anlæg, der er anvendt under forsøget er med hårdmetalbelagte snegle i presseenhederne, mens de øvrige sliddele ikke har undergået nogen form for ekstra behandling.

Under udformningen af anlægget i Århus var der, på baggrund af tidligere erfaringer fra et Dewaster anlæg hos I/S NOVEREN, fokuseret meget på optimering af sliddele og konstruktive ændringer, der kunne nedbringe sliddet. På det nuværende udviklingsniveau skal pressesneglene renoveres for hver ca. 1000 tons, mens stavene der danner pressechamber holder noget længere.

Det har i løbet af forsøgsperioden ikke været muligt at sætte præcise tal på sliddet ved usorteret dagrenovation, men vurderingen er at sliddet ikke umiddelbart er større end for det kildesorterede affald.

6 Diskussion

6.1 Diskussion af resultater i forhold til projektmål

I afsnit 1.2 er der opstillet 5 konkrete projektmål. I det følgende søges målenes indfrielse belyst.

Evalueringen af tidligere projekter omkring udnyttelse af det biologiske potentiale i husholdningsaffald, alle ved kildesortering, har vist at den miljømæssige gevinst er begrænset og samtidig meget dyr at opnå. Det er der to hovedårsager til. Dels er den tostrengede indsamling af en "grøn" og en "sort" fraktion uforholdsmæssig energikrævende og dyr, dels er det kun det biologiske materiale der udnyttes mens resten forbrændes. Borgernes engagement ved kildesortering spiller også ind idet en del biologisk affald havner i forbrændingsfraktionen og derved går tabt.

Enstrengt indsamling efterfulgt af mekanisk sortering har potentialet til at vende dette billede idet man både sparer investering, drift og miljøomkostning til den tostrengede indsamling. Den potentielle mængde biologisk materiale øges, da intet forsvinder ved fejlsortering.

Ved kildesortering er det ofte kun et spørgsmål om at udnytte det biologiske materiale, mens en mekanisk sortering åbner mulighed for at genanvende metal samt medforbrænde rene plast/papir fraktioner på anlæg med højere elvirkningsgrader end traditionelle affaldsforbrændingsanlæg.

I forbindelse med etablering af nye affaldsforbrændingsanlæg kan der ligge en miljømæssig såvel som økonomisk gevinst i at foretage en mekanisk sortering og nøjes med et mindre, eller slet intet affaldsforbrændingsanlæg. Dette har dog begrænset relevans i Danmark fordi vi har rigelig forbrændingskapacitet, men er højaktuelt i f.eks. England og det sydlige Europa.

Affaldsmængden ventes dog at stige i Danmark fra de nuværende ca. 3 mill. tons til ca. 4 mill. tons i 2020. frem for at udbygge med nye forbrændingsanlæg kan den øgede affaldsmængde sorteres og fraktionerne i højere grad genanvendes. I Danmark er det desuden et særligt formål at skaffe energirigt tilskud til de eksisterende gyllebiogasanlæg.

6.1.1 Kvalitet og udnyttelse af biopulp

Mekanisk set har forsøget vist at det er muligt at adskille biologisk materiale fra dagrenovation uden at indføre kildesortering. Det er endog muligt at opnå et udbytte af biologisk materiale, som ligger over hvad man typisk kan opnå med kildesortering. Jf. afsnit 5.1 giver kildesortering efterfulgt af mekanisk sortering typisk omkring 40% udbytte, eller op til 50% ved en øget oplysningsindsats, mens forsøget med ren mekanisk sortering har vist et udbytte på ca. 59%.

Den seneste affaldsanalyse af husholdningernes skraldeposer viser at der er et biologisk potentiale på ca. 640.000 tons pr år. Som det fremgår af afsnit 5.1 opnås et udbytte på ca. 66% af potentialet ved den mekaniske sortering.

På landsplan er der således basis for at genanvende ca. 420.000 tons biologisk materiale til biogas produktion, uden at indføre kildesortering.

Biogaspotentialet ligger teoretisk på 193 Nm³/tons biopulp hvis der regnes med 100% omsætning. Analyser af nedbrydeligheden (EFOS - kvæg)^a har vist at omkring 93% kan omsættes, men det er ikke afprøvet i praksis. I forhold til Biopulp opnået ved kildesortering, som typisk giver 100 – 150 Nm³/tons og 80% omsætning, ligger den mekanisk udvundne biopulp således i den høje ende. De 80% omsætning af biopulp fra kildesorteret affald svarer nogenlunde til at indholdet af træstof (plantefibre) ikke nedbrydes. EFOS analysens indekation af en højere nedbrydelighed stemmer godt overens med et tilsvarende lavere indhold af træstof i den mekanisk udvundne biopulp.

Der er en tendens til at vandtilsætning til affaldet umiddelbart før presningen giver et øget udbytte. Dette skyldes formentligt at en del af det biologiske materiales naturlige vandindhold er blevet opsuget af affaldets tørre komponenter. Det har under alle omstændigheder vist sig at være nødvendigt med en vis vandtilsætning, da biopulpen i modsat fald vil være for tyk til at kunne transporteres i normalt transportudstyr (pumpe/tanktransport). Under forsøget er der i gennemsnit brugt ca. 3% vand i forhold til dagrenovationsmængden eller ca. 16% i forhold til mængden af biopulp.

Indholdet af tungmetaller er generelt væsentligt under gældende grænseværdier for udspreddning på landbrugsjord. Som gennemsnit over forsøget (8 prøver på i alt ca. 8 tons biopulp) kommer kun kviksølv over 50% af grænseværdierne og dette kun fordi en enkelt prøve havde et uforholdsmæssigt højt niveau. Den ene store overskridelse på kviksølv svarer nogenlunde til indholdet i et kviksølvttermometer. Hvis dette er tilfældet er der tale om en ulovlig fejlsortering, som skulle være bortskaffet som farligt affald. Kildesortering er i sig selv ikke en garanti mod tilsvarende fejlsorteringer omend risikoen må forventes at være væsentligt lavere. Da der ikke længere sælges kviksølvtermometre, og andre produkter med kviksølv er under kraftig udfasning i EU må det forventes at der bliver længere og længere imellem denne type overskridelser.

Til sammenligning ses det af en Europæisk undersøgelse⁷ at tungmetalindholdet i gylle på flere parametre ligger højere end de her opnåede resultater. Nedenstående tabel sammenholder de opnåede resultater med indholdet i svinegylle.

Tabel 17 Sammenligning af tungmetaller i biopulp og svinegylle

	Bly	Cadmium	Chrom	Kobber	Kviksølv	Nikkel	Zink
Biopulp	25	0,3	39	51	0,4	9	177
Gylle	1-12	0,2-0,5	3-18	180-574	i.o.	3-17	403-919

Alle værdier er mg/kgTS, værdierne for biopulp er gennemsnit af 8 prøver for kviksølv er en enkelt ikke repræsentativ analyse udeladt.

Det har vist sig overraskende svært for laboratorierne at få verificerbare resultater og især de miljøfremmede stoffer er belagt med stor usikkerhed.

^a EFOS – kvæg bestemmer mængden af enzymfordøjeligt biologisk materiale til simulering af fordøjeligheden hos drøvtyggere.

Dette skyldes tilsyneladende at biopulpen, modsat spildevandsslam, indeholder en del fedt og andre organiske (biologiske) stoffer, som interfererer på resultatet.

Indholdet af miljøfremmede stoffer overholder de gældende grænseværdier, bortset fra DEHP, som i gennemsnit ligger 62% over grænseværdien på 50 mg/kg TS. DEHP er imidlertid forholdsvist let nedbrydelig under aerobe forhold⁶. Men, som reglerne er i dag, kan biopulpen ikke direkte udsprede uden dispensation. Den kan derimod godt anvendes i rådnetanken på et spildevandsrensingsanlæg, som ikke udbringer slam på landbrugsjord.

DEHP stammer hovedsageligt fra blødgjort PVC og må således formodes at blive reduceret i takt med at PVC udfases i forbrugerprodukter.

6.1.2 Genanvendelse af metal

Selv med en simpel magnetisk sortering har det vist sig muligt af udsortere magnetisk metal i en kvalitet, der er egnet til genanvendelse. Metaldelen var dog ikke direkte genanvendelig, men kunne uden problemer oparbejdes i et normalt sorteringsanlæg hos en screddervirksomhed.

I forhold til alternativet, at forbrænde affaldet og udtage metal af slaggen, opnås dels et større udbytte og dels en bedre kvalitet. Dette skyldes at metallet ved forbrændingen oxideres kraftigt. Ved normal affaldsforbrænding og udsortering fra slaggen oxideres omkring 70% af metallet i hvidblikseballager (konservesdåser).

6.1.3 Sigterest

På baggrund af bl.a. hollandske erfaringer, konkluderer Miljøstyrelsen i en ny rapport⁹ at der kan være et energimæssigt udbytte at hente ved at sortere dagrenovation for at opnå en plast/papirfraktion (PPF) til medforbrænding på cement- og kulkraftværker.

Under forsøget blev ca. 37% af dagrenovationen udsorteret som sigterest. Sigteresten består hovedsageligt af emballageaffald i form af poser, kartoner og andet fødevareremballage. Desuden indeholder sigteresten en del papir og bleer mv.

Fysisk er sigteresten umiddelbart af en kvalitet, der let lader sig neddele/snitte til en partikelstørrelse egnet til medforbrænding. Dog skal man under denne proces være opmærksom på at der kan forekomme hårde genstande i sigteresten og et snitteanlæg skal kunne håndtere dette.

Brændværdien (øvre) af sigteresten er ca. 15 GJ/tons, hvilket er 54% mere end for den gennemsnitlige dagrenovation. Tørstofindholdet på 61% er derimod noget lavere end forventet. Dette skyldes formentligt at der i Odenseområdet sker en separat indsamling af aviser og ugeblade ved hver enkelt husstand. Ved pilotforsøget med dagrenovation fra Roskilde, hvor der ikke sker en tilsvarende indsamling, var tørstoffet i sigteresten omkring 82%.

Indholdet af svovl og alkalimetaller i sigteresten er væsentligt reduceret i forhold til den gennemsnitlige dagrenovation og. Hvis der ønskes et øget tørstofindhold kan der relativt uproblematisk foretages en vindsigtning som bl.a. vil fjerne en stor mængde bleer fra fraktionen. Et højere tørstof indhold

vil gøre sigteresten egnet til sæsonopbevaring, således at forbrændingen kan ske når der er mest behov for varme og el.

Elsams vurdering af medforbrænding af sigteresten tager udgangspunkt i erfaringer med halm ved kulstøvsfyring (Studstrupværket, blok 4) og fluid bed forbrænding (Grenå Kraftvarmeværk).

Overvejelserne er kun af teknisk karakter, da tilsatsfyring af affald, grundet den lovgivningsmæssige situation, ikke er kommercielt interessant for Elsam i Danmark.

Sigteresten har i forhold til halm en høj brændværdi og sammenligneligt indhold af alkali og klor. Tungmetalindholdet er højere end i kul for Cd, Cr, Cu og Zn.

Ved tilsatsfyring på kulstøvsfyrede kraftværker indebærer alkali- og klorindholdet, at der kun kan indfyres en mængde på typisk op til 10%. Anvendelse af flyveasken til cementproduktion kan være begrænset, idet hverken den gældende eller den kommende reviderede betonnorm EN450 accepterer aske fra tilsatsfyring med denne type affald. Det skal endvidere vurderes, hvorvidt sigteresten er egnet til findeling og indfyring i pulverfyrede brændere.

Fluid bed forbrænding stiller ikke så store krav til findeling af brændslet som kulstøvsfyrede værker, og påvirkning af askeegenskaber er mindre kritisk. Sigteresten vil kunne erstatte noget halm, såfremt anlægget opgraderes til at kunne opfylde emissionskrav fra affaldsforbrænding.

6.1.4 Restaffald

Rejektet fra Dewaster enheden udgør ca. 37% af affaldsmængden. Rejektet indeholder ud over plast, aluminium, glas og andet ikke nedbrydeligt materiale også en stor del plante- og papirfibre. Fibermaterialet er langsomt nedbrydeligt i en anerob proces og egner sig derfor dårligt til bioforgasning. Derimod har det en god struktur og vil uden større vanskeligheder kunne komposteres. Der er under projektet ikke udført forsøg med kompostering.

Rejektet er desuden i processen neddelt til en størrelse, der vil egne sig til forbrænding i fluid-bed anlæg. Den mest umiddelbare løsning er dog at brænde rejektet i et eksisterende affaldsforbrændingsanlæg.

6.2 Affaldskvalitet / positiv frasortering

Det har ikke umiddelbart været muligt at konstatere en forskel på udbyttet af biopulp afhængig af om affaldet stammer fra etage- eller enfamilieboliger. Dog er det konstateret at mængden af storskrald er væsentligt større ved indsamling fra etageboliger. Dette har dog ikke givet anlægstekniske problemer og mængden er så lille at den er uden praktisk betydning.

Der ses heller ingen variationer i tungmetalsammensætningen, som umiddelbart har relation til indsamlingsområderne. De udførte forsøg blev gennemført i september til november i en forholdsvist varm periode. Det antages derfor at indholdet af aske fra brændeovne har været ret begrænset. Et skøn over den samlede årlige askemængdes tilførelse af cadmium til affaldet svarer til ca. 0,2 – 0,3 mg/kgTS i biomassen (kilde: Miljøstyrelsen). Selv om

dette mulige bidrag adderes til de opnåede værdier, ligger cadmiumindholdet fortsat væsentligt under grænseværdien.

Hvis et system til sortering af dagrenovation indføres i stor skala bør man, i stedet for kildesortering, indføre en positiv frasortering af bestemte affaldskomponenter.

Glas bør frasorteres, da det kan have negativ indvirkning på sliddet i Dewaster enheden. Desuden er glas en let genanvendelig ressource. I Odense indsamles glas via retursystemet og centralt placerede ”kuber”, men det er i høj grad op til borgernes egen samvittighed at overvinde besværet ved ikke at komme glas i dagrenovationen. Der er under forsøget ikke foretaget undersøgelse af glasindholdet, men der har visuelt kunnet konstateres et forholdsvis højt indhold. Langt hovedparten ender i rejektet.

Genanvendeligt papir/pap bør frasorteres, da det suger væde fra det biologiske materiale og derved nedsætter afpresningen af biopulp. Der kan i nogen grad kompenseres for dette gennem vandtilsætning før presningen. I Odense har borgerne en separat papirsæk til indsamling af aviser og ugeblade mv. som indsamles sammen med dagrenovationen. Indholdet af papir har da også vist sig at være lavere end landsgennemsnittet jf. afsnit 4.2. Affaldet indeholdt til gengæld en del papkasser og det vurderes at papirmængden kan reduceres yderligere.

Der er efterhånden alle steder afleveringsordninger for batterier og elektronik. Alligevel indeholdt dagrenovationen en del batterier, de fleste brunstens og alkaliske. Der var dog også både knapceller (kviksølv) og genopladelige (nikkel, cadmium) batterier i affaldet. Batterier er ikke noget problem i forhold til biopulpen, idet langt hovedparten fjernes med metalfraktionen. Det er ikke på noget tidspunkt konstateret at et batteri er blevet knust i processen. Positiv frasortering af batterier er derfor først og fremmest et middel til at forbedre kvaliteten af metalfraktionen.

Kemikalier må normalt ikke bortskaffes med dagrenovationen, men det sker i et vist omfang. Generelt vurderes det at ”hårde” kemikalier, f.eks. maling, motorolie, opløsningsmidler og ukrudtsmidler mv. kun i ringe omfang ender i dagrenovationen mens ”bløde” kemikalier, f.eks. rengøringsmidler og kosmetik, i højere grad bortskaffes som dagrenovation. Omfanget er dog ikke større end at grænseværdierne for de relevante miljøfremmede stoffer (PAH, LAS, NPE) overholdes.

DEHP udgør den største umiddelbare hindring for anvendelse af biopulpen på landbrugsjord i Danmark. DEHP anvendes som plastblødgører, hovedsageligt i PVC. Ved indførelse af mekanisk sortering i storskala bør man derfor yderligere begrænse anvendelsen af blødgjort PVC i private husholdninger og/eller indføre en form for positiv frasortering af PVC produkter. Problemet er her nok at mange borgere kan have svært ved at identificere hvilke produkter der indeholder PVC, så en intensivering af udfasningen af PVC må forventes at være den bedste løsning.

6.3 Forventninger til storskalaanlæg

I det følgende er det forsøgt at estimere hvilke forventninger man kan have til et evt. storskalaanlæg til mekanisk sortering af dagrenovation. Vurderingerne er baseret dels på de opnåede resultater under dette projekt og dels de

erfaringer EWOC har gjort ved bl.a. opførelsen af et storskalaanlæg til kildesorteret affald for Århus Kommunale Værker.

6.3.1 Kapacitet

Under forsøget er der i gennemsnit opnået en kapacitet på 1,8 tons dagrenovation per time på én Dewaster, eller ca. 2,0 tons per time når tallet korrigeres for den ekstra opstarts og nedlukningstid der er forbundet med at køre anlægget tomt mv. se evt. afsnit 5.6.1. Imidlertid frasigtes i gennemsnit 37% af dagrenovationen som sigterest, så indputtet til Dewaster enheden er reduceret til 1,26 tons/time.

Det primære mål med driften under forsøget har ikke været opnåelse af høj kapacitet, men derimod velafgrænsede massebalancedata. På anlægget i Århus til kildesorteret affald er der indført en række forbedringer i forhold til anlægget brugt ved dette forsøg. Indput til Dewaster enheden på Århus anlægget ligger omkring 2 tons per time, selv om sorteringskvaliteten langt fra er optimal. Det vurderes at en tilsvarende kapacitet vil kunne opnås med normal dagrenovation. Korrigeret for sigteresten svarer det således til en total kapacitet på ca. 3 tons dagrenovation per time.

Anlægget i Århus indeholder 4 parallelle Dewaster enheder og har altså en kapacitet på ca. 8 tons/time. Udbygning til stor kapacitet sker således ved at indsætte flere ens enheder. Fordelen herved er bl.a. en større fleksibilitet i anlægsstørrelse og at service kan foretages uden at anlægget skal stoppes helt. Det har været overvejet at bygge en større presseenhed, men det vurderes at udbyttet af biopulp vil falde, dels fordi afpresningsarealet bliver mindre i forhold til pressens volumen og dels fordi transportvejen for pulpen ud gennem fiber/plasktik matrisen bliver længere.

6.3.2 Slid

Det anlæg, der er anvendt under forsøget er med hårdmetalbelagte snegle i presseenhederne, mens de øvrige sliddele ikke har undergået nogen form for ekstra behandling.

Under udformningen af anlægget i Århus var der, på baggrund af tidligere erfaringer fra et Dewaster anlæg hos I/S NOVEREN, fokuseret meget på optimering af sliddele og konstruktive ændringer, der kunne nedbringe sliddet. På det nuværende udviklingsniveau forventes pressesneglene renoveret for hver ca. 1000 tons, mens stavene der danner pressekommer holder noget længere.

Det har i løbet af forsøgsperioden ikke været muligt at sætte præcise tal på sliddet ved usorteret dagrenovation, men vurderingen er at sliddet ikke umiddelbart er større end for det kildesorterede affald. Derfor er der i de økonomiske vurderinger taget udgangspunkt i det reservedelsforbrug og de serviceintervaller som er estimeret for kildesorteret affald.

6.3.3 Økonomi

Der er i det følgende opstillet tre scenarier for de økonomiske forhold ved kommerciel drift på usorteret dagrenovation. Scenarierne tager udelukkende stilling til omkostningerne til sorteringen af affaldet. Der er således ikke indregnet "værdien" af de opnåede fraktioner i forhold til det oprindelige

affald, ligesom afgiftsmæssige forhold ikke er indregnet. Desuden er der ikke medregnet udgifter til bygninger, køretøjer og containere mv.

6.3.3.1 Scenario 1

Der tages udgangspunkt i et nyt anlæg i samme størrelse som det under forsøget anvendte. Kapaciteten pr. time er sat 4 tons, som forventet effektivt gennemsnit målt på dagrenovation indput, idet anlægget er udstyret med 2 Dewaster enheder. Anlægget drives i etholds skift på alle hverdage. Afskrivningstiden er 5 år med en rentesats på 6%. Nyanskaffelses prisen for anlægget er ca. 7,5 mill. Driften regnes som fritstående operation, så operatøren har ikke andre opgaver.

Tabel 18 Økonomi, scenario 1

Nypris	7.500.000 kr.	Kapitalomk	214 kr./ton
Rente	6,00 %	Reserve dele	50 kr./ton
Årlig kapitalomk.	1.780.473 kr.	Forbrug el mv	10 kr./ton
Driftstimer pr år	2.080 timer	Bemanning	50 kr./ton
Kapacitet	4 t/time		
Kapacitet	8.320 ton/år	Samlet omkostning	324 kr./ton
Bemanning	100 %		
Operatør omk.	200 kr./time		

6.3.3.2 Scenario 2

Der tages udgangspunkt samme anlæg som under scenario 1. Anlægget drives i toholds skift på alle hverdage. Afskrivningstiden er 5 år med en rentesats på 6%. Nyanskaffelses prisen for anlægget er ca. 7,5 mill. Driften regnes som delvist integreret operation, så operatøren kan have andre opgaver 50% af tiden.

Tabel 19 Økonomi, scenario 2

Nypris	7.500.000 kr.	Kapitalomk	107 kr./ton
Rente	6,00 %	Reserve dele	50 kr./ton
Årlig kapitalomk.	1.780.473 kr.	Forbrug el mv	10 kr./ton
Driftstimer pr år	4.160 timer	Bemanning	25 kr./ton
Kapacitet	4 t/time		
Kapacitet	16.640 ton/år	Samlet omkostning	192 kr./ton
Bemanning	50 %		
Operatør omk.	200 kr./time		

6.3.3.3 Scenario 3

Der tages udgangspunkt i behandling af ca. 100.000 tons pr. år. Estimatet er baseret på 5000 driftstimer med 8 Dewaster enheder. Der regnes med en samlet kapacitet på 20 tons/time målt på dagrenovation indput, svarende til 2,5 tons pr. Dewaster, hvilket forventes at være realistisk jf. afsnit 6.3.1. Afskrivningstiden er øget til 8 år med en rentesats på 6%. Nyanskaffelses prisen for anlægget er ca. 23 mill. Driften regnes som automatiseret og integreret operation, men med to operatører på anlægget hele tiden.

Tabel 20 Økonomi, scenario 3

Nypris	23.000.000 kr.	Kapitalomk	37 kr./ton
Rente	6,00 %	Reserve dele	50 kr./ton
Årlig kapitalomk.	3.703.827 kr.	Forbrug el mv	10 kr./ton
Driftstimer pr år	5.000 timer	Bemanning	20 kr./ton
Kapacitet	20 t/time		
Kapacitet	100.000 ton/år	Samlet omkostning	117 kr./ton
Bemanning	200 %		
Operatør omk.	200 kr./time		

6.3.3.4 Driftsøkonomi

I det følgende foretages en simpel virksomhedsøkonomisk betragtning i forhold til de opstillede scenarier.

Hvis det antages at sigterest, rejekt, storskrald og oversize fraktionerne tilbageføres til et affaldsforbrændingsanlæg efter sorteringen opnås en reduktion i mængden af affald til forbrænding på ca. 25%. Med en antaget behandlingspris på affaldsforbrændingsanlægget på 500 kr./tons incl. afgifter, får man en besparelse på 125 kr./tons dagrenovation.

Det vurderes at metalfraktionen kan bortskaffes til genanvendelse omkostningsneutralt.

Biopulpen giver et teoretisk biogasudbytte på 193 Nm³/tons biopulp. Regnes omsætningen til 70% opnås 136 Nm³ biogas. Biogasdata fra Energistyrelsen (December 2001 / Juni 2002) viser at indtægten for energisalg ligger på ca. 2,00 kr./Nm³ biogas uafhængig af årstid, dog med en væsentlig variation mellem de forskellige biogasanlæg.

Den teoretiske indtægt for salg af energi fra biopulpen er således ca. 272 kr./tons biopulp. Sættes driftsomkostningen til udrådning og udspredning til 70 kr. er netto energiværdien ca. 202 kr./tons biopulp.

Med et udbytte på 23% (230 kg/tons dagrenovation) findes biogasgasværdien af dagrenovationen at være ca. 46 kr./tons dagrenovation.

Samlet set giver sorteringen således en "besparelse" på 125 kr./tons og en "indtægt" på 46 kr./tons, i alt 171 kr./tons dagrenovation. Dette overstiger umiddelbart omkostningerne i scenario 3.

I en mere konkret vurdering må der naturligvis tages hensyn til den faktisk mulige afregningspris i forhold til biogasproducenterne, evt. udnyttelse af andre fraktioner samt de omkostninger, der ikke er kvantificeret i scenarierne.

6.3.4 Arbejds miljø

Bedriftssundhedstjenesten i Århus har været inddraget i designfasen af anlægget til Århus Kommunale Værker og havde derfor i forvejen et vist kendskab til anlæggets opbygning. Samme BST er derfor blevet bedt om at vurdere sorteringsprocessen i forhold til normal dagrenovation og komme med anbefalinger omkring arbejdsmiljø i forhold til et storskala anlæg. BST's samlede vurdering er vedlagt som bilag 2.

Den umiddelbare konklusion er at arbejdsmiljøet ikke udgør en hindring i forhold til at køre et Dewaster anlæg i stor skala på usorteret affald. Der er dog en række forhold, som skal indtænkes i designet for at få et optimalt arbejdsmiljø. Hovedsageligt drejer det sig om at minimere støvgener, minimere ophold ved maskinerne samt lette rengøring og vedligehold mv.

Referencer:

- ¹ Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2003 "Statusredegørelse om organisk dagrenovation".
- ² Bek. Nr. 623 af 30. juni 2003 "Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål"
- ³ Miljøprojekt nr. 868, 2003 "Sammensætning af dagrenovation og ordninger for hjemmekompostering"
- ⁴ Miljøprojekt Nr. 814, 2003 "Skal husholdningernes madaffald brændes eller genanvendes? Samfundsøkonomisk analyse af øget genanvendelse af organisk dagrenovation".
- ⁵ Bl.a. Miljøprojekt Nr. 803, 2003 "Samlerapport for projekter om bioforgasning af organisk dagrenovation gennemført 2000 - 2002".
- ⁶ Miljøprojekt Nr. 731, 2002 "Genanvendelseseffektivitet af hvidblik- og stålemballager"
- ⁷ A. Gendebien et Al, Survey of wastes spread on land, Final Report to DG Environment, 2001.
- ⁸ Miljøprojekt Nr. 475, 1999 "Kildesporing af miljøfremmede stoffer i kloaknet, Bilag 1"
- ⁹ Miljøprojekt Nr. 891, 2004 "Vurdering af forskellige former for energiudnyttelse af plastaffald".



Karakterisering af sorteret
dagrenovation på Ewoc's mekaniske
anlæg på Fynsværket
Efterår 2003

Trine Lund Hansen, Gry Sander Frederiksen & Thomas Højlund Christensen
Miljø & Ressourcer, DTU
Danmarks Tekniske Universitet
Februar 2004

Indhold

<u>FORMÅL</u>	2
<u>AFFALD</u>	2
<u>PRØVETAGNING</u>	2
<u>Prøvetagning af biopulp</u>	2
<u>Prøvetagning fra rejekt</u>	3
<u>Prøvetagning fra sigterest</u>	3
<u>Dobbeltbestemmelser</u>	3
<u>OPARBEJDNING AF PRØVER</u>	3
<u>Frasortering</u>	3
<u>Analysebeskrivelser</u>	4
<u>RESULTATER</u>	5
<u>Fordeling af output fra anlægget</u>	5
<u>Kemiske analyser</u>	6
<u>Metanpotentiale</u>	8
<u>Tungmetalindhold</u>	10
<u>Fordeling af tungmetaller</u>	14
<u>SAMMENFATNING</u>	15
<u>LITTERATUR</u>	17
<u>BILAG 1: VEJEDATA</u>	18
<u>BILAG 2: FODERSTOFANALYSER</u>	19
<u>BILAG 3: FORDELING AF TUNGMETALLER</u>	20

Formål

Dette notat beskriver prøvetagningen og gennemførte analyser af blandet dagrenovation sorteret på NLMs mekaniske anlæg på Fynsværket i perioden oktober-november 2003. Notatet er et bilag til Miljøprojekt Nr. XX, 2004: "Central sortering af dagrenovation".

Prøvetagningen resulterede i karakterisering af de væsentligste output fra anlægget samt vurdering af sorteringseffektiviteten, herunder mængde og sammensætning af biopulp, sigterest og rejekt.

Affald

Sorteringsanlægget behandlede i forsøgsperioden ét læs blandet dagrenovation (omkring 8 tons) per dag. Affaldet blev hovedsageligt indsamlet fra villakvarterer, men tirsdag i ulige uger indsamledes affald fra etageejendomme på ruten. Der var stort set ingen sække i affaldet, da affaldet blev indsamlet i grønne plastaffaldsspande eller større containere. I forbindelse med prøvetagningen blev der behandlet affald fra følgende ruter:

Første prøvetagningsrunde (28-29/10-2003):

M018 (28/10): Munkebjerg/Kragsbjerg (ældre villaområde): 7460 kg

M019 (29/10): Blangstedgård (moderne etageboliger): 11720 kg

Anden prøvetagningsrunde (18-19/11-2003):

M025 (18/11): Odense C (ældre etageboliger): 6340 kg

M026 (19/11): Åløkke-Tarup (ældre villaområde): 7820 kg

Prøvetagning

Sorteringsanlægget genererer 6 output med følgende fordeling (Roesen, 2003): Storskrald (<1%), sigterest (ca. 38%), metal (ca. 2%), oversize (<1%), biopulp (ca. 22%) og rejekt (ca. 35%). De angivne procentsatser er gennemsnit over behandling af 400 tons affald. Ved opgørelse af massebalance for anlægget ses ofte et svind på omkring 3%, hvilket tilskrives fordampning under behandlingen.

Ved prøvetagningen blev kun udtaget prøver af de tre største fraktioner: Sigterest, biopulp og rejekt. De øvrige fraktioner udgjorde maksimalt 4% (vådvægt) af det indkomne affald og det blev derfor besluttet udelukkende at veje disse fraktioner.

Prøvetagning af biopulp

Der blev udtaget 10-15 delprøver ved Dewasteren dagligt jævnt fordelt over hele kørslen (ca. hver halve time). Dette resulterede i omkring 15 kg blandingsprøve, som blev opbevaret i en lukket beholder, hvorfra der blev udtaget de nødvendige prøver.

Biopulpen blev analyseret for tungmetaller og miljøfremmede stoffer (NLM) samt tørstof, VS, foderstofanalyser, brændværdi, Cl, K og tungmetaller (DTU). DTUs analyser krævede omkring 1 kg neddelt og tørret prøve.

Prøvetagning fra rejekt

Der blev udtaget 10-15 delprøver (1 skovlfuld) jævnt fordelt over kørslen. Dette resulterede i en blandingsprøve, hvorfra der blev udtaget de nødvendige prøver til tungmetaller og miljøfremmede stoffer (NLM) samt tørstof, VS, brændværdi, Cl, K og tungmetaller (DTU). Til DTUs analyser skulle bruges omkring 1 kg neddelt og tørret prøve.

Prøvetagning fra sigterest

Sigteresten består hovedsageligt af plast, mælkekartoner, bleer og lignende. Prøver fra sigteresten blev udtaget jævnt fordelt over kørslen. Udtagningen foregik ved med jævne mellemrum at fylde en bigbag med sigterest som blev udtaget med en skovl. Prøverne blev efterfølgende neddelt 2 gange i shredder og blandet inden den endelige prøve blev udtaget. Der blev udtaget omkring 5% af sigteresten for at sikre repræsentative prøver. Sigteresten blev analyseret for tørstof, VS, brændværdi, Cl, K og tungmetaller (DTU).

Dobbeltbestemmelser

Der blev udført dobbeltbestemmelser af alle fire prøvetagninger for at se variationen indenfor det enkelte affaldslæs i forhold til variationen mellem to forskellige læs. Dette blev gjort ved at udtage to separate prøver (formiddag og eftermiddag) fra samme læs.

Oparbejdning af prøver

Efter prøvetagningen blev prøverne tørret ved 80°C i to døgn i en tørreovn på DTU. Herved blev tørstofindholdet bestemt. Tørring ved denne temperatur kan betyde, at en del af kviksølvet i prøverne tabes.

Biopulpen, som inden tørringen havde en "grødagtig" konsistens, var efter tørringen tørre "kager", der relativt nemt kunne neddeles. Biopulp-prøver til analyse for foderstof-komponenter blev neddelt i en ringknuser (rustfrit stål) på DTU og fremsendt til Dansk Landbrugs Grovvarerelskab's Centrallaboratorium (DLG, Odense) som pulver. Den resterende tørrede biopulp blev fremsendt til Sveriges Lantbrukuniversitet til analyse (SLU, Umeå, Sverige). Laboratoriet her neddelte selv prøverne inden analyse ved hjælp af en langsomt roterende kniv. Denne neddeling medfører ikke afsmitning af metal (disse prøver er analyserede for tungmetaller).

Rejektet bestod efter tørring af organisk stof (porøst) iblandet mindre stykker metal, plast, stof og andre komponenter. Rejektet blev ikke neddelt på DTU, men fremsendt i tørret form til SLU, hvor det blev neddelt på samme måde som biopulpen.

Sigterestens konsistens ændredes ikke væsentligt ved tørring, da den hovedsageligt bestod af plast, pap og papir. Denne fraktion var pga. det høje plastindhold den vanskeligste at neddele til homogene prøver. Der blev derfor fremsendt relativt store delprøver til neddeling og analyse hos SLU, hvor neddelingen skete med en langsomt roterende kniv.

Frasortering

Enkelte prøver indeholdt materiale som ikke kunne neddeles med SLUs metode (langsomt roterende kniv). I disse tilfælde blev der sorteret materiale fra, som blev vejjet og identificeret, se

tabel 1. Da de frasorterede mængder udgør en meget lille procentdel, er der ikke korrigeret for disse i de videre beregninger.

Tabel 1: Materiale frasorteret i forbindelse med neddeling hos SLU

Prøve	% af prøvens tørstofvægt	Materiale
Sigterest, 28/10, formiddag	0,3	Negl
Rejekt, 28/10, formiddag	0,7	Metalfatning fra elektrisk pære
Rejekt, 29/10, eftermiddag	4,4	Ledning, kobber

Analysebeskrivelser

Nærmere beskrivelse af de foretagne kemiske analyser for C, H, N, Cl, brændværdi og foderstofkomponenter (tabel 4, 5, 6 og 7) kan ses i Miljøstyrelsen, 2003b.

Analyser for tungmetaller er udført af Analytica (svensk analysefirma.). Inden analyse blev samtlige prøver tørret ved 105°C i Analyticas laboratorier (50°C for kviksølvanalyser). Ved analyser for As, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, S og Zn blev de tørrede prøver syreoplukket med en blanding af salpetersyre, saltsyre og fluorsyre og efterfølgende analyseret ved ICP analyse (OES/AES/SMS). Ved analyse for øvrige metaller blev de tørrede prøver udsat for kemisk smeltning med litium metaborat ved 1000°C inden syreoplukning af asken og efterfølgende ICP analyse. Mere detaljerede analysebeskrivelser kan ses på www.analytica.se (Januar 2004).

Resultater

I det følgende gennemgås resultaterne fra prøvetagningen på anlægget: Fordeling af affaldet mellem de 6 output samt resultater af de kemiske analyser af biopulp, rejekt og sigterest, som DTU har været ansvarlige for.

Fordeling af output fra anlægget

Tabel 2 viser fordelingen af input og output fra anlægget på de fire forsøgsdage. I Bilag 1 ses de vejetal der ligger til grund for tabel 2. Tabel 3 viser fordelingen af tørstof beregnet ud fra tabel 2 og tørstofindholdet i de forskellige output fraktioner (se tabel 4). Tørstofindholdet for de tre mindre fraktioner, magnetisk, storskrald og oversize er ikke bestemt, men er i denne forbindelse antaget at være hhv. 100, 75 og 75%. Det blev besluttet ikke at analysere disse tre fraktioner, da de tilsammen udgjorde maksimalt 4% af den samlede behandlede affaldsmængde.

Tabel 2: Fordelingen af de seks output ved prøvetagningerne. Input-output viser den vægtmæssige afvigelse i % mellem input og output for hver prøvetagning.

Output-fraktioner i % ww	28/10	29/10	18/11	19/11
Biopulp	24	24	26	28
Sigterest	33	35	42	34
Rejekt	40	37	30	36
Magnetisk	2	2	2	2
Storskrald	0	1	0	0
Oversize	0	0	0	0
Input-output	0,29	0,37	-0,88	-1,4

Tabel 3: Fordelingen af tørstof mellem de seks output fraktioner ved prøvetagningerne.

Output-fraktioner i % TS	28/10	29/10	18/11	19/11
Biopulp	13	12	15	13
Sigterest	39	42	47	41
Rejekt	44	41	35	42
Magnetisk	4	4	3	4
Storskrald	0	1	0	0
Oversize	0	0	0	0

Kemiske analyser

Tabel 4 viser de kemiske analyser af biopulp, sigterest og rejekt fra forsøgene.

Tabel 4: Kemiske analyser af biopulp, sigterest og rejekt. Prøve A og B er udtaget fra samme læs affald, men ved separate prøvetagninger hhv. formiddag og eftermiddag. Der er vist gennemsnit og relativ standardafvigelse i % for hver gruppe af analyser.

		TS	Brændværdi	Cl	C	H	N
		DTU	SLU	SLU	SLU	SLU	SLU
		% af ww	MJ/kg TS	% af TS	% af TS	% af TS	% af TS
Biomasse	28/10 A	29,4	16,4	0,94	37,8	4,6	1,9
	28/10 B	30,5	16,8	0,90	39,2	5,0	1,8
	29/10 A	33,6	16,7	1,00	37,8	5,0	1,7
	29/10 B	31,1	17,5	1,10	40,6	5,2	1,9
	18/11 A	32,3	17,9	0,97	40,9	5,5	1,9
	18/11 B	31,9	18,1	0,92	40,4	5,3	1,9
	19/11 A	28,6	18,8	1,20	42,4	5,6	2,0
	19/11 B	28,6	19,4	1,20	43,8	5,8	2,0
	Gennemsnit	30,8	17,7	1,03	40,4	5,3	1,9
Rel.stdev i %	5,9	6,0	11,9	5,2	7,3	5,3	
Sigterest	28/10 A	63,1	24,5	0,62	51,8	7,1	0,9
	28/10 B	62,2	25,4	0,45	53,3	7,3	1,3
	29/10 A	64,5	26,1	0,64	55,5	7,2	1,4
	29/10 B	64,1	24,3	0,75	51,0	7,1	1,0
	18/11 A	54,8	24,3	0,35	53,0	7,4	1,2
	18/11 B	57,9	23,8	0,54	49,2	6,8	1,1
	19/11 A	59,6	24,4	0,56	52,6	7,1	0,8
	19/11 B	59,9	26,0	0,63	55,5	7,5	0,8
	Gennemsnit	60,8	24,8	0,57	52,7	7,2	1,1
Rel.stdev i %	5,5	3,4	21,8	4,1	3,0	21,3	
Rejekt	28/10 A	57,9	15,3	0,39	38,4	4,8	1,2
	28/10 B	58,4	15,1	0,76	34,8	4,9	1,2
	29/10 A	60,6	15,1	0,54	36,9	4,6	1,1
	29/10 B	59,5	15,5	0,37	40,8	5,4	1,2
	18/11 A	59,1	11,5	0,28	30,7	3,9	1,2
	18/11 B	58,6	14,6	0,37	38,7	5,0	1,3
	19/11 A	57,9	17,0	0,30	39,2	5,2	1,4
	19/11 B	56,5	15,2	0,51	37,4	4,9	1,6
	Gennemsnit	58,6	14,9	0,44	37,1	4,8	1,3
Rel.stdev i %	2,1	10,4	35,9	8,4	9,3	12,4	

Tørstofværdierne i tabel 4 er korrigerede for det vand der blev tilsat biopulpen i forbindelse med behandling i Dewasteren (det er antaget, at alt tilsat vand er gået i biopulpen) . Som det ses, er der væsentlig forskel i tørstofindholdet i de tre fraktioner, hvor sigteresten har det højeste tørstofindhold på omkring 60%. Dette var forventet, da denne fraktion hovedsageligt består af bleer, plast og papir. Tørstofprocenten for rejektet ligger et par procent lavere (omkring 58-59%), mens biomassens tørstofindhold ligger væsentligt lavere, omkring 30%. Opgjort per kg tørstof har sigteresten den højeste brændværdi, mens rejektet har den laveste. Den målte brændværdi er den øvre brændværdi.

Generelt er der ikke store variationer mellem prøverne indenfor de enkelte fraktioner. Der er dog en del variation på kloranalyserne generelt og kvælstofanalyser på især sigteresten. Enkelte steder er

der ganske store variationer mellem prøver fra samme dag (formiddag/eftermiddag). Dette gælder bl.a. for nitrogen indholdet i sigterestprøverne fra 28/10 og generelt for rejektprøverne fra 18/11.

Ud over analyserne i tabel 4 blev biopulp, rejekt og sigterest analyseret for foderstofkomponenter hos Dansk Landbrugs Grovvarereselskab's centrallaboratorium (DLG). Analyserne omfattede fedt, protein, træstof, stivelse, aske og Enzym Fordøjeligt Organisk Stof (EFOS). VS-indholdet er beregnet ud fra det målte askeindhold. "Andre kulhydrater" er beregnet som VS-(fedt + protein + træstof + stivelse). Dermed antages, at den del af det organiske stof i prøverne, der ikke udgøres af fedt eller protein består af kulhydrater. Resultaterne af foderstofanalyserne for de forskellige fraktioner fremgår af tabel 5, 6 og 7 samt bilag 2.

Tabel 5: Analyse af foderstofkomponenter i biopulpen

Biopulp	Aske % af TS	VS % af TS	Fedt % af TS	Protein % af TS	Træstof % af TS	Stivelse % af TS	Andre kulhydrater % af TS, beregnet	EFOS % af VS
28/10 A	26.9	73.1	10.7	12.1	11.2	9.2	29.9	93.1
28/10 B	24.6	75.4	11.3	11.3	11.8	12.4	28.8	92.0
29/10 A	25.3	74.7	11.6	11.4	11.9	12.3	27.7	92.4
29/10 B	22.4	77.6	11.6	12.3	11.4	11.9	30.5	91.9
18/11 A	22.1	77.9	13.9	12.5	13.8	10.3	27.3	92.0
18/11B	21.6	78.4	12.8	11.8	12.4	13.6	27.9	92.5
19/11 A	18.8	81.2	14.3	13.1	11.0	12.8	30.0	95.0
19/11 B	16.8	83.2	15.6	12.4	9.9	15.5	29.8	95.2
Gennemsnit	22.3	77.7	12.7	12.1	11.7	12.2	29.0	93.0

Det ses, at affaldslæsset fra 19/11 (A+B) skiller sig ud fra de øvrige læs med lavere indhold af aske og træstof og lidt højere indhold af fedt og protein. Dette betyder, at biopulpen fra dette affaldslæs indeholder mere organisk materiale end de øvrige læs, hvilket også giver sig udslag i en højere EFOS værdi. EFOS giver et billede af nedbrydeligheden af det organiske stof i prøverne. EFOS på 95% af VS viser, at 95% af det organiske stof er bionedbrydeligt, hvilket er relevant i forbindelse med overvejelser omkring videre udnyttelse af det organiske stof.

Tabel 6: Analyser af VS og EFOS i sigteresten

Sigterest	Aske % af TS	VS % af TS	EFOS % af VS
28/10 A	16.9	83.1	45.0
28/10 B	12.6	87.4	42.0
29/10 A	14.8	85.2	37.8
29/10 B	11.2	88.8	42.1
18/11 A	14.5	85.5	48.2
18/11B	11.9	88.1	49.0
19/11 A	10.9	89.1	46.5
19/11 B	12.0	88.0	
Gennemsnit	13.1	86.9	44.3

Tabel 6 viser analyser af VS og EFOS i sigteresten. Sigteresten har et lavt askeindhold og en høj VS andel i forhold til de øvrige to analyserede fraktioner. Dette skyldes, at sigteresten hovedsageligt består af lettere (organiske) elementer, såsom plast og papir med en mindre mængde "andet

organisk materiale”, der klæber til disse. De lave EFOS værdi afspejler, at en stor del af det organiske materiale ikke er enzymfordøjeligt og dermed sandsynligvis heller ikke bionedbrydeligt. Fraktionen blev også analyseret for de øvrige foderstofkomponenter (som biopulp). Disse resultater kan ses i bilag 2. Fordelingen af VS på de forskellige organiske fraktioner er muligvis ikke repræsentative, fordi det høje indhold af plast kan have influeret på resultaterne. Derfor er analyserne ikke kommenteret nærmere her.

Tabel 7: Analyser af VS og EFOS i rejektet

Rejekt	Aske	VS	EFOS
	% af TS	% af TS	% af VS
28/10 A	40.7	59.3	69.5
28/10 B	40.0	60.0	67.3
29/10 A	38.9	61.1	58.2
29/10 B	35.8	64.2	70.6
18/11 A	42.0	58.0	69.7
18/11B	44.6	55.4	64.5
19/11 A	35.4	64.6	70.6
19/11 B	36.6	63.4	78.2
Gennemsnit	39.2	60.8	68.6

I tabel 7 ses resultater af analyser af VS og EFOS i rejektet. Der er fundet et højt askeindhold, hvilket sandsynligvis skyldes, at f.eks. jord, sand og grus fra potteplanter, kattegrus og lignende vil ende i denne fraktion som følge af sorteringssystemets opbygning. Fraktionen har en EFOS værdi på 69%. Dette viser, at fraktionen indeholder en større andel bionedbrydeligt stof end sigteresten, men mindre end biopulpen (hvilket var forventeligt). Som for sigteresten kan plastindholdet have influeret på de øvrige foderstofanalyser. Derfor er disse resultater ikke medtaget her, men kan ses i bilag 2.

Metanpotentiale

Det teoretiske metanpotentiale kan beregnes ud fra sammensætningen af fedt, protein og kulhydrater ved hjælp af Buswells formel (Miljøstyrelsen, 2003a). Teoretiske metanpotentialer for alle tre analyserede affaldsfraktioner ses i tabel 8. De traditionelt beregnede metanpotentialer (de to første kolonner) er ”maksimale potentialer” ved 100% omsætning af det organiske stof. Da sammensætningen og nedbrydeligheden af det organiske stof i de tre fraktioner er meget forskellig (især indholdet af plast og svært nedbrydeligt organisk stof, træstof), er det nødvendigt at tage hensyn til dette for at beregne realistiske og sammenlignelige potentialer. Det er f.eks. usandsynligt, at sigteresten vil give ligeså meget gas som biopulpen, selvom beregninger med Buswells formel viser dette, da denne ikke tager hensyn til nedbrydeligheden. Hvis indholdet af svært nedbrydeligt organisk stof er relativt lavt (som i prøver af rent madaffald eller organisk industriaffald), kan der tages hensyn til det ved beregning af en virkningsgrad i det enkelte anlæg. Men hvis op mod halvdelen af det organiske stof ikke kan omsættes, er det nødvendigt at tage nedbrydeligheden ind i beregningerne. Dette er gjort ved at gange EFOS værdien på maksimalpotentialet for hver prøve (EFOS værdien er et udtryk for bionedbrydeligheden). Dette biogaspotentiale må anses for det mest realistiske potentiale af de tre beregnede.

Tabel 8: Metanpotentialer beregnet for de tre fraktioner. Metanpotentialerne er beregnede efter Buswells formel og modificerede med den målte EFOS værdi.

		Buswell Nm3 CH4/t TS	Buswell Nm3 CH4/t VS	EFOS potentiale Nm3 CH4/t VS
Biopulp	28/10 A	377	516	481
	28/10 B	390	516	475
	29/10 A	389	520	481
	29/10 B	401	517	475
	18/11 A	417	535	492
	18/11B	412	525	485
	19/11 A	433	534	507
	19/11 B	449	539	514
	Gennemsnit	408	525	489
	rel stdev i %	6	2	3
Sigterest	28/10 A	383	461	207
	28/10 B	399	457	192
	29/10 A	399	468	177
	29/10 B	404	455	191
	18/11 A	400	468	226
	18/11B	408	464	227
	19/11 A	424	476	221
	19/11 B	402	456	
	Gennemsnit	402	463	206
	rel stdev i %	3	2	10
Rejekt	28/10 A	286	483	336
	28/10 B	300	500	337
	29/10 A	293	480	279
	29/10 B	312	486	343
	18/11 A	285	491	342
	18/11B	276	498	321
	19/11 A	340	525	371
	19/11 B	317	500	391
	Gennemsnit	301	496	340
	rel stdev i %	7	3	10

Tungmetalindhold

Koncentrationen af metaloxider og tungmetaller blev målt i både biopulp, sigterest og rejekt. Disse data fremgår af tabel 9, 11 og 12. For at bedømme størrelsesordenen af de fundne koncentrationer af tungmetaller er der foretaget sammenligninger med Slambekendtgørelsens grænseværdier (Pb: 120mg/kgTS, Cd: 0,8mg/kgTS, Cr: 100mg/kgTS, Cu: 1000mg/kgTS, Hg: 0,8mg/kgTS, Ni: 30mg/kgTS og Zn: 4000mg/kgTS). Denne sammenligning kan ikke anvendes til en direkte vurdering af egnethed til videre anvendelse indenfor bekendtgørelsens område, da den anvendte analysemetode (fuldstændig oplukning) ikke er den, som danner grundlag for bekendtgørelsens grænseværdier (DS259). Analyser af overskridelser af Slambekendtgørelsens grænseværdier er derfor kun udført for lettere at kunne vurdere, hvor ”høje værdier” forekommer (markeret med fed). Grænseværdierne er mest relevante for biopulpen, da de øvrige fraktioner sandsynligvis forbrændes. Analyser af disse fraktioner er derfor foretaget for at bestemme tungmetallernes fordeling mellem de forskellige fraktioner.

Tabel 9: Metaloxider og tungmetaller i biopulpen. Markering med fed angiver høje koncentrationer.

		Biomasse							
		28/10 A	28/10 B	29/10 A	29/10 B	18/11 A	18/11 B	19/11 A	19/11 B
Aske	% TS	28	25	26	23	23	23	19	17
Aske	% af TS (SLU)	29	26	27	24	24	24	20	18
SiO ₂	% TS	15	13	13	11	11	10	8	7
Al ₂ O ₃	% TS	2.0	1.6	1.8	1.5	1.6	1.4	1.4	1.3
CaO	% TS	3.6	3.5	3.4	3.1	3.3	3.6	3.0	2.6
Fe ₂ O ₃	% TS	0.71	0.48	0.61	0.53	0.48	0.46	0.41	0.43
K ₂ O	% TS	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
MgO	% TS	0.56	0.44	0.52	0.52	0.57	0.49	0.46	0.45
MnO	% TS	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Na ₂ O	% TS	1.9	1.5	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.5
P ₂ O ₅	% TS	0.68	0.59	0.56	0.66	0.69	0.72	0.70	0.69
TiO ₂	% TS	0.12	0.12	0.13	0.11	0.10	0.13	0.09	0.12
sum	% TS	26	23	23	21	21	20	17	15
As	mg/kg TS	2.9	4.9	2.5	1.6	1.6	1.4	43.5	54.5
Ba	mg/kg TS	189	175	113	127	169	144	232	216
Be	mg/kg TS	0.33	0.21	0.24	0.21	0.19	0.16	0.15	0.16
Cd	mg/kg TS	0.43	0.25	0.54	0.25	0.72	0.27	0.20	0.17
Co	mg/kg TS	1.9	1.5	2.0	1.3	1.4	1.6	1.0	1.5
Cr	mg/kg TS	61	49	49	41	67	59	104	108
Cu	mg/kg TS	32	38	37	30	34	24	53	70
Hg	mg/kg TS	4.9	1.1	0.7	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
La	mg/kg TS	5.5	2.7	4.7	3.7	3.9	<1	1.8	1.5
Mo	mg/kg TS	3.9	2.3	2.6	2.1	<1	<1	2.9	1.9
Nb	mg/kg TS	2.6	<1	<2	1.6	1.48	<1	<1	<1
Ni	mg/kg TS	7.9	8.3	9.8	8.2	6.8	6.3	6.4	5.0
Pb	mg/kg TS	33	22	17	19	23	15	38	16
S	mg/kg TS	1860	2570	7200	4700	2770	2870	2840	2920
Sc	mg/kg TS	1.4	0.5	0.8	0.8	0.6	0.4	0.3	0.4
Sn	mg/kg TS	<6	<6	<6	7.92	<5	<5	<4	<4
Sr	mg/kg TS	74	72	73	61	73	71	64	54
V	mg/kg TS	13.9	9.1	16.3	12.3	9.7	8.7	7.4	6.8
W	mg/kg TS	<20	<10	<20	<10	19.4	<10	<10	<10
Y	mg/kg TS	4.9	4.0	4.5	6.3	2.8	3.3	3.4	2.8
Zn	mg/kg TS	200	159	142	112	174	187	188	183
Zr	mg/kg TS	41	42	75	40	34	31	35	29

For langt størstedelen af analyserne ligger tungmetalindholdet under Slambekendtgørelsens grænseværdi. Dog ses 2 mindre overskridelser af grænseværdien for krom og 2 mere alvorlige overskridelser af grænseværdien for kviksølv (den ene med næsten faktor 6). De to ”sæt” overskridelser er fundet i to forskellige affaldslæs, men hvert ”sæt” består af henholdsvis formiddags- og eftermiddagsprøve fra samme læs, hvilket indikerer, at der ikke er tale om en stump metal, men et generelt højere niveau af det pågældende metal i det aktuelle affaldslæs.

Tidligere analyser af tungmetalindhold i forbehandlet kildesorteret organisk dagrenovation fra Århus viste et væsentligt lavere tungmetalindhold, se tabel 10. Disse prøver blev udtaget i forbindelse med et større forsøg i sommeren 2003 og resultaterne er gennemsnit af 5 udtagne prøver (Miljø & Ressourcer DTU, 2004). De fleste af tungmetalkoncentrationerne i prøverne fra Århus lå på omkring det halve af koncentrationerne i prøverne fra Odense. For kviksølv var forskellen endnu større, selv efter at de to højeste værdier af kviksølv i Odense prøverne var taget ud af beregningerne. Denne markante forskel skyldes sandsynligvis, at der i Århus var tale om *kildesorteret* dagrenovation i modsætning til *centralt sorteret* dagrenovation i Odense, hvor risikoen for ”afsmitning” fra det ikke organiske affald før og under behandlingen er væsentlig.

Tabel 10: Sammenligning af tungmetalindhold i centralt sorteret organisk dagrenovation (Odense, 8 prøver) og kildesorteret organisk dagrenovation (Århus, 5 prøver).

		Odense	Århus	Forhold
		Efterår 03	Sommer 03	
Cd	mg/kg TS	0.4	0.1	2.9
Cr	mg/kg TS	67.2	26.1	2.6
Cu	mg/kg TS	39.7	19.4	2.0
Hg	mg/kg TS	0.3	0.03	9.3
Ni	mg/kg TS	7.3	3.8	1.9
Pb	mg/kg TS	23.0	11.1	2.1
Zn	mg/kg TS	168.1	64.0	2.6

Tabel 11: Metaloxider og tungmetaller i sigteresten. Markering med fed angiver høje koncentrationer.

		Sigterest							
		28/10 A	28/10 B	29/10 A	29/10 B	18/11 A	18/11 B	19/11 A	19/11 B
Aske	% TS	16	12	10	13	14	13	12	11
Aske	% af TS (SLU)	16	14	11	14	13	14	12	11
SiO ₂	% TS	1.7	3.8	2.0	4.0	4.6	3.8	3.2	3.7
Al ₂ O ₃	% TS	1.5	3.8	2.1	2.5	2.5	1.6	1.9	2.9
CaO	% TS	0.7	2.5	1.8	2.2	2.4	2.8	2.7	1.8
Fe ₂ O ₃	% TS	9.93	0.04	1.53	0.92	0.93	0.53	0.13	0.09
K ₂ O	% TS	0.10	0.37	0.22	0.31	0.43	0.43	0.32	0.31
MgO	% TS	0.05	0.32	0.23	0.60	0.37	0.30	0.22	0.20
MnO	% TS	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Na ₂ O	% TS	0.26	0.65	0.70	0.97	0.88	0.82	0.65	0.62
P ₂ O ₅	% TS	0.06	0.06	0.09	0.20	0.17	0.35	0.18	0.04
TiO ₂	% TS	0.10	0.15	0.30	0.42	0.30	0.32	0.26	0.15
sum	% TS	14	12	9	12	13	11	10	10
As	mg/kg TS	2.3	2.0	0.8	0.7	0.4	0.5	2.1	12.3
Ba	mg/kg TS	118	93	142	75	70	90	78	72
Be	mg/kg TS	0.08	0.11	0.07	0.15	0.09	0.12	0.10	0.10
Cd	mg/kg TS	0.15	0.63	0.43	0.10	2.12	5.27	0.08	0.13
Co	mg/kg TS	2.5	1.5	1.9	0.9	1.1	2.0	1.2	2.9
Cr	mg/kg TS	39	6	46	51	46	17	69	5
Cu	mg/kg TS	45	4500	33	95	32	31	27	143
Hg	mg/kg TS	0.11	0.32	0.06	0.05	0.04	0.07	0.03	0.06
La	mg/kg TS	1.1	1.8	<0,6	<0,8	<0,8	0.8	<0,7	1.24
Mo	mg/kg TS	2.1	<0,7	<0,6	<0,8	<0,8	1.0	<0,7	<0,7
Nb	mg/kg TS	1.4	<0,7	0.8	2.1	<0,8	<0,7	<0,7	<0,7
Ni	mg/kg TS	31	5.3	6.4	4.6	3.5	3.0	3.0	3.4
Pb	mg/kg TS	13	11	11	26	15	8	8	21
S	mg/kg TS	165	1030	2210	1600	1790	1350	1010	1030
Sc	mg/kg TS	<0,1	0.24	<0,1	0.26	0.19	0.32	<0,1	0.188
Sn	mg/kg TS	103	12	13	21	14	<3	5	<3
Sr	mg/kg TS	11	42	32	40	42	48	42	30
V	mg/kg TS	2.3	1.4	3.9	3.3	2.2	3.7	1.0	0.8
W	mg/kg TS	<7	<7	<6	<8	<8	<7	<7	<7
Y	mg/kg TS	0.4	1.2	1.1	4.7	1.2	1.6	1.3	1.6
Zn	mg/kg TS	158	87	1760	1610	82	160	126	85
Zr	mg/kg TS	6.0	25.6	13.5	23.3	18.2	7.3	27.3	17.1

Der ses store variationer i tungmetalindholdet indenfor de enkelte fraktioner. Dette kan skyldes, at prøverne ikke er helt homogene, hvilket betyder, at der kan komme metalstykker med i analyserne, således at metalindholdet i enkelte prøver forekommer meget højt sammenlignet med niveauet i øvrigt. Dette er især tilfældet for sigterest og rejekt (se tabel 11 og 12), som er mindre homogent end biopulpen.

Tabel 12: Metaloxider og tungmetaller i rejektet. Markering med fed angiver høje koncentrationer.

		Rejekt							
		28/10 A	28/10 B	29/10 A	29/10 B	18/11 A	18/11 B	19/11 A	19/11 B
Aske	% TS	43	32	33	29	42	40	39	34
Aske	% af TS (SLU)	42	41	33	39	51	40	36	37
SiO ₂	% TS	26	17	19	17	24	24	23	20
Al ₂ O ₃	% TS	4.5	3.9	2.7	3.3	5.5	2.7	3.0	3.0
CaO	% TS	5.3	4.7	4.5	3.6	5.5	5.6	4.7	4.3
Fe ₂ O ₃	% TS	0.30	0.68	0.58	0.41	0.46	0.30	0.27	0.61
K ₂ O	% TS	0.83	1.08	0.64	0.67	1.07	0.69	0.63	0.82
MgO	% TS	0.70	0.60	0.71	0.55	0.89	0.68	0.60	0.59
MnO	% TS	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03
Na ₂ O	% TS	3.6	2.0	2.3	2.2	3.3	3.6	3.8	2.2
P ₂ O ₅	% TS	0.55	0.62	0.50	0.53	0.64	0.42	0.42	0.88
TiO ₂	% TS	0.11	0.21	0.15	0.12	0.16	0.10	0.08	0.18
sum	% TS	42	31	31	29	41	38	37	32
As	mg/kg TS	1.5	2.5	0.9	1.1	1.1	1.8	12.6	21.8
Ba	mg/kg TS	249	226	194	387	294	224	171	186
Be	mg/kg TS	<0,2	0.33	0.34	0.24	0.36	0.25	0.24	0.54
Cd	mg/kg TS	1.8	0.3	0.5	0.2	3.1	0.1	0.5	0.9
Co	mg/kg TS	1.7	2.0	2.0	1.5	6.8	2.8	1.7	1.5
Cr	mg/kg TS	132	192	101	100	209	195	179	249
Cu	mg/kg TS	44	30	3160	42	56	36	61	3030
Hg	mg/kg TS	1.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
La	mg/kg TS	5.1	4.4	3.3	3.8	3.5	<2	<2	3.6
Mo	mg/kg TS	<2	2.0	<2	<2	<3	<2	2.6	2.5
Nb	mg/kg TS	<2	2.0	2.0	<2	<3	<2	<2	<2
Ni	mg/kg TS	13	10	10	13	16	17	15	18
Pb	mg/kg TS	25	28	40	6	20	11	67	129
S	mg/kg TS	1450	1800	4330	1570	1720	996	2340	1360
Sc	mg/kg TS	0.63	0.70	0.98	0.51	0.79	<0,5	<0,4	0.64
Sn	mg/kg TS	<10	<8	<8	<7	<10	<9	<9	<8
Sr	mg/kg TS	73	87	64	67	98	87	70	69
V	mg/kg TS	7.5	11.5	13.6	9.0	10.9	6.2	5.8	10.4
W	mg/kg TS	<20	<20	<20	<20	<30	<20	<20	<20
Y	mg/kg TS	3.6	4.5	3.8	4.5	4.3	3.2	2.8	4.6
Zn	mg/kg TS	109	93	80	86	177	110	181	2030
Zr	mg/kg TS	45	65	55	72	52	46	41	48

Fordeling af tungmetaller

Den vægtmæssige fordeling af tungmetallerne mellem de tre væsentligste output fraktioner (biopulp, sigterest og rejekt) ses i bilag 3 (tabel B3.1). Der er her regnet på tungmetaller målt direkte i de tre fraktioner og der tages således ikke hensyn til selve metalfraktionen (fjernet ved magnetseparering), som må formodes at indeholde størstedelen af det totale metalindhold i det oprindelige usorterede affald. De tungmetaller der er behandlet her, er således sandsynligvis den mængde tungmetaller man må påregne at finde i forskellige sorteringsfraktioner af centralt sorteret dagrenovation efter udsortering af metal ved magnetseparering. Denne ”oprindelige koncentration” er beregnet i bilag 3 (tabel B3.2).

Det ses, at de forskellige tungmetaller fordeler sig forskelligt mellem de tre fraktioner og ikke nødvendigvis følger fordelingen af våd vægt eller tørstof. Dette skyldes dels forskellig anvendelse af metallerne i produkter (metalklumper fra f.eks. batterier, søm og lignende vil typisk ende i rejektet, coating på kartoner vil ende i sigteresten og flydende kviksølv fra f.eks. et termometer vil sandsynligvis ende i biopulpen), dels forskellige fysiske egenskaber. Beregner man den gennemsnitlige fordeling for alle metaller, fås 20% i biopulpen, 30% i sigteresten og 50% i rejektet.

Fordelingen for hvert tungmetal er beregnet på baggrund af analyser af 8 udtagne prøver fra hver fraktion. Der ses store variationer mellem de enkelte prøver, hvilket giver sig udslag i store standardafvigelser. De beregnede fordelinger er skal derfor tages med et vist forbehold.

Sammenfatning

De foretagne analyser viste, at behandlingen af blandet dagrenovation på anlægget resulterede i tre større affaldsfraktioner med forskelligt tørstofindhold og kemisk sammensætning.

Tørstofindholdet i biopulpen lå omkring 30% (relativ standardafvigelse på under 6%), hvoraf gennemsnitligt 22% var af aske. Sammensætningen af det organiske stof i biopulpen blev bestemt ved analyser og viste følgende gennemsnitlige sammensætning (opgjort som % af TS): 13% fedt, 12% protein, 12% træstof og 41% andre kulhydrater (bestemt som difference). Tidligere analyser af organisk dagrenovation forbehandlet i skrueseparator (Dewaster) har vist et gennemsnitligt tørstofindhold 25% af vådvægt, et askeindhold på 12% af TS og en sammensætning af det organiske stof (fedt:protein:træstof:andre kulhydrater som % af TS) på 17:17:11:43 (Miljøstyrelsen, 2003b). Disse gennemsnitstal er baseret på 23 prøvetagninger af kildesorteret organisk dagrenovation indsamlet i forskellige områder og forbehandlet på Vaarst-Fjellerad Biogasfællesanlæg. Biopulpen fra NLMs forsøg viste altså et højere indhold af aske og dermed et lidt lavere indhold af de organiske fraktioner. Dette skyldes sandsynligvis, at der ved behandling af det blandede dagrenovation kommer mere jord, sand, grus, sten, kattegrus og lignende i den organiske fraktion end der vil være i forbehandlet kildesorteret dagrenovation.

Beregning af det teoretiske metanpotentiale på baggrund af foderstofanalyser viste, at biogaspotentialet for biopulpen lå omkring $408 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t TS}$, svarende til $525 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t VS}$. Dette er på linie med resultaterne i Miljøstyrelsen, 2003b, hvor det gennemsnitlige teoretiske metanpotentiale blev beregnet til $481 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t TS}$, svarende til $546 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t VS}$ (det antages, at 75% af dette teoretiske potentiale kan opnås). Metanpotentialet for alle tre fraktioner er modificeret med de målte EFOS værdier pga. en meget varierende sammensætning af det organiske stof (især indhold af plast og svært nedbrydeligt organisk stof). Herved opnås følgende realistiske og sammenlignelige metanpotentialer for de tre fraktioner (biopulp, sigterest og rejekt) på hhv. 489, 206 og $340 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t VS}$.

Generelt viste analyserne ikke signifikant forskel mellem etageejendomme og villaer, ligesom det ikke umiddelbart kunne konkluderes, at prøver taget fra samme affaldslæs (A og B prøver) parvis afveg fra det gennemsnitlige billede (alle 8 prøver). Dog skilte biopulpen fra et enkelt læs sig ud ved foderstofanalyserne der viste, at læsset fra 19/11 indeholdt mere organisk stof og mindre aske end de øvrige prøver.

Analyserne for tungmetaller viste, at koncentrationen af tungmetaller i biopulpen generelt ikke overskred slambekendtgørelsens grænseværdier. Der sås dog enkelte overskridelser for krom og kviksølv. I prøverne af sigterest og rejekt sås en del afvigende prøver (meget høje koncentrationer af tungmetaller i forhold til det generelle niveau). Dette skyldtes sandsynligvis, at der var metalstumper i prøverne. Sammenligningen med Slambekendtgørelsens grænseværdier er medtaget for at angive størrelsesordenen af koncentrationerne af tungmetaller i prøverne. Da de anvendte analysemetoder (fuldstændig oplukning) ikke er identiske med de analysemetoder der ligger til grund for Slambekendtgørelsens grænseværdier (DS259), kan der dog ikke foretages en direkte sammenligning med henblik på at vurdere biopulpens egnethed videre anvendelse.

Ikke alle tungmetaller fjernes ved magnetseparering og de tilbageblevne metaller er derfor vigtige at kvantificere af hensyn til den videre anvendelse af fraktionerne. Fordelingen af tungmetaller er

derfor beregnet. En relativt stor del af tungmetallerne (gennemsnitligt omkring 50%) ender i rejektet. Dette skyldes hovedsageligt sorteringsanlæggets opbygning

De kemiske analyser af rejektet viste, at rejektets brændværdi målt på tørstofbasis er lidt lavere end for biopulpen, ligesom indholdet af C, H og N er lidt lavere. Dette kan hænge sammen med, at rejektet udover organisk stof indeholder en del ikke organiske materialer (jord, sand, grus samt en mindre mængde metal), hvilket bl.a. afspejles i et relativt højt askeindhold.

Sigteresten har et højt tørstofindhold og høj brændværdi sammenlignet med de øvrige fraktioner. Dette skyldes, at denne fraktion hovedsageligt består af pap, papir og plast. Bleer og andre vandsugende materialer gør dog, at sigteresten indeholder omkring 40% vand. Indholdet af C og H er højere end for de to øvrige fraktioner, ligesom andelen af VS er meget høj. Dette skyldes, at størstedelen af tørstoffet udgøres af organisk stof, der dog er mindre omsætteligt end det organiske stof i rejekt og biopulp (afspejles bl.a. i en lav EFOS-værdi).

Litteratur

Analytica: www.analytica.se, 2004

Miljø & Ressourcer DTU 2004: Kemisk sammensætning af affald, Del 1, Forbrændingstest i Århus, Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2004

Miljøstyrelsen 2003a: Miljøprojekt Nr. 802: Basisdokumentation for biogaspotentialiet i organisk dagrenovation, Bilag 3, Miljøstyrelsen, 2003

Miljøstyrelsen 2003b: Miljøprojekt Nr. 815: Datarapport om sammensætning og biogaspotentialer i organisk dagrenovation, Miljøstyrelsen, 2003

Roesen, Mads 2003: Personlig samtale, december 2003

Bilag 1: Vejedata

Tirsdag 28/10	kg ww	%
Dagrenovation ind:	7460	
Vand ind	0	
Total ind	7460	
Sigterest	2500	33
Rejekt	3020	40
Biomasse	1800	24
Magnetisk	142	2
Storskrald	0	0
Oversize	20	0
Totalt ud	7482	100

Onsdag 28/10	kg ww	%
Dagrenovation ind:	11720	
Vand ind	518	
Total ind	12238	
Sigterest	4320	35
Rejekt	4557	37
Biomasse	2940	24
Magnetisk	273	2
Storskrald	86	1
Oversize	17	0
Totalt ud	12193	100

Tirsdag 18/11	kg ww	%
Dagrenovation ind:	6340	
Vand ind	139	
Total ind	6479	
Sigterest	2699	42
Rejekt	1946	30
Biomasse	1660	26
Magnetisk	103	2
Storskrald	0	0
Oversize	14	0
Totalt ud	6422	100

Onsdag 19/11	kg ww	%
Dagrenovation ind:	7820	
Vand ind	401	
Total ind	8221	
Sigterest	2740	34
Rejekt	2916	36
Biomasse	2280	28
Magnetisk	166	2
Storskrald	0	0
Oversize	4	0
Totalt ud	8106	100

Bilag 2: Foderstofanalyser

Nedstående tabeller viser foderstofanalyser af sigterest og rejekt. Fordelingen af VS på fedt, protein, træstof, stivelse og andre kulhydrater er muligvis ikke repræsentativ for fraktionerne da det store indhold af plast muligvis kan have influeret på målingerne ved at de forholdsvis hårde oplukninger har opløst en del af plasten som dermed er inkluderet i f.eks. fedt og protein målingerne. Det kræver nærmere undersøgelser at definere den reelle indflydelse af plast på målingerne.

Tabel B2.1: Foderstofanalyser af sigterest

Sigterest	Aske % af TS	VS % af TS	Fedt % af TS	Protein % af TS	Træstof % af TS	Stivelse % af TS	Andre kulhydrater % af TS, beregnet	EFOS % af VS
28/10 A	16.9	83.1	5.7	4.6	57.8	3.8	11.2	45.0
28/10 B	12.6	87.4	5.1	7.3	58.5	3.7	12.8	42.0
29/10 A	14.8	85.2	6.6	7.4	69.1	3.2	-1.0	37.8
29/10 B	11.2	88.8	5.2	5.2	60.1	3.0	15.3	42.1
18/11 A	14.5	85.5	6.6	6.9	51.1	6.0	14.9	48.2
18/11B	11.9	88.1	6.3	6.2	54.3	5.0	16.2	49.0
19/11 A	10.9	89.1	8.5	4.2	58.8	4.4	13.3	46.5
19/11 B	12.0	88.0	6.1			4.8		
Gennemsnit	13.1	86.9	6.3	6.0	58.5	4.2	11.8	44.3

Tabel B2.2: Foderstofanalyser af rejekt

Rejekt	Aske % af TS	VS % af TS	Fedt % af TS	Protein % af TS	Træstof % af TS	Stivelse % af TS	Andre kulhydrater % af TS, beregnet	EFOS % af VS
28/10 A	40.7	59.3	5.8	6.9	24.2	7.1	15.4	69.5
28/10 B	40.0	60.0	7.5	7.8	27.4	8.1	9.2	67.3
29/10 A	38.9	61.1	5.6	7.1	30.3	7.0	11.1	58.2
29/10 B	35.8	64.2	6.7	7.2	23.8	7.9	18.7	70.6
18/11 A	42.0	58.0	6.4	7.3	24.0	6.1	14.3	69.7
18/11B	44.6	55.4	6.8	7.0	23.1	6.1	12.5	64.5
19/11 A	35.4	64.6	10.8	8.3	23.4	8.2	13.9	70.6
19/11 B	36.6	63.4	7.8	8.9	21.0	8.4	17.2	78.2
Gennemsnit	39.2	60.8	7.2	7.6	24.7	7.4	14.0	68.6

Bilag 3: Fordeling af tungmetaller

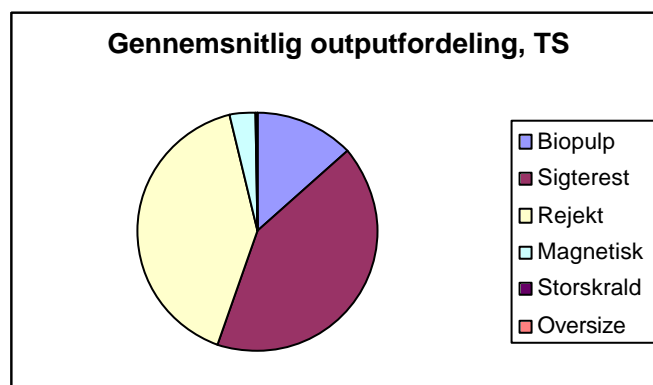
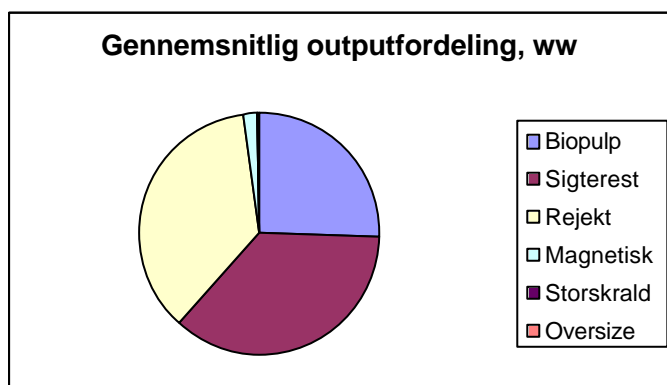
I nedenstående tabel ses fordelingen (i %) af tungmetaller mellem de tre vægtmæssigt væsentligste output fraktioner. Der er tale om den mængde tungmetaller der er tilbage i affaldet efter at den egentligt metalfraktion er fjernet ved magnetseparering og dermed sandsynligvis den koncentration af metaller som man må påregne at finde i centralt sorteret affald. For nogle metaller (La, Mo, Nb, Sn og W) var koncentrationer i en del af prøverne under detektionsgrænsen. Disse er ikke medtaget i disse beregninger. I tabellen angives relative standardafvigelser i % og det ses, at der er store standardafvigelser på fordelingerne. Dette skyldes inhomogen fordeling af metallerne i affaldet og de målte koncentrationer svinger derfor meget mellem de enkelte prøver. Nederst i tabellen angives den gennemsnitlige outputfordeling fra de 4 prøvetagninger for de tre største fraktioner: biopulp, sigterest og rejekt. Sammenligninger af disse værdier med fordelingen af de forskellige tungmetaller viser, at tungmetallerne opfører sig forskelligt med hensyn til fordeling mellem de forskellige fraktioner (både hvis der ses på våd vægt og tørstof).

Tabel B3.1: Procentvis fordeling af tungmetaller mellem biopulp, sigterest og rejekt. Fordelingerne er gennemsnit af 8 målinger for hver fraktion. Der er angivet relative standardafvigelser (i %). Desuden angives den gennemsnitlige fordelinger af alle metaller samt fordelingen af våd vægt og tørstof. De to sidstnævnte giver ikke 100% tilsammen, da de tre mindre sorteringsfraktioner ikke er medtaget.

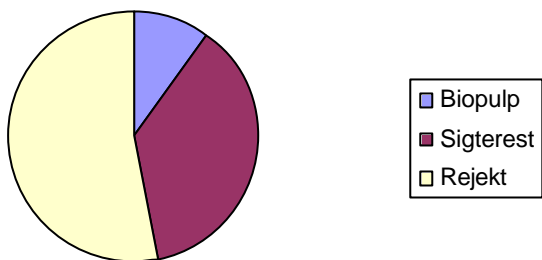
	Biopulp		Sigterest		Rejekt	
	gnsn	stdev (%)	gnsn	stdev (%)	gnsn	stdev (%)
As	31.3	35.9	26.3	43.9	42.4	18.7
Ba	16.7	37.6	24.3	28.7	59.1	14.4
Be	19.9	79.3	25.0	39.5	55.1	43.1
Cd	10.1	73.1	37.0	80.8	53.0	53.6
Co	12.4	20.3	38.9	32.9	48.7	28.6
Cr	10.8	22.7	16.9	66.4	72.3	15.5
Cu	8.1	88.5	40.0	80.1	51.8	62.6
Hg	39.8	34.1	26.0	51.6	34.2	24.1
Ni	12.3	30.0	26.5	62.4	61.2	24.9
Pb	16.4	40.3	29.1	65.4	54.4	41.7
S	28.1	14.6	28.7	42.2	43.2	32.6
Sc	34.0	81.7	19.1	120.6	46.9	63.9
Sr	18.3	12.1	26.6	29.1	55.1	12.4
V	25.0	17.5	15.5	56.4	59.5	19.0
Y	21.1	19.4	22.6	46.8	56.3	17.2
Zn	14.1	67.5	48.1	64.8	37.8	75.1
Zr	17.9	28.7	20.2	37.5	61.9	10.5
gnsn	19.8	45.8	27.7	31.6	52.5	18.2
WW	26.0		36.0		36.0	
TS	13.0		42.0		41.0	

Tabel B3.2: Koncentrationer af tungmetaller i det oprindelige usorterede affald (den frasorterede metalfraktion undtaget). Disse værdier vil give et billede af metalniveauet i forskellige fraktioner af centralt sorteret dagrenovation efter magnetseparering.

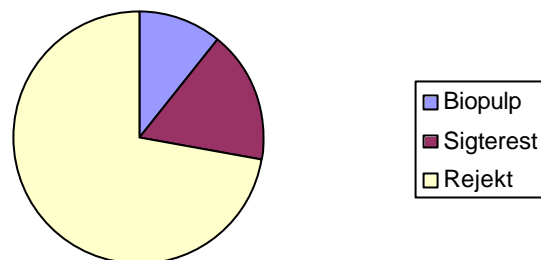
		28/10 A	28/10 B	29/10 A	29/10 B	18/11 A	18/11 B	19/11 A	19/11 B
As	mg/kg affald	1.0	1.3	0.6	0.5	0.4	0.6	6.5	11.3
Ba	mg/kg affald	95.5	84.7	84.7	111.4	82.4	73.1	70.1	69.9
Be	mg/kg affald	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cd	mg/kg affald	0.5	0.2	0.3	0.1	1.1	1.3	0.1	0.2
Co	mg/kg affald	1.0	0.9	1.0	0.6	1.6	1.1	0.7	1.0
Cr	mg/kg affald	43.0	49.6	36.8	36.6	53.3	43.2	59.6	60.4
Cu	mg/kg affald	21.8	933.4	718.9	32.7	20.0	15.7	22.3	651.1
Hg	mg/kg affald	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
La	mg/kg affald	1.8	1.6	1.1	1.1	1.0	0.2	0.1	1.1
Mo	mg/kg affald	0.7	0.6	0.2	0.2	0.0	0.2	0.8	0.7
Nb	mg/kg affald	0.5	0.5	0.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
Ni	mg/kg affald	9.8	4.0	4.6	4.4	4.1	4.3	4.2	4.7
Pb	mg/kg affald	10.8	10.5	12.8	8.6	8.8	5.1	18.6	31.8
S	mg/kg affald	500.9	820.0	2050.5	1055.5	949.2	741.7	920.1	720.6
Sc	mg/kg affald	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2
Sn	mg/kg affald	21.5	2.4	3.0	5.3	3.2	0.0	1.1	0.0
Sr	mg/kg affald	24.3	34.3	27.5	28.4	33.1	32.8	28.1	24.5
V	mg/kg affald	3.2	3.6	5.2	3.6	3.2	2.7	2.0	2.8
W	mg/kg affald	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0
Y	mg/kg affald	1.3	1.6	1.5	2.5	1.3	1.2	1.1	1.5
Zn	mg/kg affald	72.2	51.3	426.7	388.7	64.9	73.8	78.3	444.9
Zr	mg/kg affald	14.6	23.6	21.4	24.0	16.2	12.4	16.9	15.6



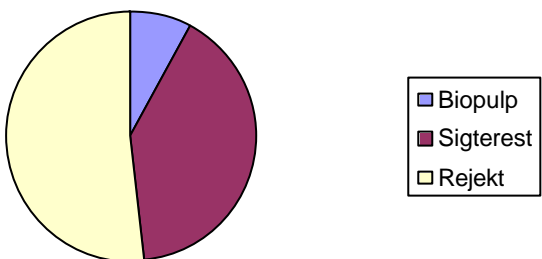
Fordeling af cadmium



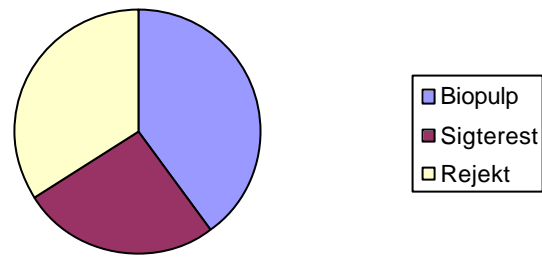
Fordeling af krom



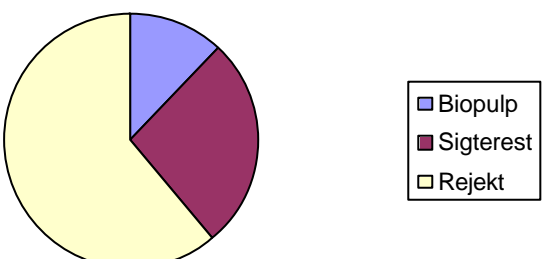
Fordeling af kobber



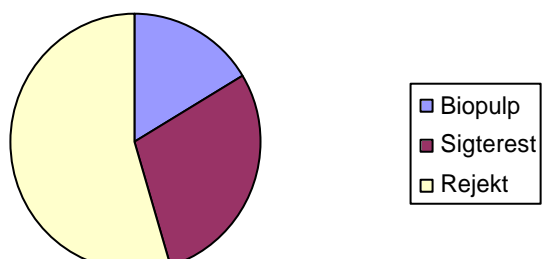
Fordeling af kviksølv



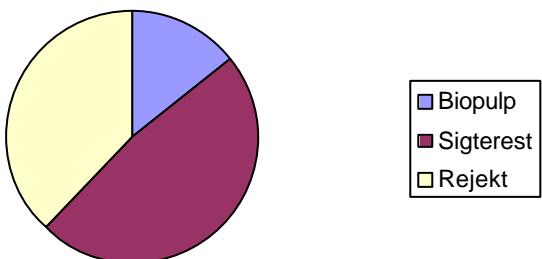
Fordeling af nikkel



Fordeling af bly



Fordeling af zink





Arbejdsmiljøet ved behandling af usorteret dagrenovation i Dewaster

Arbejds miljøet ved "Dewasting" af usorteret dagrenovation er gennemgået for teoretiske og faktiske arbejdsmiljøproblemer i forhold til fremtidig drift i fuldskala.

Vurderingen er udført som en samlet risikovurdering, eller en arbejdspladsvurdering, for arbejdet med behandling af usorteret dagrenovation ved Dewaster fra levering til aflevering til viderebehandling.

I vurderingen er følgende situationer gennemgået efter en disposition, der inddrager de væsentligste risikofaktorer ved affaldsbehandling under:

- Drift
- Vedligeholdelse
- Reparation
- Uheld

Der er specielt taget hensyn til udsættelse for det organiske materiale i dagrenovationen.

Speciallæge i arbejdsmedicin Jens Brandt
BST Århus

Generel anlægsopbygning og arbejdsmiljø

Generelt bør alle anlægsdele opbygges, så de under normal drift kan køre uden tilstedeværelse af personer i produktionslokalet. I produktionsbygninger vil længerevarende ophold ofte kræve åndedrætsværn.

Ved projekteringen og opbygningen skal man overveje, under hvilken produktionsform personalet bliver mindst udsat for støv og aerosoler fra det organiske affald.

Indkapsling af transportbånd og maskiner vil begrænse støveksposeringen under normal drift. Men samtidig vil det erfaringsmæssigt mangedoble tiden, der går til den nødvendige rengøring og reparation af anlægget. Desuden skal det overvejes, om indkapslingen er tilstrækkelig til at sikre et arbejdsmiljø, hvor det ikke er nødvendigt at bruge åndedrætsværn.

Det anbefales at betragte anlægget og produktionslokalet som et lukket produktionssystem, hvor værnemidler er nødvendige ved ophold inde i produktionsapparatet. Personalets opholdstid i produktionslokalerne skal samtidig minimeres ved service- og rengøringsvenlig opbygning af produktionsapparatet.

Bygningskonstruktionen skal sikre bedst mulige adgangsforhold til service og renholdelse. Det bør være muligt, at en meget stor del af renholdelsen sker maskinelt.

Maskinkonstruktionen skal sikre gode adgangsforhold til service, renholdelse, reparation og gode adgangsforhold under uheld.

Gode adgangsforhold minimerer forbrug af arbejdstid, forbedrer arbejdsmiljøet og sikrer bedre drift.

Reservoirsilo

Ved modtagelse af affald deponeres det i en midlertidig silo til viderebehandling. Behandlingen er maskinel, og der er ingen risiko for kontakt med affald under normale arbejdsbetingelser. Der kan være støvdannelse ved aflæsning og behandling med oplæsser.

Behandling med entreprenørmaskiner forudsætter lukket førerkabine med overtryksventilation.

Modtagesilo

Modtagesiloen er opbygget, så der ikke er årsag til kontakt med affaldet under normal drift. Bevægelsen i transportør er så langsom, at der ikke sker nogen støvudvikling.

Bevægelseshastigheden af transportøren er så lav, at der ikke er nogen umiddelbar ulykkesrisiko ved "bevægelige maskindele".

Ved direkte tipping af dagrenovation i modtagesilo skal silokanter sikres mod nedstyrtning.

Reparation forudsætter maskinel tømning og manuel rengøring, før man risikofrit kan arbejde på konstruktionen.

Rengøring af modtagesilo kan ved den nuværende konstruktion ikke ske maskinelt/automatisk. Det indebærer en risiko for udsættelse for støv og aerosoler af organisk og uorganisk oprindelse. Dette forudsætter brug af relevante værnemidler.

Transportbånd

Transportbånd udgør en ulykkesrisiko og skal være afskærmet under normal drift og beskyttet mod utilsigtet start under service og reparation.

Transporten på bånd øger ikke støv og aerosoldannelsen. Men ved overgang mellem bånd og nedstyrning af affald kan der ske støvophvirvling og aerosoldannelse.

Spild fra bånd øger arbejdet med renholdelse. Bånd skal være konstrueret til at spilde mindst muligt, og effektive afskrabere skal sikre mod spild ved båndender og fra bagsiden af bånd. Overgang mellem bånd skal sikres mod spild.

Poseåbner

Poseåbnerens bevægelige dele vil skabe luftbevægelser, støvdannelse og støvbevægelse.

Men affaldet er generelt så fugtigt, at støv ikke er et generelt problem under normal drift. Derimod ophvirvles endotoxiner. Støvudviklingen kan håndteres ved indkapsling og udsugning. Ved en eventuel indkapsling skal opbygningen af indkapsling og ventilation være således, at reparation og service kan ske uden risiko og uden øgning af den samlede risiko.

De bevægelige dele i poseoprivern er en ulykkesrisiko, og den skal sikres mod adgang under drift og sikres mod utilsigtet start under service og reparation.

Sneglesigte

Sneglesigtens bevægelige dele udgør en ulykkesrisiko og skal være afskærmet under normal drift og beskyttet mod utilsigtet start under service og reparation.

Men affaldet er generelt så fugtigt, at støv ikke er et generelt problem under normal drift. Derimod ophvirvles endotoxiner. Støvudviklingen kan håndteres ved indkapsling og udsugning. Ved en eventuel indkapsling skal opbygningen af indkapsling og ventilation være således, at reparation og service kan ske uden risiko og uden øgning af den samlede risiko.

Magnetseparator

Selve separatoren udgør ingen risiko for arbejdsmiljøet.

Desizer

Desizerens bevægelige dele udgør en ulykkesrisiko og skal være afskærmet under normal drift og beskyttet mod utilsigtet start under service og reparation.

Buffertank før Dewaster

Tankens indhold af organisk materiale udgør en risiko ved service og reparation. Under arbejde i en ikke rengjort tank skal der bruges passende sikkerhedsudstyr.

Dewaster

Dewasteren fungerer som lukket system og udgør ingen risiko ved normal drift.

Ved mekanisk stop i Dewasteren skal den adskilles for at fjerne årsagen, medmindre reverse-ring af sneglen kan fjerne årsagen til stop.

Der skal være en procedure for håndtering af stop og adskillelse af Dewaster.

Platforme og gangbroer

For sikker adgang til alle dele af produktionsapparatet skal etableres platforme og gangbroer. Specielt skal der være sikker adgang til alle faste service- og rensningsadgange.

Risikofaktorer

Risiko for ulykker

Bevægelige dele

Der er bevægelige dele i anlægget, som skal være ordentligt afskærmet under alle arbejdsprocesser, og som skal sikres under service og reparation.

Nedstyrtningsfare

Der arbejdes i flere niveauer, og der kan være nedstyrtningsfare.

Produktionsapparatet skal vurderes samlet i henhold til Maskindirektivet.

Risiko for sundheden

Alle risikofaktorer beskrives, derfor vil der være gentagelser i de enkelte afsnit.

Den største risiko ved behandlingen af husholdningsaffaldet er støvet.

Støv i affald

Støv er små partikler, der kan svæve i luften. De helt små partikler kan, når de indåndes, komme helt ud i de fine lungeblærer. Større partikler sætter sig i næse, hals og svælg og kan sluges. På huden kan støvet dække og sætte sig i hudens porer. Små dråber, aerosoler, opfører sig ligesom støv og betragtes som støv.

Effekten afhænger af støvets sammensætning, støvkornenes størrelse og den måde, hvorpå støvet påvirker kroppen. Man skal vide, om støvet påvirker huden, sætter sig på slimhinderne, går i lungerne eller sluges. Det er nødvendigt at kende støvets sammensætning. Er det uorganisk støv, organisk støv eller mikroorganismer, og indeholder støvet særligt farlige stoffer, såsom tungmetaller eller asbest?

I husholdningsaffald er støvet en blanding af uorganisk og organisk materiale. Den organiske del består af vand, uspecifikt organisk materiale, mikroorganismer og mikroorganismernes nedbrydningsprodukter.

Alt støv er sundhedsskadeligt. Ved indånding afhænger risikoen af mængden. Afhængig af hvad støvet indeholder, kan det give:

- Hoste (alt støv)
- Bronkitis (alt støv)
- Astma (specielt organisk støv)
- Kemisk lungebetændelse (organisk støv, specielt svampe)
- "Influenza" symptomer (organisk støv, specielt svampe)
- Udslæt og eksem (alt støv)
- "Stenlunger" (kvarts)

Organisk støv fra planter og dyr og fra bakterier, svampe og svampesporer er særligt sundhedsskadeligt. Selv i små mængder kan det give hoste, bronkitis, astma og allergisk lungebetændelse eller influenzasyntomer.

Organisk støv i affald

Organisk støv kommer fra planter og dyr. Det indeholder ofte bakterier, svampe og endotoksiner.

Det organiske støv er særligt sundhedsskadeligt ved indånding. Selv i små mængder kan det give hoste og bronkitis, men den særlige risiko ligger i udviklingen af astma, allergisk lungebetændelse med influenzasyntomer og endelig forbigående mave-tarm symptomer.

Det er uklart, hvad der er årsag til mave-tarmsymptomer. Meget tyder på, at det er gasser og dampe fra fermentering af det organiske materiale, fordi det har vist sig, at problemet ikke løses ved brug af velfungerende støvfiltermaske, før denne er kombineret med et kulfilter.

Mikroorganismer i affald

Organisk støv indeholder bakterier og svampe. Mikroorganismene er typisk frit levende fra naturen.

Mikroorganismene vokser særdeles godt i den våde fraktion af husholdningsaffald. Organiske materialer giver under fugtige betingelser mulighed for vækst af mikroorganismer.

Mikroorganismer er sundhedsskadelige ved indånding, og selv i små mængder kan de give hoste, bronkitis, astma, allergisk lungebetændelse eller symptomer på "influenza" og mavebesvær. Det er sjældent, at de giver anledning til en smitsom infektionssygdom.

Endotoksiner i affald

Endotoksiner findes i kapslerne på visse almindelige bakterier. Når bakterien dør, frigives endotoxin. Organisk støv i affald indeholder endotoksiner. Mikroorganismene vokser særdeles godt i den våde fraktion af husholdningsaffald. Organiske materialer giver under fugtige betingelser mulighed for vækst af mikroorganismer og dannelse af endotoksiner.

Endotoksiner er sundhedsskadelige ved indånding, og selv i små mængder kan de give hoste, bronkitis, astma, allergisk lungebetændelse eller influenzasyntomer og mavebesvær.

Endotoxiner kan findes i luften omkring affaldsanlæg, selv når støvniveauet er lavt.

Generel vejledning for sikkerhed ved arbejde på anlægget

Følgende sikkerhedsmæssige forholdsregler skal betragtes som de grundlæggende sikkerhedsforanstaltninger, der kan modificeres alt efter det konkrete anlægs opbygning.

Normal drift

Ved normal drift med ophold tæt på anlægget i hovedparten af arbejdsdagen bør man, efter en konkret vurdering, bruge:

- Åndedrætsværn – helmaske med motor og P3+A2 filter
- Støvfafvisende arbejdstøj

Anlæg bør opbygges med produktionen adskilt fra medarbejdernes opholdszoner og kun ved ophold i produktionslokalerne, bør der bruges værnemidler.

Almindelig rengøring

Den almindelige rengøring kan udføres efter standsning af produktionsanlæg.

Ved daglig rengøring bruges, efter en konkret vurdering, følgende værnemidler:

- Åndedrætsværn – helmaske med motor og P3+A2 filter
- Regntøj
- Gummistøvler
- Hjelm
- Handsker

Hovedrengøring

Ved hovedrengøring skal anlægget være stoppet, og der skal anvendes:

- Åndedrætsværn – helmaske med motor og P3+A2 filter
- Regntøj
- Gummistøvler
- Hjelm
- Handsker

Vedligeholdelse

Ved rutinemæssigt vedligehold i produktionsområde, samtidig med at der behandles affald, skal der anvendes:

- Åndedrætsværn – helmaske med motor og P3+A2 filter

Er man i kontakt med affaldet, skal der bruges:

- Støvfafvisende arbejdstøj
- Handsker

Ved rutinemæssigt vedligeholdelsesarbejde på hovedrengjort anlæg er der ingen specielle krav om personlige værnemidler.

Reparation

Ved reparationsarbejde i produktionsområde, samtidig med at der behandles affald, skal der anvendes:

- Åndedrætsværn – helmaske med motor og P3+A2 filter

Er man i kontakt med affaldet, skal der bruges:

- Støvfafvisende arbejdstøj
- Handsker

Ved reparation på hovedrengjort anlæg er der ingen specielle krav om personlige værnemidler.

Uheld

Ved uheld hvor der sker forurening af området, skal der under oprydning bruges:

- Åndedrætsværn – helmaske med motor og P3+A2 filter
- Støvfafvisende arbejdstøj
- Handsker

Stoffer og materialer i produktionen

Biomasse

Biomassen består af organisk materiale opslemmet i vand. Dette udgør ingen risiko under normal drift. Ved spild bør der rengøres vådt for at undgå ophvirvling af tørt støv. Der må ikke bruges højtryksspuling under rengøring.

Ved lagring i tanke går biomassen i anaerob forgæring. Ved tilstedeværelse af sulfatreducerende bakterier dannes svovlbrinte. Svovlbrinte er en meget giftig gasart, der har været årsag til mange dødsfald.

Derfor skal adgang til lukkede tanke med biomasse kun ske med anvendelse af friskluftforsynet åndedrætsværn, brug af sikkerhedslinje og 1 eller 2 vagtmænd.

Adgang til lukkede tanke med biomasse bør ikke ske som en del af rutinearbejdet. Arbejde i tankene bør kun ske efter grundig rengøring og under ventilation.

Proceduren for rutinearbejde under lignende forhold kan ses i kloakbekendtgørelsen.

Rejekt, jern, oversize

Rejektet er tørt restaffald, frasorteret før Dewasteren. Rejektet bør på grund af den organiske del ikke håndteres manuelt. Rengøring skal ske maskinelt eller vådt, men uden brug af højtryksspuling.

Værnemidler

Åndedrætsværn

Åndedrætsværn kan beskytte lunger og luftveje mod støv, aerosoler, dampe, gasser, bakterier og andre mikroorganismer.

Åndedrætsværn må kun anvendes som løsning, når problemet ikke kan løses på anden måde.

Filtrerende åndedrætsværn med batteridrevet motor (turboudstyr)

På grund af arbejdets mobile karakter anbefales en filtrerende maske med batteridrevet motor (turboudstyr), der med let overtryk blæser den filtrerede luft ind i åndedrætszonen og beskytter mod utætheder i filtermaskens tilslutning til ansigtet.

OBS! Filtrerende maske med batteridrevet motor (turboudstyr) kan ikke bruges i lukkede tanke med risiko for iltmangel.

Luftforsynet åndedrætsværn

Det luftforsynede åndedrætsværn beskytter også mod kvælningsfare, fordi der tilføres ren luft. Luften tages enten fra en kompressor eller fra trykflasker. Udstyret kan bruges i små lukkede rum, hvor der er mulighed for fortrængning af ilten og kvælningsfare.

OBS! Ved brug af kompressor til friskluftforsynet åndedrætsværn skal der bruges reservoir-tank for at beskytte ved stop af kompressoren.

Støvfilter

Ved arbejde med affaldsbehandling bør der altid anvendes P3 støvfilter.

Filter mod lugt fra organisk affald

Ved arbejde med organisk affald kan P3 støvfiltret med fordel kombineres med et A-filter, der erfaringsmæssigt opfanger lugten og beskytter mod maveproblemer. Filtret skiftes ved lugtgennembrud.

Entreprenørmaskiner til affaldsbehandling

Bruges entreprenørmaskiner i støvende omgivelser, skal alt arbejdet kunne udføres fra en lukket førerkabine. Kabinen skal være overtryksventileret med et filter, der passer til belastningen. I de fleste tilfælde vil P3 filter være passende. Ved lugtproblemer fra organisk affald vil et kulfilter afhjælpe lugten. Førerkabinen skal rengøres med jævne mellemrum. Der skal være rutinemæssige eftersyn af maskinernes filtre og ventilationssystem.

Arbejdshygiejne ved affaldsbehandling med Dewaster

Sikkerheden ved affaldsbehandlingen afhænger meget af personalets hygiejne i forbindelse med arbejdet og efter arbejde. Dårlig arbejdshygiejne giver spredning af støv, forurening og mikroorganismer fra en arbejdsopgave til en anden, til kolleger og endog den ansattes egen familie. God arbejdshygiejne begrænser spredning af risikofaktorer som støv og mikroorganismer.

Arbejdsstedet skal indrettes, så det er muligt at udføre arbejdet på en forsvarlig måde, uden at udsætte sig selv eller andre for risiko.

- Afgrænsning af forurenede områder
- Sikre og gode adgangsveje til arbejdsstedet
- Sikre arbejdsområder og opholdszoner

I arbejdets udførelse er god arbejdshygiejne:

- Brug af de mindst forurenende arbejdsmetoder
- Indkapsling eller adskillelse af forurenende processer
- Brug af gode personlige værnemidler
- Renholdelse af person og område straks efter forurenende arbejde

Velindrettede velfærdsforanstaltninger indeholder:

- Spise- og pauserum uden forurening fra affald
- Baderum, toilet og omklædning er indrettet, så man kan forlade arbejdspladsen uden forurening.

Ved nyindretning skal nedenstående lovgivning og regler opfyldes.

- AT-meddelelse Nr. 4.04.21 om arbejde på affaldssorterings- og komposteringsanlæg
- At-meddelelse nr. 1.01.3 Vejledning om garderober og omklædningsrum i forbindelse med faste arbejdssteder
- Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning
- At-meddelelse Nr. 1.01.11 Velfærdsforanstaltninger på faste arbejdssteder

Personlig adfærd

For den enkelte medarbejder gælder følgende regler ved kontakt med organisk affald:

- Der må ikke ryges, drikkes eller spises uden for spiserummet
- Man skal vaske hænder før ryge-, drikke- og spisepauser
- Forurenede arbejdstøj må ikke bringes ind i spiserummet
- Ved arbejdstids ophør skal driftspersonalet tage bad

Den enkelte har et stort ansvar for hygiejnen på anlægget. På et velindrettet anlæg er personalets adfærd den afgørende faktor for sygdomsniveauet.

Lovgivning og regler for arbejdsmiljøet

- Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning
- Bekendtgørelse om indretning af tekniske hjælpemidler
- Bekendtgørelse om anvendelse af tekniske hjælpemidler
- Bekendtgørelse om arbejdets udførelse
- Bekendtgørelse om manuel håndtering
- Bekendtgørelse om stoffer og materialer
- Bekendtgørelse om støjgrænser på arbejdspladsen
- Bekendtgørelse om brug af personlige værnemidler
- Bekendtgørelse om projekterendes og rådgiveres pligter m.v. efter lov om arbejdsmiljø
- At-vejledning A.1.4 om rengøring og vedligeholdelse på faste arbejdssteder
- At-vejledning C.0.1 Grænseværdier for stoffer og materialer
- At-meddelelse 1.01.3 Vejledning om garderober og omklædningsrum i forbindelse med faste arbejdssteder
- At-meddelelse 1.01.11 Velfærdsforanstaltninger på faste arbejdssteder
- At-meddelelse 1.01.14 om inventar på faste arbejdssteder
- At-meddelelse 4.00.1 om arbejdspladsvurdering
- At-meddelelse 4.04.21 om arbejde på affaldssorterings- og komposteringsanlæg
- At-meddelelse 4.09.1 om åndedrætsværn
- At-anvisning 4.1.0.1. om manuel håndtering og transport af dagrenovation m.v.
- At-anvisning 2.2.01 om maskiner og maskinanlæg
- At-cirkulæreskrivelse Nr. 3/1995 om almindelige regler for maskiner og EU-direktivet

Forbehandling af usorteret dagrenovation med DEWASTER^â

Retningsgivende forsøg udført hos I/S NOVEREN, Holbæk.

Oktober 2002

Version 1.02

1. Indledning

Alt indsamlet, kildesorteret dagrenovation i I/S Noveren's område, dækkende 9 kommuner i Vestsjællands Amt, er i mere end et år blevet behandlet på en Dewaster[®] installation leveret og drevet af EWOC A/S i samarbejde med NLM Combineering ApS. Siden december 2001 er der dagligt behandlet ca. 15 tons kildesorteret dagrenovation på anlægget.

Anlægget hos Noveren har fungeret som udviklingsplatform for EWOC's bestræbelser på at optimere Dewaster[®] processen samt forbehandling. Dette arbejde har resulteret i at der pr. 14/10 2002 er opstillet et helt nyt Dewaster[®] system med to individuelle enheder og teknologien anses nu for at være så moden at der ikke længere er tale om et forsøgsanlæg.

Forud for installationen af det nye anlæg har miljøstyrelsen, ved Svend Erik Jepsen, besøgt anlægget. Ved dette besøg blev muligheden for at behandle usorteret husholdningsaffald drøftet, og det blev efterfølgende aftalt at NLM Combineering for egen regning iværksatte et kort, retningsgivende forsøg. Denne rapport beskriver resultaterne og de overvejelser forsøget har afstedkommet.

Formålet for forsøget, beskrevet i denne rapport, har været at få en indekation af om der er belæg for at fortsætte undersøgelserne af muligheden for at behandle usorteret husholdningsaffald med Dewaster[®] teknologien. Forsøget har af økonomiske årsager været begrænset til en kvalitativ bedømmelse af systemets egnethed samt analyser for tungmetaller og miljøfremmede stoffer samt fysisk karakterisering af den del af affaldet der ender på landbrugsjord.

Den umiddelbare konklusion er at der er belæg for at fortsætte undersøgelserne, hvis de nødvendige økonomiske midler kan findes. Både de kemiske analyser og den fysiske karakterisering af affaldet viste overraskende positive resultater, ligesom den mekaniske behandling viste at det er muligt at behandle usorteret husholdningsaffald på Dewaster[®] anlægget.

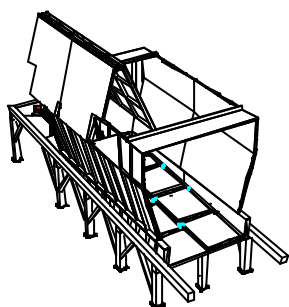
PK Miljøteknik ApS har stået for den praktiske udførelse med prøveudtagning, analyserekvirering, fysisk karakterisering osv. Resultaterne af PK Miljøtekniks undersøgelser er bilagt i rapporten "Sigteforsøg med normal dagrenovation, Oktober 2002".

2. Dewaster[®] processen og anlægsopbygning

Princippet i det til forsøget anvendte Dewaster[®] anlæg bygger på en skånsom grovsortering, hvor en række uønskede komponenter i affaldet fjernes, efterfulgt af en presning i en Dewaster[®] enhed. Gennem anlægget sorteres affaldet i en række fraktioner:

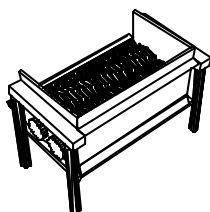
1. Biomasse
–en flydende / pastøs grød indeholdende hovedparten af det biologisk udnyttelige materiale ved behandling i et biogasanlæg.
2. Rejekt
–tør presserest fra Dewaster[®] enheden indeholdende papir, plast, fibre og andre komponenter der ikke er ønsket i biomassen.
3. Jern
–en fraktion indeholdende magnetiske komponenter.
4. Oversize
–hårde genstande som sten, knogler, messing mv.
5. Sigterest
–en stor luftig fraktion hovedsageligt bestående af plast og papir.
6. Store emner
–komponenter som har en dimension som gør at de egentlig ikke burde forefindes i husholdningsaffald, f.eks. møbler, udstødningsrør mv.

Anlægget består af en modtagesilo, poseåbner, sneglesigte, magnetseparator, oversizeseparator (Desizer[®]), samt Dewaster[®].



Modtagesilo

Modtagesiloen er opbygget som helsvejsede stålsilo. Silobunden er helsvejset og monteret med ca. 3° hældning mod poseåbneren. På silobunden er monteret en skubberamme, som doserer affaldet frem til poseåbneren.

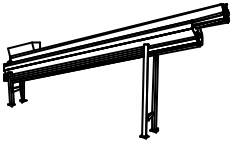


Poseåbner

Poseåbneren er opbygget med to vandret liggende aksler med påmonterede opriverskiver, hver med en diameter på ca. 850 mm med 25 skiver på hver aksel. Akslerne er hydraulisk drevne og roterer under oprivningsprocessen mod hinanden. Et elektrisk/hydraulisk system overvåger akslernes rotation.

Hvis fejlsorterede eller uønskede genstande som fx en stegepande kommer i poseåbneren, sørger et forudindstillet hydraulisk tryk for, at akslerne reverserer.

Poseåbneren åbner plastposer og anden emballage. Plast og emballage rives i meget store stykker, så det senere i processen er nemmere at sortere fra.



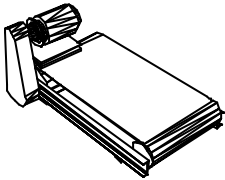
Sneglesigte

Sneglesigten er opbygget som to sammenbyggede centerløse snegle indbygget i u-formede profiler. Profilerne er sammenbyggede, således at den ene profil ligger over den anden.

Bunden i den øverste profil er udført med en udstanset hulplade med en hulstørrelse på 80 x 50 mm, ca. 70% af pladearealet.

Bunden i den underliggende snegl er beklædt med nonfrikplade.

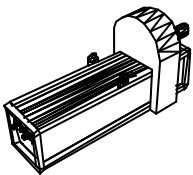
Affaldet tilføres den overliggende snegl og transporteres af sneglen mod topenden. Under denne transport, tømmes de åbnede poser, og det biologiske affald falder igennem hullerne og ned i den underliggende snegl, hvorfra det føres til et opsamlingsbånd.



Magnetseparator

Fra opsamlingsbåndet føres det sigtede affald til en magnetseparator.

Magnetseparatoren er opbygget som en permamagnet placeret under et bånd med afskraber.

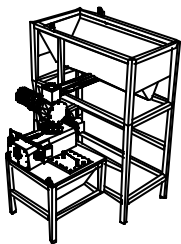


Desizer^â

Desizeren udskiller væsentlige fremmedlegemer (sten, hårde knogler etc.) som vil kunne give stop i Dewasteren. Enheden er opbygget som en dobbeltvalse med fremdriver. Desizeren tillader kun partikler under en vis diameter at passere. Større bløde dele vil i stor udstrækning blive deformeret og passere. Større hårde dele (fremmedlegemer, sten, ben mv.) bliver sorteret fra.

Fra Desizeren føres biomassen ned i en buffertank for biomasse. Buffertanken er en lukket tank som i bunden er forsynet med to vandret liggende snegle med modsat rettede vindinger. Sneglenes udformning sikrer at biomassen holdes i en konstant cirkulerende bevægelse.

Fra buffertanken doseres det organiske affald til Dewasteren.



Dewaster^â

Dewasteren består af en kraftig konisk sneglepresse, hvor det forsorterede affald, under højt tryk presses ud gennem en række langsgående spalter placeret i en cirkel omkring maskinens center. Plast, papir, fibre og andre større emner presses ud for enden af den koniske sneglepresse via et indvendig kegleformet trykhold, monteret i

NLM Combineering

enden af snegleaksen. Den rene biomasse falder ned i en underliggende tank.

Pressehuset består af 38 fikserede, langsgående lameller, som danner 38 spalter af en længde på ca. 40 cm og en brede på 1½ mm.

Ved pressehusets udløbsende, er der monteret en stærkt konisk dyseholder, bestående af 18 korte lameller, som danner 18 spalter. Dysseholderen er monteret på pressehuset med en bolteflange og kan demonteres.

3. Udførelse

Til forsøget blev anvendt usorteret husholdningsaffald fra Roskilde, hvor der ikke er tradition for kildesortering. Affaldet fordeler sig med ca. halvdelen fra etagebyggeri og halvdelen fra blandet tæt-lav og villa område. Det blev visuelt konstateret at affaldet indeholdt aske, men mængden er det ikke muligt at verificere. Aske fra private brændeovne er en af de komponenter det på forhånd var frygtet kunne give forhøjede tungmetalværdier i biomassen.

Inden forsøgets start var anlægget kørt tomt for det kildesorterede affald, som normalt behandles, og alle opsamlingscontainere mv. var tømt og tomvejet. Behandlingsprocessen fulgte i øvrigt procestrinnene som beskrevet i forrige afsnit.

Selv om kildesorteringen i Noverens område ikke er optimal, kunne det ved modtagelsen af det usorterede affald konstateres at dette indeholdt langt mere metal, plast og papir end anlægget normalt opererede med. Dette betød bl.a. at det materiale der nåede frem til Dewaster[®] enheden var tørrere end normalt, hvorfor kapaciteten var nedsat. Ved et længerevarende forsøg med usorteret affald er der flere justeringsmuligheder der kan tages i anvendelse for at opnå normal kapacitet. På normal kildesorteret affald behandler Dewaster[®] enheden ca. 2 tons sorteret affald pr. time. Kapaciteten på det usorterede affald blev ikke klarlagt, da det dels ikke var formålet med undersøgelsen og dels ville kræve en langs større mængde affald.

I den indledende oprivning af affaldet kunne det konstateres at affaldet indeholdt en del materiale, som ikke egner sig til posen under håndvasken. Bl.a. blev der på dette trin sorteret en lydpotte fra affaldet. Den anvendte opriver er ikke monteret med automatisk fjernelse af så store emner, men dette kan monteres som ekstraudstyr.

I sneglesigten var det forventet at der ville forsvinde en del biologisk materiale sammen med det frasorterede papir og plast, men det var overraskende ikke tilfældet. Sigteresten var meget ren og tør og bestod hovedsageligt af plast, pap og papir. Denne fraktion vurderes at have høj brændværdi og være særdeles egnet til langtidsopbevaring i baller, f.eks. til sæsonudligning på forbrændingsanlæggene.

Materialet fra sneglesigten, med hovedparten af de biologiske komponenter havde en sammensætning nogenlunde som den kendes fra det kildesorterede affald, dog var det væsentligt tørrere og havde højere indhold af papir og metal.

Metalfraktionen fra magnetseparatoren var meget større end for det tilsvarende kildesorterede affald og indeholdt noget medrevet biologisk materiale. Der er aldrig optimeret på magnetseparatorens funktion i det eksisterende system.

Fraktionen fra Desizeren[®] var af samme størrelsesorden og sammensætning som det er kendt fra kildesorteret affald, dog var der en del flere plastflasker. Denne

enhed fungerede uproblematisk efter hensigten, men den tilførte mængde var større end ved kildesorteret affald, hvilket må indgå som design parameter hvis der skal foretages yderligere undersøgelser af systemet med usorteret affald.

Visse dele af Dewaster[®] enheden blev ved forsøgets start udskiftet for at imødesee det tørre affald og funktionen var upåklagelig, dog var kapaciteten nedsat. Ca. 21% af det samlede tilførte affald, eller ca. 41% af det affald som blev tilført Dewaster[®] enheden endte som biomasse. De efterfølgende analyser viste et tørstofindhold i biomassen på op til 35% TS – selv efter at der var sat vand til for at gøre biomassen mere pumpbar. En begrænset vandtilsætning til affaldet i fødekassen umiddelbart inden Dewaster[®] enheden vil givet lette afpresningen og både give øget udbytte og højere kapacitet, dette er dog ikke undersøgt i dette forsøg.

4. Væsentlige resultater og diskussion

Udbytte

21% af det samlede usorterede husholdningsaffald endte som biomasse. En skønnet, men ikke verificeret, vurdering af affaldet tyder på at det biologiske indhold har været omkring en fjerdedel af den samlede mængde og det overraskede derfor positivt at opnå så højt et udbytte. Især var der fra starten en forventning om at de store mængder aviser og ugeblade i affaldet ville suge så meget vand at udbyttet ville falde markant. De 21% er korrigeret for den vandtilsætning der var nødvendig for at gøre materialet tilstrækkeligt pumpbart med den installerede pumpe, derimod er der ikke korrigeret for det høje tørstofindhold, som ellers ville vise et endnu bedre resultat. I dette forsøg, og i forbindelse med Dewaster[®] anlægget generelt, regnes papir ikke som en del af det biologiske materiale der ønskes videreført til biogas og landbrugsjord.

Fysisk karakterisering

Den fysiske karakterisering af biomassen viser overraskende bedre resultater end en tilsvarende undersøgelse lavet på kildesorteret affald ca. 7 måneder tidligere. Mængden af plastkomponenter større end 1,5 mm udgør blot en halv promille af biomassen og alufolie under 0,1 promille. Da der ikke tidligere har været problemer med den fysiske anvendelse af biomassen i biogasanlægget i Snerlinge, eller den efterfølgende markanvendelse, vil biomassen fra usorteret affald givet heller ikke skabe problemer.

Prøven til den fysiske karakterisering er udtaget som en række delprøver over hele forsøgets varighed.

Tungmetaller

Der er i alt foretaget tre tungmetal analyser på biomassen. De to analyser er foretaget på prøver udtaget hhv. umiddelbart efter opstart og før afslutning af forsøget. Den tredje analyse er foretaget på en gennemsnitsprøve udtaget løbende over hele forsøgets varighed, antallet af delprøver er ca. 15. Skulle der vise sig behov for yderligere analyser er der gemt et antal delprøver i frosset tilstand.

Af alle tungmetalværdierne er der kun én som overskrider grænseværdien. I prøven udtaget ved forsøgets afslutning er indholdet af kviksølv (Hg) målt til 0,95 mg/kgTS og grænseværdien er 0,8. I prøven udtaget ved forsøgets start er kviksølvværdien blot 0,11 og i gennemsnitsprøven er den så lav som 0,07. Der kan altså være tale om en uheldig punktformig forurening, idet tungmetalværdierne i gennemsnitsprøven, som repræsenterer knapt 500 kg biomasse, rigeligt overholder alle grænseværdier.

Det var umiddelbart en positiv overraskelse at opnå så lave tungmetalværdier i biomassen, idet man må forvente et vist bidrag fra f.eks. aske samt indholdet i støvsugerposer mv., men afsmitningen er tilsyneladende forholdsvis lav.

En mere grundig verificering af tungmetalniveauet vil kræve et længere forsøg med mange analyser og affald indsamlet separat fra forskellige boligtyper, især vurderes det at affald fra villaområder i vinterperioden vil være mere belastet med tungmetaller end gennemsnittet.

Miljøfremmede stoffer

Analyse for miljøfremmede stoffer er foretaget på en gennemsnitsprøve udtaget løbende over hele forsøgets varighed, antallet af delprøver er ca. 15. Nonylphenol, DEHP og LAS overholder alle grænseværdierne, mens PAH overskrider. Indholdet af PAH er målt til 4,7 mg/kgTS mod en grænseværdi på 3. Dette er et overraskende resultat i forhold til tidligere analyser på biomasse fra kildesorteret affald, der har værdier i samme størrelsesorden for nonylphenol, DEHP og LAS, men ligger ca. en faktor 10 lavere for samtlige stoffer i PAH gruppen. Det har ikke været muligt at komme nærmere en forklaring på den forhøjede PAH værdi, men for at give et realistisk billede er det nødvendigt med et længere forsøg med flere analyser.

Analyselaboratoriet har ikke kunnet finde fejl i forbindelse med de foretagne analyser, men der foreligger ved rapportens afslutning ingen endelig afklaring.

Analyseresultater

Alle kemiske analyser er foretaget af Rovesta Miljø A/S, prøvetagning er foretaget af PK Miljøteknik. Gengivelse af analyseskemaer findes bagest i rapporten.

Prøvemærkning:

1A: prøve udtaget ved forsøgets begyndelse.

3A: middelp prøve bestående af 15 enkeltprøver udtaget over hele forsøget.

6A: prøve udtaget ved forsøgets afslutning.

5. Konklusion

Forsøgets formål var at få en indikation af om det er realistisk at gå videre med udviklingen af et anlæg til behandling af usorteret dagrenovation / husholdningsaffald efter Dewaster[®] princippet. Hovedkonklusionen på dette spørgsmål må være "Ja". Der er ifølge forsøgets resultater en overvejende sandsynlighed for at det kan lade sig gøre at opnå en biomasse fra usorteret husholdningsaffald, som er egnet til anvendelse i biogasanlæg med efterfølgende udspreddning på landbrugsjord.

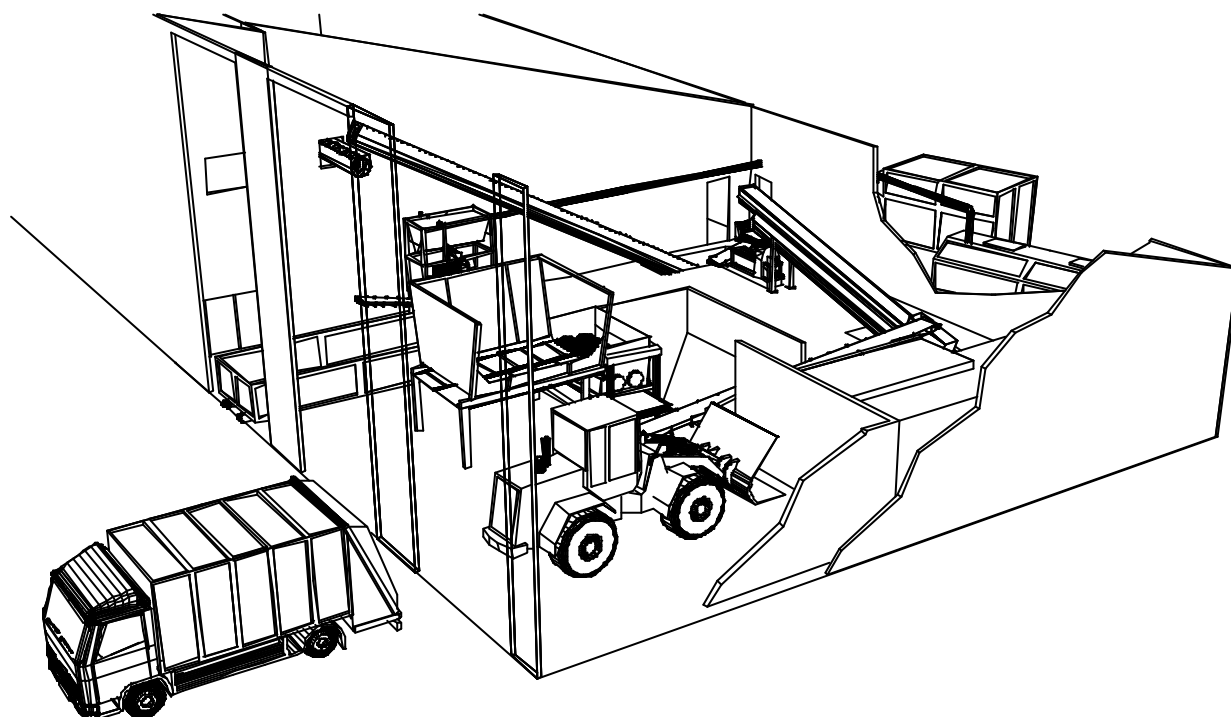
Der er imidlertid også en række punkter som skal afklares inden et sådant anlæg kan være klar til kommerciel drift:

- Den mekaniske udførelse skal dimensioneres til en langt større del af materiale der skal sorteres fra inden Dewaster[®] enheden.
- Dewaster[®] enheden skal indrettes til at behandle affald med en højere rejktandel end ved kildesorteret affald.
- Opriveren skal indrettes til at håndtere store fremmedlegemer.
- Der bør udføres et forsøg over et antal måneder, med løbende prøvetagning og analyse. Forsøget bør omfatte behandling af affald fra specifikke beboelsestyper.
- Hvis et langtidsforsøg viser at der er problemer med overholdelsen af bestemte grænseværdier, bør det vurderes om det kan skyldes bestemte kilder og om disse kan findes og elimineres – f.eks. om det skal forbydes at komme aske i dagrenovationen.
- Ved et langtidsforsøg skal anlæggets slidkomponenter vurderes for evt. forbedringsmuligheder.
- Under antagelse af at det kan lade sig gøre at behandle det usorterede affald, bør der opstilles en økonomisk model, der viser om det er rentabelt at behandle den samlede affaldsmængde frem for at foretage en tostrenget indsamling.
- Andre fordele og ulemper ved et systemskift bør belyses.

Sigteforsøg med normal dagrenovation

Oktober 2002

**Rapporten vedrører forsøgskørsel med normal dagrenovation på NOVERENS
behandlingsanlæg for organisk affald**



PK MILJØTEKNIK

Postadress / Postal address
Lundevej 8 Hove
2765 Smørum
Denmark

Telefon / Telephone
+45 46 76 86 85
Mobil: 45 23 71 91 02

Telefax
+45 46 76 86 83
e-mail
envitec@vip.cybercity.dk

SE. nr. / Registered number
18 04 41 45

Sigteforsøg med normal dagrenovation

Rapporten vedrører forsøgskørsel med normal dagrenovation på NOVERENS behandlingsanlæg for biologisk affald

Formål

Forsøgets primære formål var, at fastslå indholdet af tungmetaller i den færdigbehandlede biomasse ved behandling af "normal" dagrenovation. For yderligere at belyse kvaliteten, blev biomassen endvidere undersøgt for fraktioner større end 1,5 mm.

Det var ligeledes væsentligt, at teste såvel forbehandlingsudstyrets som DEWASTER[®] enhedens egnethed i forbindelse med behandling af denne type affald.

Endelig blev rejektfraktionerne vurderet med henblik på fastlæggelse af del- og totalmængder af rejekt i procesforløbet.

Affald

Der blev onsdag den 25/9 indsamlet ca. 3,8 tons normal dagrenovation af vogn nr. 18, i området Skt. Jørgensbjerg.

Ud af den samlede mængde på 3,8 tons udgjorde ca. 50% indholdet af omkring 10 opsamlingscontainere under affaldsskakter i etagebyggeri.

Den resterende mængde bestod af papirsække indsamlet i et område med villaer og tæt lav bebyggelse.

De to fraktioner blev blandet op under indsamlingen i renovationsvognen og efterfølgende tilført anlægget som en samlet mængde.

Normal dagrenovation



Anlæg

Anlægget er opbygget som et midlertidigt behandlingsanlæg og på en sådan måde, at der løbende kan foretages modifikationer og indbygges og testes procesudstyr. Anlægget har siden 11. december 2001, behandlet ca. 15 tons/dag kildesorteret affald. Den færdige biomasse er blevet tilført Snertinge Biogasanlæg.

Anlægsbeskrivelse

Anlægget er opbygget med en modtagesilo som fyldes med en gummiged. Fra modtagesiloen føres affaldet ind i en specielt designet kombineret poseoprøver og oversizeseparator. Herfra føres affaldet videre via transportbånd til en ligeledes specielt designet sneglesigte. Affaldet der falder igennem sigten viderebehandles over en magnetseparator. Herfra føres affaldet over en nyudviklet DESIZER[®] frem til DEWASTER[®] systemet.

Rejektet fra sneglesigten føres over et transportbånd til en pressecontainer.

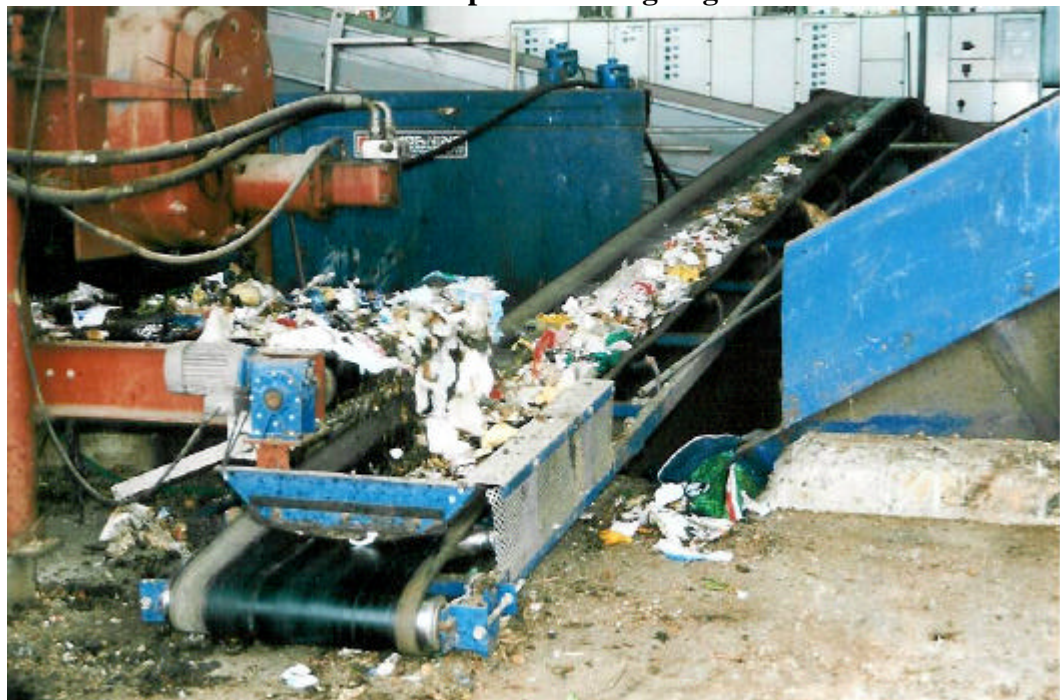
Dagrenovation på vej ind i oversizeseparator og poseoprøver



**Lydpotte med mere
fanget i oversizeseparator**



Flow fra opriver til sneglesigte



Rejekt fra sneglesigte
Ca. 40% papir, ca. 60% plast



Rejekt fra magnetseparator
Magnetisk materiale blandet med biologisk- og organisk affald



Rejekt fra DESIZER[®]
Plastflasker, dåser, metaller m.m.



Affald i blandekar før DEWASTER[®]



**Rejekt fra DEWASTER[®]
Plast og andre rest komponenter**



Biomasse

Prøveudtagning.

Der blev i henholdsvis starten og slutningen af driftsperioden udtaget prøver til bestemmelse af tungmetallindholdet i biomassen.

Herudover blev der, med 15 minutters interval i hele drifttiden udtaget prøver. I alt ca. 22,5 kg.

De 22,5 kg. blev nøje sammenblandet, hvorefter der blev udtaget en delmængde med henblik på analyse for tungmetaller og miljøfremmede stoffer.

Undersøgelse af biomasse for plast og andre partikler over 1,5 mm

Metode.

En delmængde af de 22,5 kg. blev udskilt med henblik på fastsættelse af TS-indhold, hvilket blev målt til ca. 28% TS.

En yderlig delmængde på 5890 g. biomasse blev omrørt og fortyndet med 50 l vand med en temperatur på 60 grader.

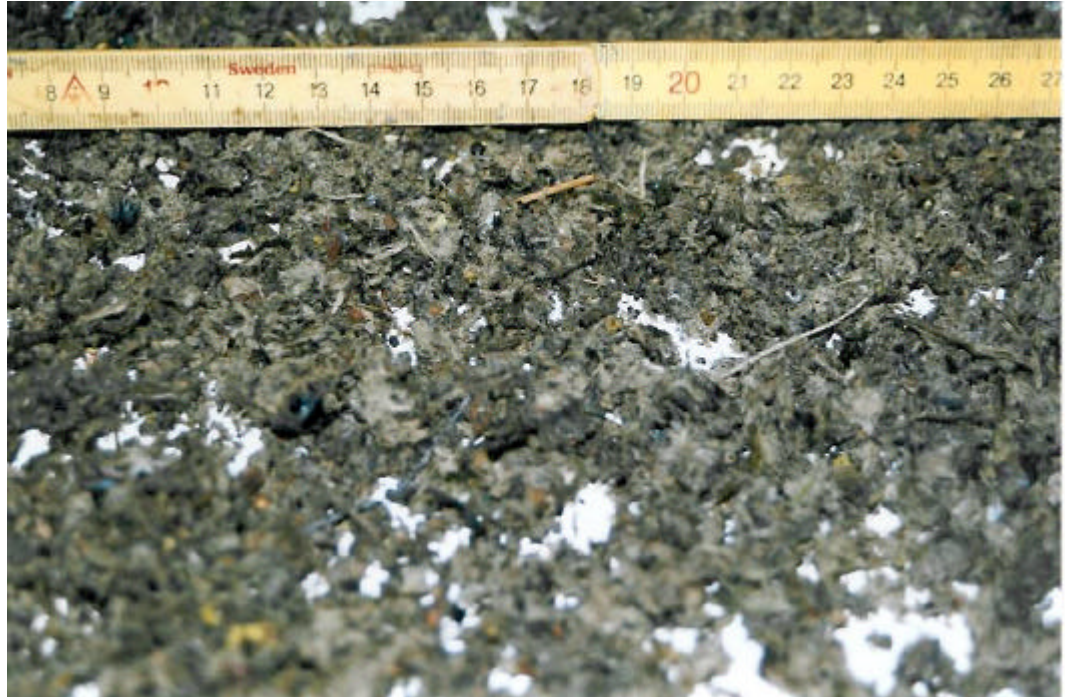
Væsken blev herefter hældt gennem en sigte med 1,5 mm huller og spalter. Efter første sigtning og tømning af sigte, blev den fortyndede biomasse igen sigtet.

De frasigtede partikler blev langsomt tørret op til et TS-indhold på ca. 28%, med en vægt på 283 g

Biomasse før sigtning**Partikler i biomasse efter sigtning og tørring, men før sortering**

Herefter blev partiklerne spredt ud på et sorteringsbord, hvor alle fibre, plaststykker og sølvpapir blev adskilt.

Partikler efter sortering, vægt 279 g.



Plastfraktement 3,5 g.



Sølvpapir 0,5 g.

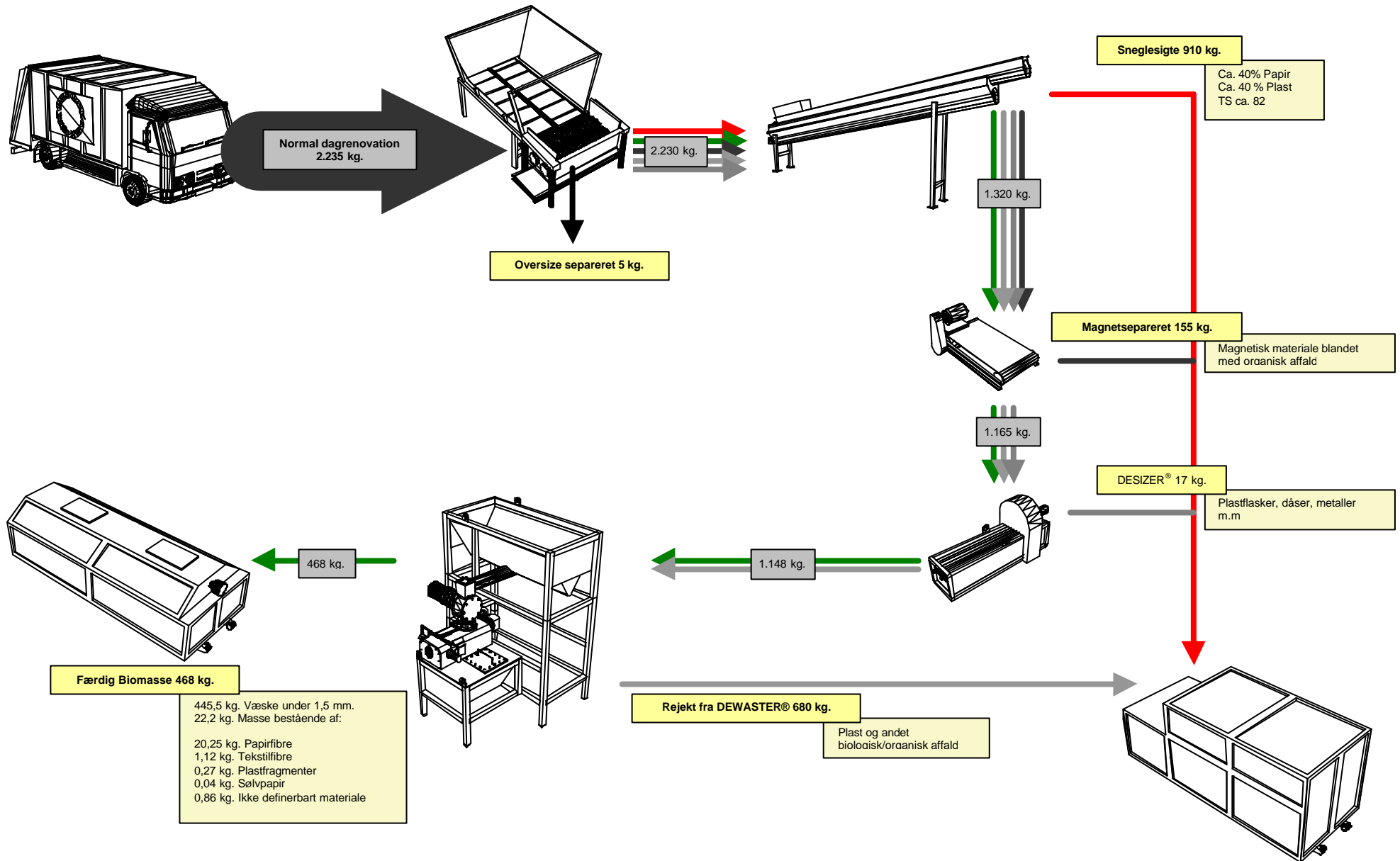


Måleresultater – massebalance

	% af tilført affald	%TS
Dagrenovation tilført anlæg		2235,0 kg
Frasepareret i oversizeseparator <i>Udstødningsrør og blandingsbatteri</i>	0,22 %	5,0 kg
Rejekt efter sneglesigte <i>Ca. 40% papir, ca.60% plast</i> <i>Nogle stykker alufolie</i> <i>Stort set intet organisk materiale</i>	40,7% ca.82	910,0 kg
Rejekt, magnetseparator	6,9%	155,0 kg
Rejekt, DESIZER [®]	0,76%	17,0 kg
Biomasse	20,9% ca. 28	468,0 kg
Rejekt fra DEWASTER [®]	30,4% ca. 55	680,0 kg

Måleresultater - biomasse

	% af biomasse	
Partikler i biomasse <i>Papirfibre, plastfraktioner</i> <i>Sølvpapir og andet</i>	4,8%	48 g/kg TS
Partiklerne består af:		
Papirfibre	4,3%	43 g/kg TS
Tekstilfibre	0,24%	2,4 g/kg TS
Plastfragmenter	0,05%	500 mg/kg TS
Sølvpapir	0,008%	80 mg/kg TS
Ikke definerbar masse	0,18%	1,8 g/kg TS



***** ANALYSERAPPORT - AKKREDITERET PRØVNING *****
Spildevandsslam

PK Miljøteknik
 Att.: Per Kierulff
 Lundevej 8
 2765 Smørum

UDTAGN.TIDSPUNKT: 25/09/2002 kl. 9.55
 MODTAGET PÅ LAB.: 25/09/2002 kl.16.00

UDTAGET AF : Rekvirent
 ÅRSAG : REKVIRERET
 KOMMUNE : Ikke oplyst

RAPPORT TIL
 PK Miljøteknik
 REKVIRENT: PK Miljøteknik

PRØVESTED: PK Miljøteknik,
 (500063) Lundevej 8, 2765 Smørum
 Biomasse: Forsøg med usorteret affald - Opsamlingsprøve

KOPI

PRØVE NR.:	25127/02	GRÆNSEVÆRDIER	ENHED	ANALYSEMETODE	AKK.NR
	Slamkontrol				
	Husholdnings				
	Affald	HØJST			
Analyse påbegyndt d.	27/09/2002				
Registrering/rapportering	+				324
Prøven mærket	# 3A				324
Tørstof	33.5		%	DS 204	365
Prøveoplukning til metal	+			DS 259	365
Bly	12	120	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Cadmium	0.18	0.8	mg/kg TS	DS 2211	365
Chrom, total	21	100	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Kobber	35	1000	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Kviksølv	0.07	0.8	mg/kg TS	DS 259 + DS/EN 1483	365
Nikkel	21	30	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Zink	190	4000	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365

TEGNFORKLARING: < Mindre end; > Større end; i.m. Ikke målelig; i.p. Ikke påvist; i.s Ingen særlige; - Ikke udført
 AKK.NR. Analyserende laboratoriums reg.nr. hos DANAK; # Ikke-akkrediteret analyse

BEMÆRKNINGER:

Analyser under AKK. nr. 365 er udført af Miljølaboratoriet
 Storkøbenhavn I/S som rap.nr. 16372/02.



Karina Folmer (kemiker)

Analyserapport nr.: 25127/2
 Udskrivningsdato : 08/10/2002

Side 1 af 1

***** ANALYSERAPPORT - AKKREDITERET PRØVNING *****
Spildevandsslam

PK Miljøteknik
 Att.: Per Kierulff
 Lundevej 8
 2765 Smørum

UDTAGN.TIDSPUNKT: 25/09/2002 kl. 9.55
 MODTAGET PÅ LAB.: 25/09/2002 kl.16.00

UDTAGET AF : Rekvirent
 ÅRSAG : REKVIRERET
 KOMMUNE : Ikke oplyst

RAPPORT TIL
 PK Miljøteknik
 REKVIRENT: PK Miljøteknik

PRØVESTED: PK Miljøteknik,
 (500063) Lundevej 8, 2765 Smørum
 Biomasse: Forsøg med usorteret affald - Noveren

KOPI

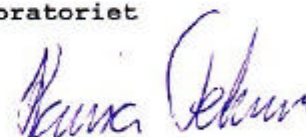
PRØVE NR.:	25125/02	GRÆNSEVÆRDIER	ENHED	ANALYSEMETODE	AKK.NR
	Slamkontrol				
	Husholdnings				
	Affald	HØJST			

Analyse påbegyndt d.	27/09/2002				
Registrering/rapportering	+				324
Prøven mærket	# 1A				324
Tørstof	35.0		%	DS 204	365
Prøveoplukning til metal	+			DS 259	365
Bly	17	120	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Cadmium	0.12	0.8	mg/kg TS	DS 2211	365
Chrom, total	25	100	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Kobber	47	1000	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Kviksølv	0.11	0.8	mg/kg TS	DS 259 + DS/EN 1483	365
Nikkel	8.6	30	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Zink	560	4000	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365

TEGNFORKLARING: < Mindre end; > Større end; i.m. Ikke målelig; i.p. Ikke påvist; i.s Ingen særlige; - Ikke udført
 AKK.NR. Analyserende laboratoriums reg.nr. hos DANAK; # Ikke-akkrediteret analyse

BEMERKNINGER:

Analyser under AKK. nr. 365 er udført af Miljølaboratoriet
 Storkøbenhavn I/S som rap.nr. 16370/02.



Karina Folmer (kemiker)

Analyserapport nr.: 25125/2
 Udskrivningsdato : 08/10/2002

Side 1 af 1

***** ANALYSERAPPORT - AKKREDITERET PRØVNING *****
Spildevandsslam

PK Miljøteknik
 Att.: Per Kierulff
 Lundevej 8
 2765 Smørum

UDTAGN.TIDSPUNKT: 25/09/2002 kl. 9.55
 MODTAGET PÅ LAB.: 25/09/2002 kl.16.00

UDTAGET AF : Rekvirent
 ÅRSAG : REKVIRERET
 KOMMUNE : Ikke oplyst

RAPPORT TIL
 PK Miljøteknik
 REKVIRENT: PK Miljøteknik

PRØVESTED: PK Miljøteknik,
 (500063) Lundevej 8, 2765 Smørum
 Biomasse: Forsøg med usorteret affald

KOPI

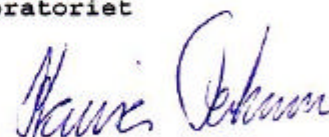
PRØVE NR.:	25126/02	GRÆNSEVÆRDIER	ENHED	ANALYSEMETODE	AKK.NR
	Slamkontrol				
	Husholdnings				
	Affald	HØJST			

Analyse påbegyndt d.	27/09/2002				
Registrering/rapportering	+				324
Prøven mærket	# 6A				324
Tørstof	27.5		%	DS 204	365
Prøveoplukning til metal	+			DS 259	365
Bly	17	120	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Cadmium	0.19	0.8	mg/kg TS	DS 2211	365
Chrom, total	24	100	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Kobber	32	1000	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Kviksølv	0.95	0.8	mg/kg TS	DS 259 + DS/EN 1483	365
Nikkel	14	30	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365
Zink	160	4000	mg/kg TS	DS 259 + SM 3120/92	365

TEGNFORKLARING: < Mindre end; > Større end; i.m. Ikke målelig; i.p. Ikke påvist; i.s Ingen særlige; - Ikke udført
 AKK.NR. Analyserende laboratoriums reg.nr. hos DANAK; # Ikke-akkrediteret analyse

BEMÆRKNINGER:

Analyser under AKK. nr. 365 er udført af Miljølaboratoriet
 Storkøbenhavn I/S som rap.nr. 16371/02.



Karina Folmer (kemiker)


 *** ANALYSERAPPORT - AKKREDITERET PRØVNING ***
 Spildevandsslam

 PK Miljøteknik
 Att.: Per Kierulff
 Lundevej 8
 2765 Smørum

 UDTAGN.TIDSPUNKT: 25/09/2002
 MODTAGET PÅ LAB.: 25/09/2002 kl.16.00

 UDTAGET AF : Rekvirent
 ÅRSAG : REKVIRERET
 KOMMUNE : Ikke oplyst

 RAPPORT TIL
 PK Miljøteknik
 REKVIRENT: PK Miljøteknik

 PRØVESTED: PK Miljøteknik,
 (500063) Lundevej 8, 2765 Smørum

Biomasse: Forsøg med usorteret affald - Opsamlingsprøve

KOPI

PRØVE NR.:	25128/02	GRÆNSEVÆRDIER	ENHED	ANALYSEMETODE	AKK.NR
	Miljøfremmede stoffer				
	Husholdning.	HØJST			
Prøven mærket	# 3A				324
MILJØFREMMED E STOFFER:	+				
Tørstof	27.7		%	DS 204	344
PAH:	+				
Acenaphthen	0.06		mg/kg ts	GC/MS	344
Fluoren	0.21		mg/kg ts	GC/MS	344
Phenanthren	1.1		mg/kg ts	GC/MS	344
Fluoranthren	1.0		mg/kg ts	GC/MS	344
Pyren	1.0		mg/kg ts	GC/MS	344
Benz(b+j+k)fluoranthener	0.64		mg/kg ts	GC/MS	344
Benz(a)pyren	0.32		mg/kg ts	GC/MS	344
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.16		mg/kg ts	GC/MS	344
Benz(ghi)perylene	0.19		mg/kg ts	GC/MS	344
Sum af PAH	4.7	3	mg/kg ts	Beregning	
NONYLPHENOLER:	+				
Nonylphenol	3.4		mg/kg ts	GC/MS	344
Nonylphenol-monoethoxylat	<0.2		mg/kg ts	GC/MS	344
Nonylphenol-diethoxylat	<0.2		mg/kg ts	GC/MS	344
Sum af nonylphenoler	3.4	10	mg/kg ts	Beregning	344
DEHP	47	50	mg/kg ts	GC/MS	344
LAS	<50	1300	mg/kg ts	HPLC	344

 TEGNFORKLARING: < Mindre end; > Større end; i.m. Ikke målelig; i.p. Ikke påvist; i.s. Ingen særlige; - Ikke udført
 AKK.NR. Analyserende laboratoriums reg.nr. hos DANAK; # Ikke-akkrediteret analyse

 Analyserapport nr.: 25128/2
 Udskrivningsdato : 09/10/2002

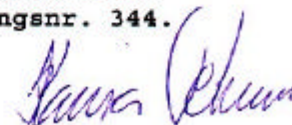
Side 1 af 2

 Analyserapporten må kun gengives i sin helhed. Anden gengivelse kræver skriftlig tilladelse fra ROVESTA Miljø I/S.
 Resultaterne gælder kun for denne prøve. Oplysninger om detektionsgrænser og usikkerheder kan rekvireres fra ROVESTA Miljø I/S.

PRØVE NR.:	25128/02	GRÆNSEVÆRDIER	ENHED	ANALYSEMETODE	AKK.NR
	Miljøfremmede stoffer				
	Husholdning.	HØJST			

BEMÆRKNINGER:

Analysen af miljøfremmede stoffer blev udført af Miljøcenter
Vestjylland I/S, Holstebro, under DANAK registreringsnr. 344.



Karina Folmer (kemiker)

KOPI