

Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 4 2003

Statusredegørelse om organisk dagrenovation

Indhold

1	RESUMÉARTIKEL	5
1.1	BAGGRUND OG FORMÅL	5
1.2	UNDERSØGELSEN	5
1.3	HOVEDKONKLUSIONER	6
1.4	PROJEKTRESULTATER	7
2	INDLEDNING	11
2.1	BAGGRUND FOR REDEGØRELSEN	11
3	STATUS FOR AFFALDSMÆNGDER OG AFFALDSBEHANDLING	13
3.1	AFFALDSMÆNGDER	13
3.2	BEHANDLING AF ORGANISK DAGRENOVATION	15
4	TEKNISKE UNDERSØGELSER VEDRØRENDE BIOFORGASNING AF ORGANISK DAGRENOVATION	17
4.1	INDSAMLINGSMÆNGDER OG KVALITET	18
4.2	FORBEHANDLING	21
4.3	KARAKTERISERING	22
4.4	BRÆNDVÆRDI OG ENERGIBALANCE	25
5	SCENARIER FOR HÅNDTERING AF ORGANISK DAGRENOVATION	27
5.1	DTU-BIOGASMODELLEN	27
5.2	ORWARE-METODEN	28
6	SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE	35
6.1	INDSAMLING AF ORGANISK DAGRENOVATION	35
6.2	BUDGETØKONOMISK ANALYSE	36
6.3	VELFÆRDSØKONOMI FOR BEHANDLINGSSALTERNATIVERNE	39
6.4	FØLSOMHEDSANALYSER	45
7	GENANVENDELSE AF ORGANISK DAGRENOVATION	51
8	KONKLUSION	53
8.1	DAGRENOVATION OG MÆNGDER	53
8.2	ENERGIBALANCER OG MILJØEFFEKTER	54
8.3	SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE	55
9	REFERENCER	57

1 Resuméartikel

Status over fordele og ulemper ved genanvendelse af organisk dagrenovation

En ny statusredegørelse fra Miljøstyrelsen om organisk dagrenovation viser, at bioforgasning er teknisk muligt, og at tendensen er, at der er en mindre energimæssig fordel ved det i forhold til forbrænding. Men det vil indebære en samfundsøkonomisk omkostning i størrelsesordenen 250 mill. kr. pr. år at indføre genanvendelse af organisk dagrenovation på landsplan. Forudsætningen er, at omkring halvdelen af det organiske affald fra husstandene genanvendes, dvs. 330.000 tons pr. år. Imidlertid har lokale forhold stor betydning for de opstillede forudsætninger for beregningerne, og såvel bioforgasning som kompostering kan derfor være attraktive løsninger lokalt både miljømæssigt som økonomisk.

1.1 Baggrund og formål

Kan bioforgasning og kompostering betale sig miljømæssigt og økonomisk?

Organisk dagrenovation er organisk affald fra husholdninger, som havner i skraldespanden, dvs. madaffald, haveaffald (der placeres i dagrenovationen), aftøringspapir og andet snavset papir. Mængden af organisk dagrenovation i Danmark er stabil. Den seneste affaldsanalyse af husholdningernes skraldeposer viser, at der på landsplan indsamles ca. 640.000 tons pr. år. Denne mængde svarer til de hidtidige antagelser om, at danskerne smider ca. 700.000 tons organisk affald ud om året.

Der er de seneste år gennemført en lang række detaljerede forsøg og undersøgelser, der belyser de tekniske, organisatoriske, miljømæssige og økonomiske aspekter af at genanvende den organiske dagrenovation, primært gennem bioforgasning. Miljøstyrelsens statusredegørelse om genanvendelse af organisk dagrenovation er udarbejdet i forlængelse af den tidligere regerings affaldsplan Affald 21 samt Statusredegørelsen om genanvendelse af organisk dagrenovation og slam fra år 2000. Formålet med statusredegørelsen er at få et overblik over organisk dagrenovation mht. de tekniske behandlingsmuligheder samt økonomi, energi og miljømæssige aspekter, så der kan udstikkes retningslinier for den fremtidige håndtering af dagrenovation i Danmark i den kommende affaldsplan 2005-2008.

1.2 Undersøgelsen

Analyse af teknik, økonomi, energi og miljøeffekter

Analysen har set på de tekniske, økonomiske og miljømæssige sider ved organisk dagrenovation. Mht. indsamling, forbehandling og sammensætning af kildesorteret organisk dagrenovation har man kørt fuld-/storskalaforsøg i seks områder (Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg, samt Aarhus). Der er indsamlet affald fra husstande med et bredt spektrum af ind-

samlingsystemer, der har haft relativt ensartede sorteringsvejledninger, men informationsindsatsen har været forskellig.

Der er også lavet en spørgeskemaundersøgelse til de fleste af de kommuner og affaldsselskaber, der indsamlede kildesorteret organisk dagrenovation til bioforgasning og kompostering i år 2000.

Endelig er potentialet for de indsamlede mængder og sammensætningen heraf blevet undersøgt ved at sortere affaldet fra et stort antal husstande fordelt over hele landet.

Hensigten med forsøgene har bl.a. været at bedømme, hvor meget energi der kan produceres ved biogasning, og om det afhænger af indsamlingssystem, kildesortering og forbehandling. Det er også dokumenteret, hvor meget næringsstof der potentielt kan genindvindes ved at anvende det afgassede produkt i jordbruget. Biogaspotentialet er vurderet ud fra tre metoder nemlig 1) en teoretisk beregning ud fra den kemiske sammensætning af affaldet man har dokumenteret, 2) målinger i laboratoriet samt 3) bestemmelse ved bioforgasning i pilot-biogasanlæg

Miljøeffekterne ved en række forskellige scenarier for behandling af affaldet er undersøgt ved to forskellige modelberegninger. Danmarks Tekniske Universitet (DTU) har i deres modelberegning som udgangspunkt et tons kildesorteret organisk dagrenovation, som er forbehandlet på forskellig måde samt et scenarie, hvor det hele brændes. DTU har fokuseret på massestrømme, besparelser i energi, emission af drivhusgasser og næringsstofudbytte.

Den anden model kaldes ORWARE-metoden og er en livscyklus baseret systemanalyse, der ved hjælp af en computer-baseret model vurderer miljøkonsekvenser for et "materiale flow", som her er et affaldsbehandlingssystem. Der er opstillet fem scenarier for den fremtidige håndtering af de 700.000 tons organisk dagrenovation, der findes i Danmark. Behandlingsmetoderne forbrænding, bioforgasning og kompostering kombineres i modellen med baggrund i Affald 21's mål. Miljøkonsekvenserne udtrykkes som udledningen til luft, vand og jord samt energibalance.

Endelig har Miljøstyrelsen udarbejdet en samfundsøkonomisk analyse, som både omfatter en budgetøkonomisk og en velfærdsøkonomisk analyse. Den velfærdsøkonomiske analyse fokuserer på konsekvenserne for hele samfundet. Der er regnet dels på de tre behandlingsalternativer – forbrænding, bioforgasning og kompostering og dels på de samme fem scenarier, som indgår i miljøvurderingen. I analysen indgår de miljøeffekter, der kan prissættes, samt de supplerende mængder energi og næringsstoffer der skal til for, at samfundet får den samme produktion i de opstillede scenarier som i referencescenariet, der afspejler situationen i dag.

1.3 Hovedkonklusioner

Billigst med forbrænding, men effekt afhænger af lokale forhold

Forbrænding er den samfundsøkonomisk billigste løsning, men lokale forhold kan være afgørende både for økonomien og miljøet. Statusredegørelsen viser, at det vil koste samfundet ca. 250 mill. kr. pr. år at genanvende organisk dagrenovation i hele landet. Generelt kan man ikke pege

på, at bioforgasning er bedre end forbrænding energi- og miljømæssigt, men der er en svag tendens til, at bioforgasning giver et større energiudbytte end forbrænding.

Imidlertid kan lokale forhold influere kraftigt på de opstillede forudsætninger for beregningerne. Såvel bioforgasning som kompostering kan derfor være attraktive løsninger lokalt såvel miljømæssigt som økonomisk. Det forudsætter dog, at den organiske del af affaldet kan indsamles væsentlig billigere end antaget i analysen. Samfundsøkonomisk er der ikke forskel på at kompostere og bioforgasse organisk affald, men kompostering giver ikke et energiudbytte, hvilket vejer tungt i negativ retning i miljøvurderingen.

Redegørelsen viser også, at det er relativt omkostningskrævende at etablere et todelt indsamlingssystem, dvs. et system, hvor organisk affald og restaffaldet indsamles hver for sig. I den samfundsøkonomiske analyse er det væsentligt billigere at indsamle organisk dagrenovation sammen med restaffaldet til forbrænding i et traditionelt system.

De gennemførte fuldskalaforsøg i Aalborg og Hovedstadsområdet samt erfaringerne fra Århus med et todelt system har dokumenteret, at de forskellige indsamlingsmetoder og forbehandlingsmetoder kan implementeres rent praktisk, og at disse kan fungere tilfredsstillende. De gennemførte undersøgelser viser at den billigste løsning er samlet indsamling i henholdsvis grønne og sorte poster, og efterfølgende sortering i et automatisk (optisk) sorteringsanlæg. Det forudsætter dog at der indgår et større antal husstande, for at et optisk sorteringsanlæg er rentabelt.

Den samfundsøkonomiske analyse viser, at det for enfamilieboliger er ca. 600-700 kr. dyrere pr. tons organisk dagrenovation at bioforgasse eller kompostere i forhold til forbrænding. Ser man på etageboliger, er forskellen 1200-1300 kr. pr. tons organisk dagrenovation.

1.4 Projektresultater

Muligt at indsamle 60-90 kg kildesorteret organisk dagrenovation pr. person om året

Sammensætningen af det organiske affald, der frasorteres i køkkenet, afviger ikke mellem forskellige geografiske områder, boligtype eller indsamlingsordning, viser redegørelsen, men variationerne i samme område fra prøvetagning til prøvetagning er stor. Selve indsamlingssystemet – papirposer eller plastposer – og sorteringskriterierne påvirker indholdet af plast og indholdet af uorganisk stof i det indsamlede affald. Sammensætningen af biomassen efter forbehandling varierer desuden afhængig af forbehandlingsmetoden specielt på tørstofindholdet.

Man forventer, at det er muligt at indsamle mellem 60 og 90 kg kildesorteret organisk dagrenovation per person om året i gennemsnit. Mest i mindre kommuner, hvor der gøres en stor indsats for information og opfølgning. Lokalt kan mængderne variere med op til en faktor 2 uden, at det kan forklares ved forskelle i boligtype eller indsamlingsordning. Det er heller ikke muligt at relatere de indsamlede mængder til sorteringsvejledning eller informationsindsatsen. Erfaringer fra Aalborg tyder dog på, at der hvor folk deltager frivilligt i indsamlingen, øges mængderne per husstand. Data for de gennemsnitligt ind-

samlede mængder i større områder tyder på, at der kan indsamles op mod 80 % af det potentiale, der er fundet i undersøgelserne.

Forbehandlingsteknologien skal fortsat udvikles

Ved behandling af organisk dagrenovation i biogasanlæg kræves en meget ren biomasse. Det kan opnås ved at indsamle affaldet i papirposer, som kan indgå som en del af biomassen i modsætning til plastposer eller ved at etablere et forbehandlingsanlæg. Det kan dog være svært at opnå tilstrækkelig høj kvalitet ved alene at indsamle i papirposer og ikke forbehandle, viser undersøgelsen - det forudsætter en løbende informationsindsats overfor borgerne, så fejlsorteringen minimeres.

Ser man på biogasanlæggene, er vurderingen, at de udviklede forbehandlingsteknologier kan leve op til kravet om en ren biomasse. Men forbehandlingen er dyr, og der frasorteres en meget stor andel af affaldet på forbehandlingsanlæggene (typisk omkring 35 procent). En stor del af det frasorterede affald er organisk affald, hvilket reducerer den mængde organisk affald der reelt genanvendes. Der er derfor behov for en fortsat udvikling på området.

De nye undersøgelser har vist, at biogaspotentialet af den indsamlede organiske dagrenovation er lavere, end hvad tidligere undersøgelser har indikeret. Det skyldes dels, at mængden er lavere, da der frasorteres ca. 35 procent i forbehandlingsanlæggene (rejekt), dels at biogaspotentialet beregnet på basis af indholdet af organisk stof er mindre end tidligere rapporterede resultater. Per tons forbehandlet organisk dagrenovation fås mellem 100 og 150 Nm³ (normalkubikmeter) biogas. Det svarer til omkring 70-100 Nm³ per tons indsamlet organisk dagrenovation.

Forskel på energieffekt

I den samlede energibalance for organisk dagrenovation bidrager forbrænding af rejektet dog med en væsentlig positiv brændværdi, da tørstofindholdet i rejektet er højere end i det indsamlede organiske dagrenovation. Der er også gennemført en analyse af brændværdien af organisk dagrenovation, som viser en stabil brændværdi på ca. 4,0 MJ/kg. Det er større end de hidtidige analyser, der har antaget, at den var på 3,5-3,7 MJ/kg. Der er ikke forskel i brændværdien af organisk dagrenovation fra forskellige geografiske områder eller boligtyper.

De opstillede energibalancer for forskellig håndtering af organisk dagrenovation viser, at der ikke er stor forskel på det samlede energiudbytte mellem bioforgasning og forbrænding - med en svag tendens til, at bioforgasning giver et større energiudbytte end forbrænding.

I opstillingen af energibalancer for forskellig håndtering af organisk dagrenovation er de reviderede værdier for biogaspotentialet og brændværdien af afgørende betydning i forhold til tidligere opstillede energibalancer. Særligt ændringen af brændværdien af den organiske dagrenovation har betydning. De opstillede energibalancer forudsætter, at såvel el som varme kan udnyttes fuldt ud, hvilket specielt for varme kan være svært.

Energiudnyttelse på nye anlæg er steget

En anden væsentlig faktor for de ændrede energimæssige resultater i forhold til tidligere beregninger er de forbedringer i energiudnyttelsen, der er sket på forbrændingsanlæggene i de seneste 3-5 år. Affaldsforbrændingsanlæggene er dels i stor udstrækning ændret til at være såvel el- som varmeproducerende, og dels er elvirkningsgraden på nye forbrændingsanlæg steget væsentligt.

Energimæssigt kan der således ikke generelt peges på, at bioforgasning er bedre end forbrænding eller omvendt. Lokale forhold som indsamlingssystem, indsamlede mængder, forbehandling m.m. vil have den afgørende indflydelse på, om det miljømæssigt er en god ide at indføre separat indsamling af organisk dagrenovation. Dog viser undersøgelserne ofte en svagt bedre energiudnyttelse ved bioforgasning.

I analysen er der ikke inddraget de positive miljøeffekter som f.eks. renere røggas på forbrændingsanlæggene som følge af en højere brændværdi ved forbrænding af rest affaldet, når der indføres kildesortering af organisk dagrenovation. Desuden vil fokus på nødvendigheden af udsortering af organisk affald medføre, at også problematiske fraktioner som elektronikskrot og batterier fjernes fra dagrenovationen, hvilket kan føre til forbedret kvalitet af slaggen, renere forbrænding m.m. Det har dog ikke været muligt at indsamle data, der kan dokumente størrelsen af disse effekter.

Særligt tre faktorer er væsentlige for de opstillede konklusioner om miljøeffekter, og hvad der miljø og energimæssigt er mest fordelagtigt. For det første mængden af organisk affald, der kan indsamles pr. husstand pr. uge. For så vidt angår mængden, der kan indsamles pr. husstand, er der store variationer mellem forskellige indsamlingsordninger, uden at det har været muligt at identificere grunden til disse forskelle. For det andet en ændring af biogasudbyttet pr. tons forbehandlet organisk dagrenovation gennem procesomlægninger eller teknologiforbedringer. For det tredje at forbrændingsanlæggene faktisk kan afsætte den producerede varme og ikke er nødsaget til at bortkøle den producerede energi.

På grund af den højere elvirkningsgrad på biogasanlæggene udgør varmedelen en mindre andel af den producerede varme- og el-energi end i forbrændingsanlæggene. Afsætningsproblemer med varmedelen kan derfor forrykke den samfundsøkonomiske effekt til fordel for biogasanlæg

Ikke alle miljøeffekter kan opgøres og prissættes

I opgørelsen af miljøeffekterne for de forskellige håndteringsscenerier suppleres der i alle scenarierne op, så man opnår samme udbytte af el og varme samt næringsstofferne N, P og K. For næringsstofferne er der suppleret med N, P og K fra handelsgødning og for energiudbyttet suppleres med varme og el produceret på kul.

Miljøeffekterne opgøres som emissioner til luft, jord og vand af f.eks. CO₂, NO_x og dioxin. I komposteringscenariet er værdien af emissionerne til det omgivende miljø mindst. Værdien af de samlede miljøkonsekvenser udgør maksimalt mellem 5 og 10 procent af de velfærdsøkonomiske nettoomkost-

ninger på trods af , at stort set alle kvantificerede miljøeffekter er værdisat. Den altafgørende omkostning i den velfærdsøkonomiske analyse er indsamlingsomkostningerne, der udgør omkring 75% af de samlede velfærdsøkonomiske omkostninger. Merudgiften som følge af særskilt indsamling af den organiske dagrenovation overstiger langt den billigere behandling i biogas- og komposteringsanlæg.

I vurderingen af de forskellige håndteringsscenariers miljøeffekter, er der en række positive effekter knyttet til at anvende kompost/bioforgasset affald, der ikke er taget højde for. Enten fordi det er vanskeligt at opgøre effekten i mængder, eller fordi den ikke umiddelbart kan prissættes.

Det drejer sig bl.a. om forbedring af jordstrukturen, øget kapacitet til at tilbageholde vandet i jorden samt en formodning om, at specielt brug af kompost kan reducere behovet for anvendelse af pesticider.

Dertil kommer en række sideeffekter, som det ikke har været muligt at inddrage. Det er bedre forbrænding af restaffaldet og en bedre slagge kvalitet, som kan bidrage til at slagge fortsat kan genanvendes frem for at deponeres. Bioforgasning kan være med til at sikre at gyllen bioforgasses med større kvælstofudnyttelse til følge og forbedring af den generelle kildesortering.

Følsomhedsanalyser viser, at resultaterne er robuste

Den opstillede økonomiske analyse viser som sagt, at det er dyrt at indsamle dagrenovationen i et todelt system, og at denne merudgift overstiger den billigere behandling i biogas og komposteringsanlæg.

Ændrer man antagelser om fx rejktmængder, indsamlede mængder og prisen på miljøkonsekvenser, har det ikke indflydelse på rangordningen mellem de forskellige behandlingsalternativer. Det er nødvendigt, at indsamlingsomkostningerne også gøres markant lavere for, at forbrænding ophører med at være den samfundsøkonomisk billigste løsning.

2 Indledning

2.1 Baggrund for redegørelsen

I den tidligere regerings affaldsplan 1998-2004, Affald 21 /1/ lægges op til en øget genanvendelse af dagrenovationen bl.a. gennem en øget udsortering af den organiske fraktion. I 2004 er målet, at genanvendelsen af den organiske del af dagrenovationen svarer til 7 % af den samlede dagrenovationsmængde eller 150.000 ton. På længere sigt er målet at genanvende organisk dagrenovation svarende til 25 % af den samlede dagrenovationsmængde.

Organisk dagrenovation kan genanvendes gennem bioforgasning eller kompostering, hvor bioforgasning er den højest prioriterede behandlingsform, fordi både energiindholdet og gødningsindholdet i affaldet udnyttes. Målet er, at 100.000 ton af den organiske dagrenovation udnyttes gennem bioforgasning i 2004.

I statusredegørelsen indgår kun den del, der komposteres centralt. Kortlægning af dagrenovationens sammensætning /3/ har vist, at effekten af husstandenes hjemmekomposterer er mindre end antaget i tidligere undersøgelser. Ca. en fjerdedel af de adspurgte husstande oplyste, at de selv komposterede alt "komposterbart affald", og det var kun i disse husstande, at der sås en tydelig reduktion i affaldssækken. Undersøgelsen viser, at husstande, der angiver at kompostere 100 pct., komposterer i størrelsesordenen 1,8 kg om ugen..

For at fremme denne udvikling blev der med baggrund i Affald 21 i 1999 taget initiativ til at iværksætte fuldskalaforsøg med indsamling og bioforgasning af organisk dagrenovation, og Miljøministeriet støttede forsøgene med i alt 17 mio. kr. Der blev i februar 2000 udarbejdet en statusredegørelse /2/ for genanvendelse af organisk dagrenovation og spildevandsslam.

Statusredegørelsen 2000 konkluderede bl.a., at usikkerhed med hensyn til behandling og afsætning af affaldet var en væsentlig barriere for genanvendelsen af den organiske dagrenovation. Miljøstyrelsen fandt derfor ikke på daværende tidspunkt grundlag for at udarbejde en særskilt handlingsplan og anbefalede i stedet, at der ved udgangen af 2002 blev udarbejdet en ny statusredegørelse, der baserer sig på resultaterne fra fuldskalaforsøgene og de heraf afledte projekter.

Ud over de tekniske undersøgelser, der ligger til grund for statusredegørelsen 2002, er der ud fra modelberegninger foretaget miljømæssige vurderinger af forskellige systemer til håndtering og behandling af organisk dagrenovation /4/ og /5/. Endelig er der foretaget en samfundsøkonomisk analyse /6/, som klarlægger såvel de direkte økonomiske effekter som de velfærdsøkonomiske konsekvenser af at øge genanvendelsen af den organiske dagrenovation. I den velfærdsøkonomiske analyse indgår den del af de opgjorte miljøeffekter, der kan prissættes, mens de øvrige miljøeffekter opgøres i mængder. I analysen er der taget udgangspunkt i opgørelser og priser fra 2001.

I denne redegørelse anvendes ordet bioforgasning for biologisk afgang af organisk materiale under iltfri forhold.

3 Status for affaldsmængder og affaldsbehandling

I løbet af foråret 2003 skal regeringen vedtage en ny affaldsstrategi for 2005-2008, og regeringen skal i den anledning tage stilling til den fremtidige håndtering af dagrenovationen i Danmark. Et af de afgørende spørgsmål er, om de miljømæssige fordele og om den velfærdsøkonomiske værdi af at kildesortere og genanvende organisk dagrenovation er tilstrækkelige store til at begrunde en særskilt indsamling af den organiske dagrenovation fremfor at afbrænde det med restaffaldet.

I den velfærdsøkonomiske analyse bliver de miljømæssige effekter prissat i det omfang, det er muligt. Ændringen i miljøtilstanden som følge af en øget genanvendelse af den organiske dagrenovation kan således indgå i den økonomiske analyse på lige fod med traditionelle indtægter og udgifter.

Miljøstyrelsen har igennem en årrække finansieret en række projekter med henblik på at etablere et fagligt grundlag for at vurdere hvilken behandlingsform – bioforgasning, kompostering eller forbrænding - der er den mest hensigtsmæssige for den organiske dagrenovation. Resultaterne fra disse projekter er grundlaget for denne statusredegørelse.

Affaldsmængder

I 2001 er den samlede mængde dagrenovation indsamlet via kommunale indsamlingsordninger opgjort til ca. 1.14 mio. ton pr. år fra samtlige husstande i Danmark /3/.

Tallet er fremkommet ved en kortlægning af dagrenovationens sammensætning udført på baggrund af indsamling af dagrenovation fra ca. 2.000 husstande i en række forskellige kommuner . I disse tal indgår derfor ikke glas/flasker og papir, der er udsortet til genanvendelse og indsamlet særskilt. Der er regnet med i alt 2.398.389 husstande incl. beboede sommerhuse på landsplan.

I Statusredegørelsen fra 2000 blev den samlede mængde dagrenovation i 1998 opgjort til 1.70 mill. ton. Tallet stammer fra indberetninger til Affaldsstatistikken /7/. Efter et mindre fald i dagrenovationsmængden i 1999 og 2000 er tallet for 2001 igen opgjort til 1.70 mill. ton. I disse tal indgår glas og papir indsamlet via særskilte indsamlingsordninger. De 1,7 mill. ton omfatter tillige en mindre ikke kendt mængde dagrenovation fra erhvervsvirksomheder. Genanvendeligt papir og glas indsamlet fra husholdningerne opgøres til ca. 300.000 ton /8/. Der findes ikke en tilsvarende opgørelse af hvor meget affald fra erhvervsvirksomheder, der indsamles med dagrenovationen.

I kortlægningen af sammensætningen af den indsamlede dagrenovation er affaldet sorteret i 19 fraktioner, som er vist i tabel 3.1 /3/.

Tabel 3.1 Frembragt dagrenovation fordelt på boligtype pr. uge og på landsplan /3/.

Fraktion	Etagebolig Gns. Landsplan kg pr. husstand Pr. uge ⁴⁾	Enfamiliebolig. Gns. Landsplan kg pr. husstand Pr. uge ⁵⁾	Etageboliger ¹⁾ Ton pr. år.	Enfamilieboliger ²⁾ Ton pr. år.	Samtlige husstande ³⁾ Ton pr. år.	Relativ fordeling (%) Ton pr. år.
Ikke-forarbejdet veget.	1,69	2,32	83.803	174.298	258.101	22,6
Andet vegetabilsk affald	0,65	0,93	32.232	69.870	102.102	8,9
Animalsk affald	0,77	1,00	38.183	75.129	113.311	9,9
Genanvendeligt papir	0,96	0,98	47.604	73.626	121.230	10,6
Aftøringspapir	0,32	0,29	15.868	21.787	37.655	3,3
Andet rent, tørt papir	0,17	0,20	8.430	15.026	23.456	2,1
Andet snavset papir	0,45	0,76	22.314	57.098	79.412	7,0
Genanvendeligt Plastemballage	0,19	0,23	9.422	17.280	26.701	2,3
Andet plast	0,54	0,68	26.777	51.087	77.865	6,8
Haveaffald m.v.	0,24	0,51	11.901	38.316	50.217	4,4
Bleer m.v.	0,70	0,52	34.711	39.067	73.778	6,5
Andet brændbart	0,43	0,50	21.323	37.564	58.887	5,2
Glaseballage	0,21	0,25	10.413	18.782	29.196	2,6
Andet af glas	0,03	0,029	1.488	2.179	3.666	0,3
Metalemballage	0,18	0,29	8.926	21.787	30.713	2,7
Andet af metal	0,07	0,045	3.471	3.381	6.852	0,6
Andet ej brændbart	0,33	0,36	16.364	27.046	43.410	3,8
Sammensatte produkter	0,02	0,010	992	751	1.743	0,2
Farligt affald	0,01	0,018	496	1.352	1.848	0,2
Affald i alt	7,96	9,94	394.718	746.778	1.141.496	100,0

Kilde Danmarks Statistik 2002 – Husstande fordelt efter område, boligart og tid, pr. 1/1 2001

- Etageboliger omfattende: flerfamiliehuse (924.609 husstande) og kollegier (29.000 husstande). I alt 953.609 husstande.
- Enfamilieboliger omfattende: stuehuse (122.336 husstande), række-, kæde- og dobbelthuse (311.974 husstande), parcelhuse (996.156 husstande) og (beboede) sommerhuse (14.314 husstande). I alt 1.444.780 husstande.
- Etageboliger (953.609 husstande) og enfamilieboliger (1.444.780 husstande). I alt 2.398.389 husstande.
- I opgørelsen indgår ikke fælleshusholdninger (institutioner m.v.) (13.497 husstande) og anden helårsbeboelse (13.699 husstande).
- Pr. 1. januar 2001 var der registreret 198.860 sommerhuse, hvoraf kun en mindre del er registreret som beboet.
- Husstandsstørrelse 1,9.
- Husstandsstørrelse 2,4.

Ud fra tabellen kan den organiske del af den indsamlede dagrenovation opgøres. Indregnes madaffald, haveaffald, aftøringspapir og andet snavset papir, som er de fraktioner, der som minimum indgår i de fleste sorteringsvejledninger, kan potentialet for den organiske del af dagrenovationen opgøres til 640.800 ton affald.. I tabel 4.5 ses variationen inden for individuelle og fælles husstande.

I Affald 21 /1/ er det forudsat, at der er 700.000 ton organisk dagrenovation på landsplan. Tallet 640.800 ton vurderes ikke signifikant forskellig fra de 700.000 ton taget i betragtning, at tallet er fremkommet ud fra en undersøgelse

se af 2000 husstande. I denne statusredegørelse er det derfor fastholdt, at den indsamlede organiske del af dagrenovationen udgør 700.000 ton på landsplan.

Undersøgelsen af dagrenovationens sammensætning er den tredje landsdækkende undersøgelse, der er foretaget i Danmark. Tidligere undersøgelser er foretaget i 1979 og 1993. Set over tid er potentialet for den mængde dagrenovation – der ikke udsorteres og indsamles særskilt - per uge per husstand for enfamilieboliger faldet fra knap 12 kg i 1979 til knap 10 kg i 2001 /3/.

I de tre undersøgelser af dagrenovationens sammensætning er mængden af vegetabilsk og animalsk affald pr. husstand tilsyneladende uændret i perioden siden 1979. Samtidig er den samlede mængde dagrenovation per husstand faldet siden 1979, hvilket betyder, at madaffaldet i dag udgør en stigende andel af den del af dagrenovationen, der ikke udsorteres. Indregnes haveaffald og de ovennævnte papirfraktioner (aftøringspapir og andet snavset papir) i den organiske fraktion, er den samlede mængde organisk dagrenovation dog faldet lidt, hvilket skyldes, at der ses en faldende papirandel i dagrenovationen /3/.

3.1 Behandling af organisk dagrenovation

Forudsætningen for, at den organiske del af dagrenovationen kan genanvendes (succesfuldt), er etablering af et tostrengt indsamlingssystem, hvor den organiske del indsamles i en separat pose/holder. Mængden af organisk dagrenovation, der genanvendes, afhænger bl.a. af borgernes indstilling til sortering, sorteringskriterier, indsamlingssystem og specielt forbehandlingen.

I 2001 blev der i følge Statistik for behandling af organisk dagrenovation 2001 /9/ samlet tilført 37.133 ton organisk dagrenovation til kompost- og biogasanlæg. Tallet er stort set uændret i forhold til tidligere år. Af de 37.000 ton blev ca. 10.000 ton bioforgasset, mens resten – ca. 27.000 ton - blev komposteret /9/. Hovedparten af den organiske dagrenovation, der tilføres biogasanlæg, er forbehandlet, inden den kommer til biogasanlægget.

Ved forbehandlingen frasorteres mellem 15 og 40 % af den indsamlede mængde afhængig af behandlingsteknologien. Dvs. der er indsamlet op mod 50.000 ton organisk dagrenovation separat i 2001, hvilket skal sættes i forhold til måltallene i Affald 21 om, at der i 2004 skal genanvendes 150.000 ton.

I statusredegørelsen fra 2000 /2/, som er baseret på affaldsstatistikken fra 1998 /7/, angives, at ca. 45.000 ton organisk dagrenovation tilføres kompost- og biogasanlæg i 1999. Forskellen til de ca. 37.000 ton, der angives i Statistik for behandling af organisk dagrenovation 2000 /9/, kan delvis forklares med, at der er sket dobbeltregistreringer i forbindelse med affaldsstatistikken.

Fra 1996 til 1997 faldt mængden af forbehandlet organisk dagrenovation tilført biogasanlæg pga. lukningen af anlægget i Helsingør. Fra at der blev bioforgasset knap 7.000 ton i 1996, faldt niveauet til ca. 2.500 ton i 1997, hvor det forblev helt frem til 2001. I 2001 sker der næsten en fi-

redobling af mængden til knap 10.000 ton dagrenovation, der bioforgasses. Stigningen skyldes, at næsten alle anlæg har modtaget og behandlet mere dagrenovation, end de gjorde de tidligere år, og at to nye anlæg indgår i forhold til det foregående års statistik.

I modsætning hertil har der siden 1997 været et konstant fald i mængden af organisk dagrenovation til kompostering. I 2001 er opgjort, at der er genanvendt ca. 27.000 ton ved kompostering.

Tabel 3.2. Behandling af organisk dagrenovation fordelt på behandlingsmetode. Ton pr. år /9/.

Behandlingsmetode for Type 1 anlæg	År				
	1997	1998	1999	2000	2001
Højteknologisk kompostering ¹	25.334	23.437	24.041	22.005	17.229
Milekompostering	13.073	13.331	10.480	10.196	10.499
Bioforgasning ²⁾	2.465	2.898	2.442	2.664	9.405
I alt	40.872	39.666	36.963	36.865	37.133

1) tromleanlæg + container-, kammer- og bokskompostering

Kilde: Indberetninger til Statistik for behandling af organisk affald fra husholdninger 1999.

2) Visse anlæg forbehandler bioaffald inden det anvendes til bioforgasning. Mængden er opgjort efter forbehandling.

På baggrund af de initiativer, der blev igangsat i 1999, bl.a. fuldskala forsøgene og anlæg, der forventedes at overgå til biogasproduktion, blev der i statusredegørelsen i 2000 /2/ formuleret en forventning om, at bioforgasningen af forbehandlet organisk dagrenovation ville forøges i de kommende år til skønsmæssigt 15-20.000 ton i 2000, ca. 25.000 ton i 2001 og omkring 35.000 ton i 2002.

Udgangspunktet var en forventning om, at der i 1999 blev behandlet 14.500 ton organisk dagrenovation på biogasanlæggene. Reelt blev der i 1999 kun behandlet mellem 2.500 ton og 3.000 ton /9/.

Ud fra opgørelser over biogasdata fra 2002 /10/ skønnes det, at mængden af forbehandlet organiske dagrenovation, der bioforgasses i 2002, bliver godt 15.000 ton. En stigning i forhold til 1999 på godt 12.000 ton organisk dagrenovation tilført biogasanlæg. Forventningen var, at der ville blive forgasset ca. 20.000 ton mere i 2002 end i 1998. At denne stigning ikke er nået skyldes, at mængden af organisk dagrenovation, der er bioforgasset på Århus Nord, har været væsentlig mindre end de forventede 17.000 ton, og AFAV og Novoren (Audebo) har heller ikke leveret de forventede mængder. Derudover er biogasanlægget i Herning ophørt med at bioforgasse organisk dagrenovation medio 2002.

4 Tekniske undersøgelser vedrørende bioforgasning af organisk dagrenovation

Bioforgasning er den højest prioriterede genanvendelsesform for kildesorteret organisk dagrenovation i Danmark. Grundlaget for en succesfuld genanvendelse er et velfungerende indsamlingssystem og et teknisk system, hvor det kildesorterede organiske dagrenovation forbehandles. Hensigten med forbehandlingen er at forbedre affaldets kvalitet, inden det bioforgasses, oftest i biogasfællesanlæg som primært baserer sig på gylle og industrielt affald. Det afgassede materiale afsættes via de etablerede systemer til jordbrugsanvendelse, mens rejektet fra forbehandlingen tilføres et forbrændingsanlæg.

Centrale spørgsmål for vurdering af den miljømæssige effekt og den velfærdøkonomiske værdi af at genanvende det kildesorterede organiske dagrenovation er energiudnyttelsen, hvor meget næringsstof der genanvendes og de økonomiske omkostninger ved forskellige indsamlingssystemer og behandlingsteknologier.

Hovedvægten i de senere års undersøgelser har ligget på indsamling herunder vurdering af mængder og kvalitet, forbehandling og karakterisering af kildesorteret organisk dagrenovation med henblik på at bedømme biogaspotentialet /11/. Undersøgelserne tager udgangspunkt i en række projekter knyttet til fuld- og storskalaundersøgelser i områderne Grindsted /19/, Hovedstadsområdet /12/, Kolding /13/, Vejle /19/, Aalborg /18/ og Århus /15/.

I Grindsted, Vejle og Kolding er der etableret permanente indsamlingsordninger for kildesorteret organisk dagrenovation. I Kolding er kun en del af kommunen omfattet af ordningen, mens det i Vejle og Grindsted er hele kommunen, der er omfattet. I Århus blev en ny indsamlingsordning indført i hele kommunen i 2001, mens der i Aalborg og Hovedstadsområdet er tale om fuldskala forsøgsordninger for dele af kommunerne.

Som supplement til de tekniske undersøgelser er der fortaget miljømæssige vurderinger af forskellige scenarier for håndtering og behandling af organisk dagrenovation /4/. Ved modelberegninger er netto energigevinsten, gasemissioner og næringsstofudbyttet fundet /5/.

På baggrund af de tekniske undersøgelser og modelberegningerne over de miljømæssige konsekvenser er der gennemført en velfærdøkonomisk vurdering af behandling af organisk dagrenovation ved forskellige mulige scenarier /6/.

Endelig er muligheder og barrierer for udnyttelse af restproduktet fra bioforgasning af dagrenovation i jordbruget vurderet /16/, og kvaliteten af restproduktet med henblik på indholdet af tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer er undersøgt /17/.

4.1 Indsamlingsmængder og kvalitet

Mængder og kvalitet er vurderet på grundlag af indsamlinger i de 6 områder, hvor fuld-/storskalaforsøgene har kørt, og hvor der er indsamlet affald fra husholdninger med et bredt spektrum af indsamlingssystemer, relativt ensartede sorteringsvejledninger men forskellig informationsindsats. En sammenstilling af områdernes indsamlingsordninger fremgår af tabel 4.1 (efter /14/, /15/ og /19/).

Tabel 4.1 Indsamlingssystem i Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle, Aalborg og Århus (efter /14/, /15/ og /19/).

Område	Grindsted	Hovedstad	Kolding	Vejle	Aalborg	Århus
Indsamling	Papirpose og -sæk	Papirpose	Plastpose og Papirsæk	Plastpose, optisk	Plastpose	Plastpose, optisk
Information	Løbende plus påmindelser	Løbende plus påmindelser	Opstart	Opstart og nye	Opstart	Løbende plus påmindelser
Sortering	Mad	Mad, Dyreekskrementer men ikke knogler og kattegrus	Mad, Kattegrus	Mad, Bleer knogler kattegrus	Mad, Knogler Ikke kattegrus	Mad, Dyreekskrementer men ikke knogler og kattegrus

Af tabel 4.2 og tabel 4.3 fremgår hvor ofte, der indsamles (efter /14/, /15/ og /19/).

Derudover foreligger resultater fra en spørgeskemaundersøgelse til de fleste kommuner og affaldsselskaber, der aktuelt indsamlede kildesorteret organisk dagrenovation til bioforgasning og kompostering i 2000 /20/. Det drejer sig om de to affaldsselskaber AFAV I/S og NOVOREN I/S og kommunerne Grindsted, Herning, Vejle, Aalborg og Århus. I alt er 15 kommuner repræsenteret med et befolkningsgrundlag på 335.000 personer i 2000.

Endelig kan potentialet for indsamlede mængder af organisk dagrenovation uddrages af en nyligt afsluttet undersøgelse af mængde og sammensætning af dagrenovation /3/ foretaget i 10 udvalgte boligområder fordelt over hele landet. Dagrenovation fra ca. 2000 husholdninger, udvalgt så at de svarer til husholdningsstørrelse og boligtype på landsplan, er indsamlet og sorteret i 19 fraktioner.

Resultater

Fuld- og storskalaforsøgene giver data for de faktisk indsamlede mængder og kvaliteten heraf fra henholdsvis etageboliger og enfamilieboliger. Der er stor forskel på mængden af organisk affald, der indsamles fra den enkelte husholdning, i forhold til om det er fra områder med fælles eller med individuelle skraldespande. Der ses også stor variation i indsamlede mængder mellem forskellige geografiske områder – en variation der ikke kan forklares. Det er derfor ikke muligt ud fra resultaterne fra et enkelt område at forudsæ, hvor meget affald der kan indsamles i et tilsvarende område /14/.

I tabellerne 4.2 og 4.3 ses resultaterne for fælles skraldespande og for individuelle skraldespande.

Tabel 4.2 Fælles skraldespande: Indsamlingsfrekvens, mængde, fejlsortering, tørstof (TS) i biomasse og rejekt samt glødetab (VS) i % af TS i rejekt (efter /14/, /15/ og /19/).

Fælles skraldespande	Hovedstad	Kolding	Vejle	Aalborg	Århus
Frekvens (dage)	7 ³	14	7	7	7
Mængde kg/bolig/uge	1,17	3,1	1,76	1,4	1,98
Fejlsortering %	4,5	¹	²	2,1	4-5 %
Biomasse					
TS%	29	31	33	25	
Rejekt					
TS% i rejekt	34	44	52	52	
VS i rejekt i % af TS	91	85	84	88	

Tabel 4.3 Individuelle skraldespande: Indsamlingsfrekvens, mængde, fejlsortering, tørstof (TS) i biomasse og rejekt samt glødetab (VS) i % af TS i rejekt (efter /14/, /15/ og /19/).

Individuelle skraldespande	Grindsted	Hovedstad	Kolding	Vejle	Aalborg	Århus
Frekvens (dage)	14	14 ³	14	7	14	14
Mængde kg/bolig/uge	2,75	3,43	3,6	2,62	5,7	3,31
Fejlsortering %	0,2	1,3	¹	²	0,8	9-11 %
Biomasse						
TS%	32	29	29	27	24	
Rejekt						
TS% i rejekt	-	36	40	40	45	
VS i rejekt i % af TS	-	91	87	87	86	

Med hensyn til kvaliteten af det indsamlede organiske affald anses det generelt for muligt at opnå en god kildesortering med få % fejlsorteringer. Den bedste sortering ses i områder med enfamiliehuse og dermed individuelle skraldespande. Der ses ikke direkte sammenhæng mellem informationsindsatsen og sorteringskvaliteten (erfaringer fra Kolding viser dog at informationsindsatsen har indflydelse på mængder af organisk affald, der indsamles).

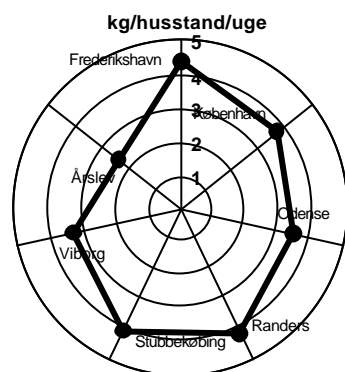
I potentialeundersøgelsen /3/ er mængderne, der findes pr. husstand, alene de organiske fraktioner, mens de andre undersøgelser er baseret på indsamlede mængder og derfor også omfatter indsamlingsposer og fejlsorteringer. Disse fraktioner udgør dog kun få procent af affaldets samlede masse, hvorfor resultaterne fra de forskellige undersøgelser godt kan bruges som sammenligningsgrundlag.

I potentialeundersøgelsen /3/ er der i lighed med resultaterne for fuld- og stor-skalaundersøgelserne fundet store variationer mellem forskellige geografiske områder (figur 4.1) /14/. Undersøgelsen viser endvidere, at den potentielle mængde organisk affald ved kildesortering afhænger mere af forskellene i antallet af personer i boligen end af boligtypen (tabel 4.4).

¹ Fejlsorteringer er ikke målt i Kolding

² Fejlsorteringer er ikke målt i Vejle

³ Frekvensen varierer i forskellige kommuner jfr. Beskrivelse i /19/



Figur 4.1. Gennemsnitlige mængde organisk affald pr husstand og uge i 7 forskellige boligområder med enfamilieboliger, restriktiv kildesortering /14/.

I tabel 4.4 er indsamlingspotentialet opgjort med udgangspunkt i forskellige sorteringsvejledninger. De mest restriktive indsamlingsordninger omfatter kun "ikke forarbejdet vegetabilsk affald", "andet vegetabilsk affald" og "animalsk affald". I de mest lempelige ordninger indgår yderligere "vådt aftøringspapir", "blomster og potteplanter" og "dyreexkrementer"

Tabel 4.4 Potentialet for kildesorteret organisk dagrenovation ved restriktive og mindre restriktive kildesorteringsordninger opdelt på boligtype /14/.

Kildesorteringsordning	Etage boliger (gennemsnit 1,9 personer pr bolig)	Enfamilieboliger (gennemsnit 2,4 personer pr bolig)
Restriktiv kildesortering		
kg/husstand/uge	3,11	4,25
kg/PE/uge	1,64	1,77
Mindre restriktiv kildesortering		
kg/husstand/uge	4,15	5,18
kg/PE/uge	2,18	2,16

Ud fra spørgeskemaundersøgelsen /20/, som var baseret på relativt mange husstande, vurderede man, at det er muligt at indsamle mellem 60 og 90 kg organisk affald pr. person pr. år, svarende til 1,2-1,8 kg pr. person pr. uge. Også i denne undersøgelse fandt man stor variationsbredde i de indsamlede mængder mellem kommunerne.

Der er således stor usikkerhed forbundet med at forudsæ hvor store mængder kildesorteret organisk dagrenovation, der kan forventes indsamlet i et givent område. Da forskellene i de indsamlede mængder ikke kan forklares ud fra områdets karakter, beboertæthed, boligtype, indsamlingsordning etc., må det antages, at folks velvilje og forbrugsvaner har afgørende indflydelse.

I tabel 4.5 er de potentielle og de realiserbare mængder indsamlet kildesorteret organisk dagrenovation sammenstillet.

Tabel 4.5 Sammenstilling af potentielle og realiserede mængder indsamlet kildesorteret organisk dagrenovation /14 /.

Undersøgelse	kg/husstand/ uge	kg/Person/ uge	kg/husstand/år	kg/Person/år
Potentialeoppgørelse				
Fælles skraldespande	3,11-4,15	1,64-2,18	162-213	85-113
Individuelle skraldespande	4,25-5,81	1,77-2,16	221-269	88-112
Fuld- og storskalaundersøgelse				
Fælles skraldespande	1,2-3,1	0,63-1,63*	60-161	32-85*
Individuelle skraldespande	2,6-5,7	1,08-2,17*	136-296	57-123*
Status 2000				
Større områder	-	1,2-1,8	-	60-90

*Værdierne er beregnet under antagelse af at etageboliger (Fælles skraldespande) i gennemsnit har 1,9 beboer og enfamilieboliger (Individuelle skraldespande) 2,4

Det fremgår af sammenstillingen i tabel 4.5, at der er en stor variationsbredde i de indsamlede mængder. Opgørelser i større samlede områder peger dog på, at det er muligt at indsamle op mod 80 % af potentialet – mest i mindre kommuner, hvor der gøres en stor indsats for information og opfølgning.

I den samfundsøkonomiske analyser er der anvendt et vægtet skøn over indsamlet mængde organisk affald pr. husstand pr. uge på henholdsvis 4,0 kg for enfamilieboliger og 1,8 kg for etageboliger /6/. I dette skøn er lagt stor vægt på resultaterne fra Århus. Tallene svarer til en gennemsnitlig indsamlingsprocent på 61 % (se afsnit 6.1).

4.2 Forbehandling

Forbehandling af den kildesorterede organiske dagrenovation indgår i alle eksisterende tekniske systemer. Forbehandlingen foregår i de fleste tilfælde inden affaldet køres til biogasanlægget (i Aalborg sker forbehandlingen på selve biogasanlægget). På selve biogasanlægget kan der dog ske både yderligere forbehandling og efterbehandling af affaldet.

I undersøgelserne er repræsenteret 4 forbehandlingsanlæg. To fuldskalaanlæg i rutinemæssig drift - neddeling og magnetseparation i Grindsted og rullerigt i Herning. En prototype i form af skrueseparator i Vaarst Fjellerad der har været modificeret og fornyet et par gange i de senere år. Endelig en stempelseparator der har været under udvikling og teknisk afprøvning på AFAV /21/.

De forskellige forbehandlingsanlæg er baseret på meget forskellige tekniske og fysiske principper og er også delvis indrettet til at behandle affald fra bestemte indsamlingsordninger. Affaldets oprindelse (renhed og indsamling) har i kombination med forbehandlingsteknologier betydning for hvor stor en andel af komponenterne i det kildesorterede affald, der føres videre til bioforgasning – og dermed afgørende indflydelse på energiudbyttet og indhold af næringsstof i restproduktet. Sammenhængen mellem indsamling og forbehandling er undersøgt ved, at affald fra de forskellige områder og indsamlingsordninger er behandlet på forskellige anlæg /19/.

Ud over de undersøgte forbehandlingsanlæg forbehandles organisk dagrenovation på en skrueseparator på Novoren og et rullerigtanlæg i Århus, som dog planlægges udskiftet med en skrue- eller stempelseparator.

Resultater

Neddeling og magnetseparering giver meget lidt rejekt - mindre end 1%, men denne forbehandlingsmetode kan kun anvendes på meget rent kildesorteret organisk dagrenovation. Den lave rejektprocent betyder, at hovedparten af det oprindeligt kildesorterede organiske dagrenovations-tørstof og -glødetab føres til bioforgasning med deraf følgende højt biogasudbytte pr. ton indsamlet organisk dagrenovation.

Både rullesigten og skruese separatoren giver meget høje rejektprocenter - i gennemsnit 35. Det betyder, at kun ca. halvdelen af det oprindelige kildesorterede organiske dagrenovations-tørstof og -glødetab senere bioforgasses, mens den anden halvdel frasepareres og forbrændes.

Biomassen fra skruese separatoren er meget ren, om end små plaststumper visuelt kan identificeres efter indsamling i plastposer - men vægtmæssigt er det meget lidt. Rullesigten resulterer i mere plast og større partikler i form af plast og papir i biomassen efter indsamling i plastposer. Rullesigten i Herning er nu nedlagt. Denne løsning synes ikke at kunne sikre et tilstrækkeligt lavt plastindhold i biomassen til at undgå tekniske problemer ved den efterfølgende bioforgasning og til, at biomassens indhold af plastblødgørere kan holdes sikkert under slambekendtgørelsens afskæringsværdi for plastblødgørere (DEHP). Anvendes papirposer findes stort set ikke plast ved sigtning af biomassen.

Stempelse separatoren på AFAV I/S har kun været anvendt på få læs affald. De foreløbige resultater peger på, at det kildesorterede affalds sammensætning har stor betydning for rejktmængden, som i afprøvningen har ligget mellem 7 og 35 %. Affald indsamlet i papirpose giver den laveste rejektprocent - lavere end når tilsvarende affald behandles på de øvrige forbehandlingsanlæg.

4.3 Karakterisering

Formålet med karakterisering af den kildesorterede organiske dagrenovation har været at etablere grundlæggende dokumentation for hvor meget næringsstof, der potentielt kan genindvindes og hvor meget energi, der kan produceres ved bioforgasning af affaldet afhængig af indsamlingssystem, kildesortering og forbehandling. Konkret er kildesorteret organisk dagrenovation fra fælles og individuelle skraldespande fra kildesorteringsordningerne i Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding, Vejle og Aalborg over en 11 måneders periode hver to gange blevet behandlet på forskellige forbehandlingsanlæg: neddeling+magnetseparering, rullesigte og skruese separator. I enkelte tilfælde er den tidsmæssige variation belyst med 6 prøver over perioden /11/. Den forhandlede organiske dagrenovation (biomassen) og rejktet er karakteriseret fysisk og kemisk, og metanpotentialet er målt i laboratoriet eller på pilot-biogasanlæg. Efterfølgende er den afgassede biomasse karakteriseret med hensyn til kemisk sammensætning og restmetanpotentiale.

Resultater, sammensætning

Biomassen består typisk af 22-32% tørstof heraf 83-93% organisk stof (VS). Tørstoffet består af 10-14% fedt, 13-15% protein, 10-16% stivelse, 4-10% sukker og 16-24% træstof. De målte komponenter udgør i snit 80% af det organiske stof, resten anses for at være "andre kulhydrater".

Sammensætningen af biomassen for et givet system varierer over tid – forskelligt for forskellige parametre. Variationen er størst for stivelse og sukker, som let omsættes, men også indholdet af P og Cl varierer meget. For de øvrige parametre er den tidsmæssige variation lille. For centrale parametre som tørstof, glødetab og enzymfordøjeligt organisk stof (EFOS) kun 3-10 %.

Tabel 4.6 viser den gennemsnitlige sammensætningen for de forskellige geografiske områder og forbehandlingsteknologier /14/ og /11 /.

	Grindsted	Hovedstadsområde		Kolding		Vejle		Aalborg		
	N+M	N+M	Rul.	Skr.	Rul.	Skr.	Rul.	Skr.	Rul.	Skr.
Biomasse, % v/v	100	100	70,0	55,5	58,2	61,9	67,2	56,1	66,8	63,7
Tørstof, TS, % t/v	32,3	29,5	29,2	27,3	31,7	28,0	33,1	26,7	29,4	23,4
Gl,tab,VS, % TS	90,0	93,3	88,8	92,3	83,4	84,3	83,5	85,2	85,6	88,8
Aske, % af TS	10,0	6,7	11,2	7,7	16,6	15,7	16,5	14,8	14,4	11,2
Fedt, % af TS	13,9	14,9	13,8	16,6	15,0	16,8	12,2	15,0	14,1	18,1
Protein, % af TS	14,2	14,3	15,5	17,0	16,0	16,4	14,0	15,6	15,0	17,0
Stivelse, % af TS	13,5	15,1	14,5	22,5	12,8	16,6	13,2	15,7	16,1	17,1
Sukker, % af TS	8,2	9,5	9,5	8,1	4,9	4,6	5,6	4,3	8,6	5,2
Træstof, % af TS	22,8	21,3	17,4	12,2	16,0	10,2	19,6	11,5	14,8	10,1
EFOS, % af VS	91,4	91,0	89,9	93,0	88,0	93,3	88,5	93,0	90,0	93,9
K, % af TS	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,0	1,0	1,1
P, % af TS	0,4	0,4	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,2	0,5	0,3
N, % af TS	2,3	2,4	2,6	2,8	2,6	2,8	2,5	2,7	2,4	2,8
C, % af TS	48,4	51,3	48,3	50,5	47,5	47,6	47,0	48,5	46,7	49,3
H, % af TS	7,0	7,5	7,1	7,7	7,0	7,2	6,9	7,2	6,8	7,4
S, % af TS	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cl, % af TS	0,5	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,4	0,8	0,5	0,9
Brdvd., MJ/kg TS	20,3	21,1	20,3	21,5	19,3	19,7	19,4	19,7	19,6	20,8

Kun hvad angår askeindholdet har man konstateret en signifikant forskel mellem de geografiske områder. Askeindholdet er størst i biomasse fra Kolding og Vejle (15,0-16,7%) og mindst i Hovedstadsområdet (6,5-11,2%) og Grindsted (10,0%). Den geografiske variation i askeindholdet, som findes i den kildesorterede organiske dagrenovation, påvirkes ikke signifikant ved forbehandlingen.

De væsentligste forskelle i biomassens sammensætning skyldes forbehandlingen. Mellem neddeling + magnetseparering og rullensigtning er forskellen med hensyn til den resulterende biomasses sammensætning dog marginal. Den væsentligste forskel findes mellem biomasse fra rullensigtning og skrueseparator. Anvendes skrueseparator indeholder biomassen mere vand (relativt 7-20% mindre TS), mere fedt (relativt 10-20% mere), mindre træstof (relativt 22-40% mindre) og mere EFOS.

Det organiske stof i rejektet (ekskl. plast) er overordnet set ikke væsentligt forskelligt i sammensætning fra det organiske stof i biomassen; men metanpotentialet på VS-basis er dog i snit 25-40 % mindre end potentialet i biomassen.

Resultater, metanpotentiale

Komponentsammensætning og grundstofindhold varierer meget lidt i biomassen fra kildesorteret organisk dagrenovation. Det teoretiske biogaspotentiale er beregnet på basis af den gennemsnitlige komponentsammensætning og fås til i gns. 530 Nm³ CH₄/ton VS. Der er ikke signifikant forskel mellem geografiske områder, fælles eller individuelle skraldespande eller forbehandling.

Målinger i laboratoriet over 50 døgn viser et metanpotentiale på i middel 465 Nm³CH₄/ton VS. Der er heller ikke her systematiske forskelle mellem geografiske områder, fælles eller individuelle skraldespande eller forbehandling. De beregnede værdier er som forventet noget højere end de faktisk målte værdier, men der er ingen korrelation mellem beregnede og målte værdier.

Endelig er metanudbyttet for biomasse fra kildesorteret organisk dagrenovation bestemt for 14 prøver ved bioforgasning i pilot-biogasanlæg. Resultaterne varierede mellem 300 og 400 Nm³ CH₄/ton VS, med et gennemsnit på 340 Nm³ CH₄/ton VS. Variationen i gas-udbyttet kan heller ikke her henføres til geografisk område, fælles eller individuel indsamling eller til forbehandlingsteknologien.

I tabel 4.7 er metanindholdet omregnet til biogasmængder. I de velfærdsøkonomiske beregninger i kapitel 6 regnes med, at der i gennemsnit produceres 125 m³ biogas pr. ton forbehandlet organisk dagrenovation (biomasse). Dette udbytte er fastsat ud fra resultaterne i tabel 4.7 og en forventning om, at forbehandlingsteknologien kan forbedres ved en markant udbygning af antallet af forbehandlingsanlæg.

Tabel 4.7 Producerede mængder metan og biogas /14/.

	Aalborg affald, skrueseparator		Grindsted affald, neddel+magnet	
	m ³ CH ₄	m ³ biogas (62% metan)	m ³ CH ₄	m ³ biogas (62% metan)
Per ton				
VS	340	548	340	548
TS	289	466	306	494
Biomasse	72	117	92	148
Indsamlet affald	47	76	92	147

Bioforgasningen i pilot-biogasanlægget omsatte mellem 75 og 80 % af VS-indholdet i biomassen. Metanudbyttet er bestemt efter, at stabil drift er etableret, og det vurderes næppe for sandsynligt, at væsentlig højere metanudbytte kan opnås i fuldskala anlæg. Den afgassede biomasse har et potentiale for yderligere at danne 40-50 Nm³ CH₄/ton VS oprindeligt tilført pilot-biogasanlægget svarende til yderligere 10-15% metan /22/.

Opholdstiden i termofile, kontinuerede biogasreaktorer vil typisk være så kort (ca. 15 dage), at en væsentlig del af affaldets metanpotentiale ikke bliver realiseret. Der er derfor gennemført et projekt til belysning af hvor meget restmetan, der dannes ved efter- slutlagring af afgasset organisk dagrenovation /22/.

Undersøgelserne viser, at metanproduktionen i praksis er meget lille ved de temperaturer, der findes i gylletanke, der bruges til lagring af det bioforgassede materiale. Restmetanproduktionen fra bioforgasset organisk dagrenovation er begrænset både af temperaturen og af omsætteligheden af VS.

Ud fra beregninger vurderes der ikke at være nogen væsentlig energigevinst forbundet med at opsamle denne restmetanproduktion. Den er beregnet til kun at udgøre ca. 8 promille af den metan, der i øvrigt produceres under bioforgasningen.

Emissionen vil have nogen effekt på drivhusgasbalancen, idet metanemissionen fra lagring af afgasset affald er beregnet til at reducere den samlede besparelse på drivhusgasregnskabet med ca. 4 %.

4.4 Brændværdi og energibalance

De samlede energiforhold ved henholdsvis forbrænding og bioforgasning af organisk dagrenovation er opgjort for de to teknologiers energiproduktion og energiforbrug /11/ og /24/.

Den producerede biogas kan brændes af i en gasmotor med kedelanlæg med kombineret el- og varmeproduktion eller i en gasmotor med elproduktion alene. Energieffektiviteten i et kedelanlæg med kombineret el- og fjernvarmeproduktion er som på et forbrændingsanlæg på mellem 80 og 90 % af indfyret energi. Elvirkningsgraden i en gasmotor er typisk højere end i et affaldsforbrændingsanlæg. Den samlede energivirkningsgrad på et affaldsforbrændingsanlæg ligger mellem 80 og 85%.

Antages det, at biogassen indeholder 65 % metan opnås i et anlæg (energivirkningsgrad på 85 % i gasmotoren) med både el- og varmeproduktion en samlet energiproduktion på 19,8 MJ per Nm³ biogas. Produceres kun el på gasmotoren falder energivirkningsgraden væsentlig og vil ligge på mellem 30 og 40 % afhængig af gasmotortype.

I tabel 4.8 er de forskellige energi-input og -output ved selve forbrændingen og bioforgasningen opstillet for de i fuldskalaforsøgene undersøgte områder og teknologier inklusiv energien til gødningssubstitution, men eksklusiv energiforbrug til indsamling og transport. Ligeledes er der i tabellen ikke taget hensyn til kvaliteten af energien, hvor el er en mere højværdig energiform end varme /11/.

Tabel 4.8 Energimæssig sammenligning af behandling af 1 ton kildesorteret organisk dagrenovation ved forbrænding og bioforgasning (MJ/ton organisk dagrenovation) /11/.

Behandling		Hovedstad – rullsigte	Hovedstad – skruepresse	Aalborg - rullsigte	Aalborg – skruepresse	Grindsted-ingen forseparering
Forbrænding	Bruttoenergi	4065		4116		4412
	Produktion af el og varme (0,85)	3455		3493		3750
	Egetforbrug af el	-288		-288		-288
	Tot. Netto energiproduktion*	3167		3205		3462
Bioforgasning	Biogas:					
	Brutto energi – biogas	2030	1750	1748	1703	3406
	Produktion af el og varme	1726	1488	1486	1448	2895
	Forbrug af el og varme	-288	-209	-295	-235	-304
	Netto energiproduktion, biogas	1441	1279	1191	1213	2592
	Sigterest:	1454	1643	1998	1895	0
	Produktion af el og varme	-86	-127	-76	-103	0
	Forbrug af el og varme	1368	1516	1922	1792	0
	Netto energiproduktion	401	339	341	340	659
	Gødnings substitution	3210	3134	3454	3345	3251
Tot. netto energiproduktion*						

* = uden indsamling og transporter og uden hensyntagen til "kvaliteten" af el og varme.

I projektet om basisdokumentation for biogaspotentialiet af organisk dagrenovation /11/ og /24/ er der gennemført modelberegninger af forskellige systemer. Modelberegningerne af energibesparelser er gennemført for kildesorteret organisk dagrenovation for de forskellige scenarier med hensyn til kildesorteringskriterier, indsamlingssystem, forbehandling og bioforgasning samt forbrænding af rejektet. Tilsvarende besparelser er også beregnet for direkte forbrænding af den organiske dagrenovation. I beregningerne indgår transport, procesenergi, energiproduktion samt energiforbruget til substitution af kunstgødning.

Energibalancen for bioforgasning af den organiske dagrenovation er den samme, om forbehandlingen sker på rullsigte eller skrueseparator og er i øvrigt ikke signifikant forskellig fra forbrænding af den organiske dagrenovation for Grindsted, Hovedstadsområdet, Kolding og Vejle. Der er en lille fordel (ca. 9%) i Aalborg, hvis gassen benyttes til både el og varmfremstilling.

Det skyldes hovedsageligt, at elproduktionen er relativ større ved bioforgasning end ved forbrænding, og da 1 kWh el leveret til en forbruger har højere kvalitet (energi) end 1 kWh fjernvarme, spares der en større mængde (primær) energi. Dette bygger på en antagelse om, at hele fordelen ved samproduktion af el og varme på et kraftvarmeværk tillægges varmeproduktionen. Regnes resultaterne i leveret energi som i tabel 4.8, bliver forskellen på energiproduktionen mellem forbrændings- og bioforgasningsscenerierne minimal.

Bioforgasningen af biomassen og forbrændingen af rejektet bidrager stort set med lige stor produktion af energi. Den største samlede energiproduktion fås, når mest tørstof går i rejektet og mest vand i biomassen. Energibesparelsen ved at substituere kunstgødning og energiforbruget til indsamling og transport af affaldet udgør hver for sig kun ca. 10% af energien. Dette indikerer, at optimering af energibesparelsen ved bioforgasning bør fokusere på optimering af gasproduktionen, gasudnyttelsen og forbrændingen af rejektet.

Den samlede energibalance er meget robust over for ændringer i det teknologiske system, idet ændringerne i energibesparelsen er lille ved en rejecktængde på 7 % frem for normalt på 30-40 % (+7%), ved en halvering af energiforbruget til indsamling af kildesorteret affald (+5%), ved en øget køreafstand fra 25 km til 150 km til forbehandlingsstedet (-9%) og ved en 13 % forøgelse af biogasproduktionen per ton (+9%). Dog vil en ændring i det teknologiske system hvad angår energiudnyttelsen have væsentlige konsekvenser, idet et biogasanlæg med en gasmotor, hvor varmen køles væk, vil give en reduktion i energibalancen på 23 % (-23%). Tilsvarende vil et affaldsforbrændingsanlæg, der ikke kan afsætte varmeproduktionen, forringe forbrændingsløsningen væsentligt.

5 Scenarier for håndtering af organisk dagrenovation

Der er foretaget miljømæssige vurderinger af en række scenarier for behandling af kildesorteret organisk dagrenovation med udgangspunkt i to forskellige modelberegninger – henholdsvis DTU-biogasmodellen /5/ og ORWARE-metoden (LCA) /4/.

De miljømæssige konsekvenser vurderes udelukkende i form af energiudnyttelsen samt emissionen til jord, luft og vand. En øget genanvendelse af organisk dagrenovation vil have en lang række positive følgevirkninger, som det ikke har været muligt at værdisætte, hvorfor de ikke indgår direkte i analysen.

Det er også vigtigt at understrege, at modellerne anlægger en overordnet national synsvinkel, hvilket betyder, at der kan være regionale og lokale forskelle, som vil føre til et andet resultat lokalt end på nationalt plan. Endelig er det valgt at foretage analysen inden for et afgrænset tidsrum, da langtidseffekterne af f.eks. minedrift er vanskelige at værdisætte.

5.1 DTU-biogasmodellen

I DTU-biogasmodellen foretages en miljømæssig vurdering af en række scenarier for bioforgasning af kildesorteret organisk dagrenovation, hvor behandlingsmetoden varieres, og et scenarie hvor al organisk dagrenovation forbrændes.

Miljøeffekterne i forbindelse med kompostering af det organiske affald indgår ikke i modellen.

Forbehandlingen omfatter flere alternativer: en rullesigte som ind til for nylig blev anvendt i Herning, en skrueseparator som anvendes i Vaarst-Fjellerad, og en stempelpresse som der er kørt forsøg med på AFAV i Frederikssund. Endvidere indgår beregninger baseret på 2 hypotetiske forbehandlinger. Bioforgasningen sker termofilt, mens rejektet forbrændes. Biogassen benyttes til energifremstilling og det afgassede materiale udbringes som gødning på jord. Scenarierne har alle som udgangspunkt en kildesorteret mængde organisk dagrenovation på 1000 kg.

Vurderingen er begrænset til at fokusere på massestrømme, besparelser i energi, emission af drivhusgasser og næringsstofudbyttet. I beregningerne indgår transport, procesenergi, energiproduktion samt substitution af kunstgødning.

Resultaterne viser, at overordnet set er de miljømæssige forhold hvad angår energi og drivhusgasser nogenlunde ens for bioforgasning, uanset om behandlingen foregår på rullesigte eller skrueseparator og er i øvrigt ikke signifikant forskellig fra forbrænding af den organiske dagrenovation for Hovedstadsområdet, Kolding og Vejle. Der er en lille fordel (ca. 9%) i Aalborg, hvis gassen benyttes til både el og varmfremstilling /18/.

Langt de fleste scenarier giver et netto energiudbytte mellem 3000 og 3400 MJ primær energi pr. 1000 kg indsamlet organisk dagrenovation med anvendelse af eksisterende forbehandlingsteknologier og bioforgasning. Energiudbyttet er det samme ved usorteret indsamling og forbrænding.

Der er en svag tendens til, at bioforgasningen netto giver lidt mere energi end forbrænding, hvilket primært skyldes en bedre energiudnyttelse ved forgasning frem for forbrænding. Energibesparelsen ved at substituere kunstgødning og det forøgede energiforbrug til indsamling og transport af dagrenovationen ved kildesortering udgør hver for sig ca. 10 % /11/. Forskellen mellem alternativerne skønnes at være af samme størrelse som usikkerheden på beregningerne eller indflydelsen af lokalspecifikke forhold.

Et "idealiseret" system med en effektiv forbehandling, begrænset transport og en høj produktion af biogas vil kunne give et samlet energiudbytte på 4200 MJ/1000 kg organisk dagrenovation indsamlet, hvilket er 25 % mere energi end ved forbrænding af den samme mængde organisk dagrenovation.

Drivhusgasemissionen følger stort set energiforbruget.

Ved bioforgasning dannes et udrådnet produkt, der potentielt kan anvendes som gødning i jordbruget. Denne mængde udgør ca. 3-8 kg kvælstof, 0,5-1,1 kg fosfor og 1,2-2,6 kg kalium per ton organisk dagrenovation indsamlet. Den energimæssige fordel ved denne substitution af kunstgødning er indregnet i de energimæssige betragtninger ovenfor.

5.2 ORWARE-metoden

ORWARE-metoden er en systemanalyse, der ved hjælp af en computer baseret model (ORganic Waste REsearch) vurderer miljøkonsekvenser for et "materiale flow" – i det her tilfælde et affaldsbehandlingssystem. Udgangspunktet er en livscyklusanalyse, hvor miljøpåvirkningerne gennem hele systemet – fra affaldet indsamles til det genanvendes eller forbrændes – indgår.

I systemanalysen indgår to sæt scenarier og et antal følsomhedsanalyser. I det ene sæt scenarier - de 3 monoscenarier - sammenlignes miljøeffekterne fra de 3 forskellige behandlingsteknologier. Udgangspunktet er således, at de 700.000 ton organisk dagrenovation i Danmark enten forbrændes, bioforgasses eller komposteres.

I det andet sæt scenarier er identificeret 5 multi-scenarier, der implementerer forskellige niveauer for bioforgasning eller kompostering, samt et reference scenarie, der tager udgangspunkt i, hvordan de 700.000 ton organisk dagrenovation i Danmark er håndteret i 2001.

Scenarierne 2-5 er sammensat med udgangspunkt i de mål, der er formuleret i Affald 21, hvor målet er, at 100.000 ton genanvendes ved bioforgasning i 2004, og på længere sigt mere end en tredobling af genanvendelsen. I scenarierne 4 og 5 er det antaget, at målene for genanvendelse opfyldes ved kompostering i stedet for bioforgasning. Sættningen af de 5 behandlingsscenarier fremgår af tabel 5.1.

Tabel 5.1. De 5 Behandlingsscenarier. Ton per år.

Tallene i parentes er mængderne efter forbehandling, hvor 35 % frasorteres i forbindelse med bioforgasning og 15 % i forbindelse med kompostering. Rejektet er lagt til ved forbrænding /4/.

Behandling	Scenario 1 Reference	Scenario 2 Målsætning 2004 Bioforgasning	Scenario 3 Målsætning "Lang sigt" Bioforgasning	Scenario 4 2004 kompostering	Scenario 5 "lang sigt" kompostering
Forbrænding	654 000 (663 700)	570 000 (609 500)	370 000 (479 500)	570 000 (595 500)	370 000 (425 500)
Bioforgasning	14 000 (9 100)	100 000 (65 000)	300 000 (195 000)	30 000 (19 500)	30 000 (19 500)
Central Kompostering	32 000 (26 200)	30 000 (25 500)	30 000 (25 500)	100 000 (85 000)	300 000 (255 000)
Sum	700 000	700 000	700 000	700 000	700 000
Deponering ¹	26 000	24 000	19 000	23 500	16 800

¹Deponering af slagger

Ved hjælp af modellen fås en vurdering af miljøkonsekvenserne udtrykt som energibalance og emissionen til luft, vand og jord i de forskellige scenarier.

Både i mono- og multiscenarierne produceres forskellige mængder af næringsstofferne N, P og K samt varme og el på basis af affaldet. Afhængig af hvilket scenarie, der tages udgangspunkt i, må samfundet derfor supplere op med forskellige mængder næringsstoffer og energi fra andre kilder. For næringsstofferne er der suppleret med N, P og K fra handelsgødning, for energiudbyttet suppleres med varme og el produceret på kul.

Miljøkonsekvenserne som følge af suppleringen med næringsstoffer og energi indgår i vurderingen af hvert enkelt scenarie for håndtering af det organiske affald.

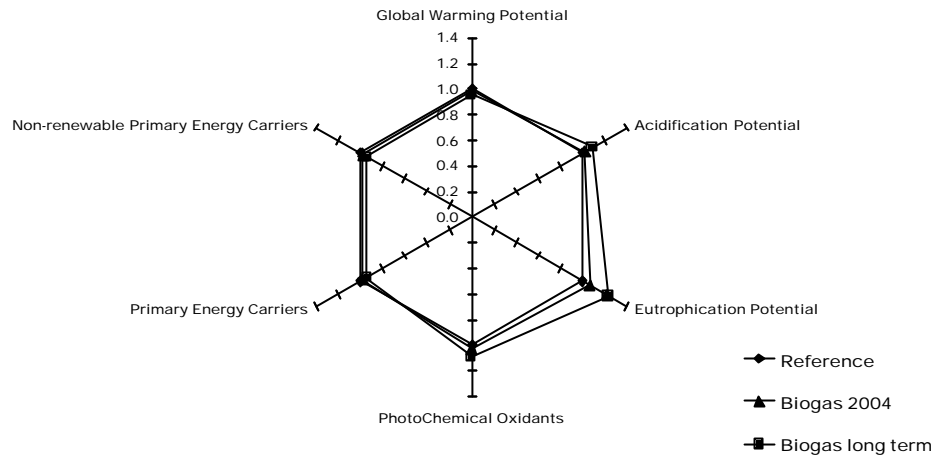
I tabel 5.2 er produktionen på basis af den organiske dagrenovation samt de nødvendige supplerende mængder af næringsstoffer og el og varme opgjort for de 5 multiscenarier.

Table 5.2. Udbytte og kompenserende forbrug af næringsstoffer, el og varme ved forskellige scenarier for behandling af organisk husholdningsaffald /4/.

Næringsstoffer i ton Energi i TJ	Scenarie 1 Reference	Scenarie 2 2004 Bioforgas- ning	Scenarie 3 "Lang sigt" Bioforgas- ning	Scenarie 4 2004 Komposte- ring	Scenarie 5 "lang sigt" Komposte- ring
Organisk kvælstof	130	437	1 162	357	854
Komp. kvælstof	1 032	725	0	805	308
Total kvælstof	1 162	1 162	1 162	1 162	1 162
Organisk fosfor	40	97	231	117	311
Komp. fosfor	271	214	80	194	0
Total fosfor	311	311	311	311	311
Organisk kalium	99	236	566	287	761
Komp. Kalium	662	525	195	474	0
Total kalium	761	761	761	761	761
Elektricitet fra affald	378	410	483	351	257
komp. Elektricitet	105	73	0	452	226
Elektricitets forbrug	217	216	211	204	165
Total ekstern elek- tricitet	322	289	211	656	391
Varme fra affald	1 761	1 719	1 610	1 600	1 153
komp. Varme	0	42	151	161	608
Varme forbrug	2	16	45	5	5
Total ekstern varme	2	58	196	166	613

Af tabellen fremgår, at i scenarie 3, hvor hovedparten af den organiske dagre-
novation bioforgasses, opnås det største udbytte af kvælstof og el. Forbræn-
dingsscenarioet giver det største varmeudbytte, og komposteres hovedparten af
affaldet som i scenarie 5, fås det største udbytte af næringsstofferne P og K.
Forskellen mellem scenarierne 3 og 5 for P og K skyldes forskellen i rejekt-
mængden.

I figurerne 5.1 og 5.2 ses miljøeffekterne fra de 5 multiscenarier inklusiv mil-
jøeffekterne, som følge af de næringsstof- og energimængder, der skal supple-
res med i hvert enkelt scenarie, for at samfundet har de samme mængder til
rådighed uanset hvilken teknologi, der satses på.



Figur 5.1 Radar diagram der sammenligner miljøeffekterne fra de to bioforgasningsscenarier med referencescenariet, som har værdien 1 /4/.

Det fremgår, at nettoenergiproduktionen stort set er identisk for referencescenariet og bioforgasningsscenarierne, hvilket er i overensstemmelse med resultaterne fra DTU modelleringen. Forsuringen, eutrofieringen og den fotokemiske oxidering bliver større, jo mere der bioforgasses. Der er størst udslag ved eutrofieringen, hvilket primært skyldes emissionen af NO_x som følge af forbrænding i gasmotoren.

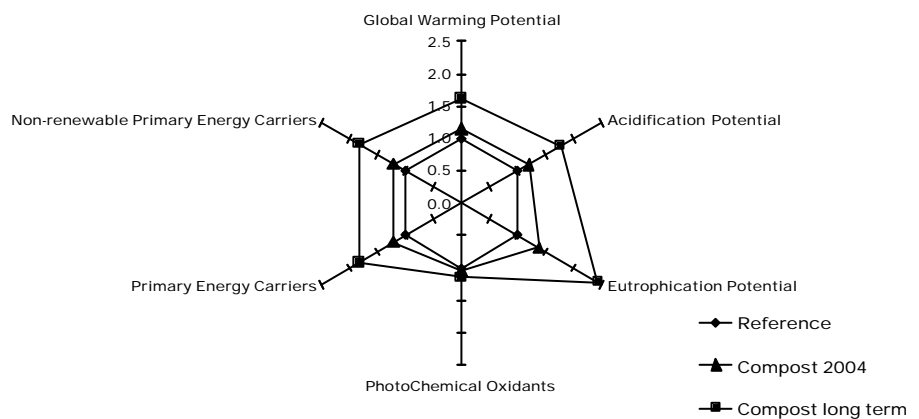
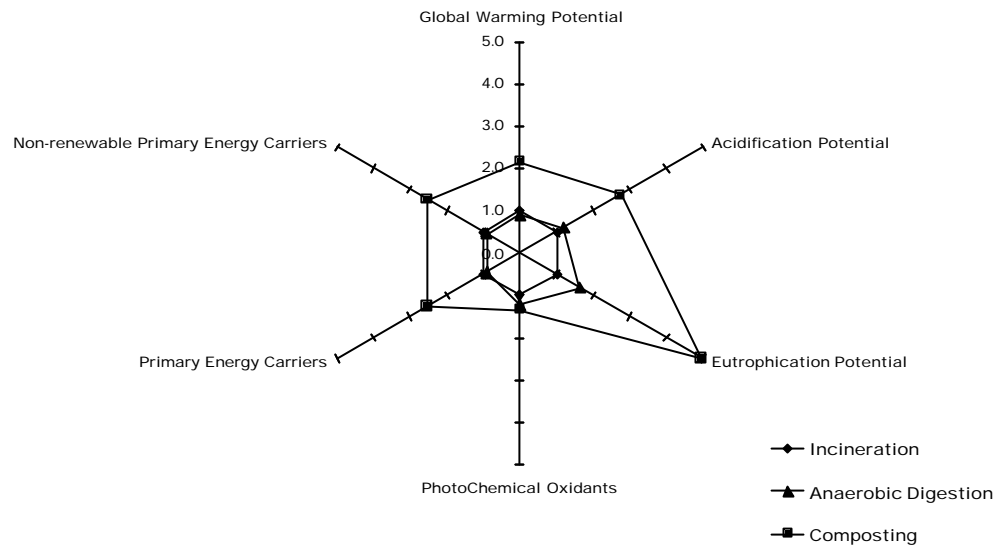


Figure 5.2. Radar diagram der sammenligner komposteringsscenarierne med referencescenariet, som har værdien 1 /4/.

Vurderes kompostscenarierne i forhold til referencescenariet ses, at energiforbruget stiger voldsomt pga. det store behov for suppleringsenergi. Ved kompostering af affaldet udnyttes energien ikke. Samtidig giver kompostering anledning til et større kvælstoftab og dermed større eutrofiering.

I figur 5.3 ses miljøeffekter fra de 3 monoscenarier inklusiv miljøeffekterne som følge af de næringsstof- og energimængder, der skal suppleres med i hvert enkelt scenarie svarende til resultaterne i figur 5.1 og 5.2.



Figur 5.3 Radar diagram der sammenligner de 3 monoscenarier, hvor alt det organiske dagrenovation henholdsvis forbrændes, bioforgasses eller komposteres /4/.

Det fremgår, at forbrændingsscenariet har mindst effekt på miljøet og forbruger af ressourcer. Komposteringsscenarioet har den største effekt på miljøet.

Kompost giver generelt ikke et energiudbytte, hvilket vejer tungt i negativ retning miljøvurderingen sammen med det forholdsvis store kvælstoftab, der er specielt i forbindelse med milekomposteringen. Lokal- og specielt hjemmekompostering kan dog fortsat være en god ide, og det er ofte billigere at kompostere end at bioforgasse, som det fremgår af kap 6.

I vurderingen af de miljøeffekter, der følger af de forskellige håndteringsscenarier, er der en række positive effekter knyttet til anvendelsen af kompost/bioforgasset affald, der ikke er taget højde for. Enten fordi det er vanskeligt at opgøre effekten, eller fordi den ikke umiddelbart kan prissættes.

Det drejer sig om forbedring af jordstrukturen, øget kapacitet til at tilbageholde vandet i jorden og en formodning om, at specielt brug af kompost kan reducere behovet for anvendelse af pesticider.

Dertil kommer en række sideeffekter, det ikke har været muligt at inddrage:

- Bedre forbrænding af restaffaldet og en bedre slagge kvalitet, som kan bidrage til, at slagge fortsat kan genanvendes frem for at deponeres.
- Bioforgasning kan være med til at sikre, at gyllen bioforgasses med større kvælstofudnyttelse til følge.
- Forbedring af den generelle kildesortering.

I kapitel 6 foretages en økonomisk vurdering af de opgjorte miljøeffekter set i forhold til de øvrige udgifter i forbindelse med håndtering af affaldet. Under de gældende forudsætninger viser resultaterne heraf, at værdien af de positive

følgeeffekter, der ikke er inddraget i analysen, skal være betragtelige for at kunne ændre på konklusionen om, at det på nationalt plan samfundsøkonomisk kan betale sig at øge genanvendelsen set i en kortere tidshorisont.

Følgende følsomhedsanalyser er udarbejdet

- Genanvendelsen af slagger reduceres fra 80 % til 0
- Anvendelse af papirposer i stedet for plasticposer ved indsamlingen af det organiske dagrenovation, hvilket mindsker rejectandelen
- Biogasproduktionen øges fra 125 til 150 Nm³/ton forbehandlet organisk dagrenovation
- Anvendelse af naturgas i stedet for kul som primærenergi

Ingen af disse analyser har ændret på den overordnede placering af de 3 teknologier i forhold til hinanden. I kapitel 6 vurderes om de enkelte forskydninger har nogen betydning for resultatet af den samfundsøkonomiske vurdering.

6 Samfundsøkonomisk analyse

Der er udført en samfundsøkonomisk analyse på basis af de i de tidligere kapitler beskrevne tekniske og miljømæssige konsekvenser af forskellige behandlingsformer for organisk dagrenovation, dvs. forbrænding, bioforgasning og kompostering. Formålet med denne analyse er at undersøge såvel de budgetøkonomiske omkostninger (dvs. de direkte økonomiske effekter) som de velfærdsøkonomiske konsekvenser af at øge genanvendelsesandelen af den organiske dagrenovation. I den velfærdsøkonomiske analyse bliver de miljømæssige effekter prissat i det omfang, det er muligt, så de kan inddrages i analysen. Alternativt opgøres miljøeffekten i mængder, så ikke prissatte miljøeffekter tydeliggøres. Enkelte miljøeffekter kan ikke opgøres i mængder og beskrives derfor udelukkende kvalitativt. På den måde udtrykkes ændringer i miljøtilstanden så vidt muligt i økonomiske termer, og kan således indgå i analysen af fordelagtigheden af at øge genanvendelsen på lige fod med traditionelle indtægter og udgifter. For en nærmere beskrivelse af analysen henvises til rapporten "Samfundsøkonomisk analyse af øget genanvendelse af organisk dagrenovation" /6/

Der er i analysen opstillet 5 scenarier for den fremtidige håndtering af organisk dagrenovation. Disse er opstillet med forskellige kombinationer af de 3 behandlingsmetoder – forbrænding, bioforgasning og kompostering – med baggrund i målene i Affald 21 og justeret efter nyeste data, jf. kapitel 3. De 5 scenarier er nærmere beskrevet under de miljømæssige vurderinger i kapitel 5. Der regnes i analysen dels på de tre behandlingsmetoder (monoscenarier) separat og dels på kombinationer i de opstillede scenarier.

Der er foretaget en systemafgrænsning af såvel den budgetøkonomiske som den velfærdsøkonomiske analyse, så kun omkostninger og fordele ved den organiske dagrenovation medtages. Både ved indsamling og behandling håndteres den organiske affaldsfraktion sammen med andre fraktioner og her er omkostninger og indtægter forsøgt opdelt specifikt på den organiske dagrenovationsdel.

Ligeledes er miljøkonsekvenserne i den bagvedliggende livscyklusanalyse (ORWARE-analysen jf. kap. 5) specifikt opgjort for den organiske dagrenovationsdel.

6.1 Indsamling af organisk dagrenovation

For at muliggøre genanvendelse af organisk dagrenovation skal denne indsamles separat fra restaffaldet. Til brug for analysen er der derfor udover udelte indsamling opstillet tre indsamlingsmetoder for todelt indsamling. De tre metoder for todelt indsamling bygger på resultaterne fra fuldskalaforsøgene i henholdsvis Aalborg, København samt Århus (se tabel 4.1) /18/, /12/, /15/. Det skal dog understreges, at omkostningerne brugt i analysen ikke stammer direkte fra forsøgsordningerne. På basis af forsøgsordningerne har kommunerne vurderet, hvad et opskaleret og mere "skrabet" system ville koste. I København er der kun dokumenteret data for omkostningerne ved indsamling af den organiske affaldsdel samt en bespareelsesprocent for indsamling af restaffaldet.

Derfor er besparelsen på restaffaldet beregnet på basis af et traditionelt system med udelt indsamling baseret på en stikprøve på 15 kommuner¹.

På baggrund af de forskellige undersøgelser beskrevet i kapitel 4 er der foretaget et skøn over mængden af organisk affald, der kan udsorteres i boligerne, mængden af restaffald og totale mængder affald fra husholdninger fordelt på henholdsvis enfamilieboliger og etageboliger. Den samlede mængde affald er fastsat til 9,9 kg/husstand/uge for enfamilieboliger, mens den for etageboliger er noget mindre 8,0 kg/uge. Dette hænger sammen med, at husstande i etageboliger ofte er mindre end i enfamilieboliger /3/. Ca. 50% af det indsamlede affald er organisk dagrenovation og af dette antages i gennemsnit ca. 60% at kunne indsamles i en kildesorteringsordning.

I det endelige skøn er taget hensyn til, at fuldskalaforsøget i Århus kommune dækker et meget stort antal husstande og har data for en længere periode sammenlignet med de øvrige fuldskalaforsøg. Derfor indgår erfaringerne fra Århus med større vægt. På denne baggrund er skønnet fastsat til 4,0 kg indsamlet organisk dagrenovation per uge per husstand for enfamilieboliger og 1,8 kg indsamlet organisk dagrenovation per uge per husstand for etageboliger.

6.2 Budgetøkonomisk analyse

I denne del af analysen analyseres konsekvenserne for de enkelte affaldsbehandlere ved en ændret affaldshåndtering. Der tages udgangspunkt i de faktiske priser som affaldsbehandlerne står over for, dvs. tilskud og afgifter medtages.

I den budgetøkonomiske analyse er de direkte økonomiske konsekvenser af at indføre todelt indsamling af dagrenovation med efterfølgende forbehandling og bioforgasning eller kompostering af den organiske dagrenovation opstillet. Ekstra udgifter til etablering og drift af et todelt indsamlingssystem herunder bl.a. ekstraudgifter til køkkenstativer og udgifter til distribution af poser af papir eller plast til brug i køkkenet er udelukkende tilskrevet den organiske fraktion, således at indsamlingsprisen pr. tons for restaffaldet holdes konstant. De opstillede omkostninger fremgår af tabel 6.1.

Selve indsamlingssystemet i de tre områder er nærmere beskrevet i kap. 4.

I Aalborg og Århus kommune baserer det todelt system sig på 14-dages indsamling af organisk og restaffald for enfamilieboliger². Dette er en serviceforringelse i forhold til referencesystemet (udelt indsamling), der har ugeindsamling. Det er dog valgt at se bort herfra og anvende de opgivne data fra de to kommuner.

¹ Besparelsen er fratrukket indsamlingsomkostningerne for restaffaldet

² I Aalborg indsamles restaffaldet og det organiske affald skiftevis hver uge.

Tabel 6.1 Todelt indsamling. Indsamlingsomkostninger per ton organisk affald per år.

Model	Enfamilie			Etage		
	I	II	III	I	II	III
Udelt indsamling, kr. pr. ton	1119	1002	1028	508	473	559
Omkostningsstigning pga. todelt indsamling, kr. pr. husstand pr. år	207	502	151	124	104	112
Omkostningsstigning pga. todelt indsamling, kr. pr. ton organisk affald	995	2412	726	1322	1167	1196
Todelt indsamling, kr. pr. ton organisk affald	2114	3415	1754	1830	1640	1754

Tal baseret på: I: Aalborg, II: København og III: Århus

Forbehandling af den indsamlede organiske dagrenovation er som tidligere beskrevet en forudsætning for succesfuld genanvendelse i biogasanlæg og komposteringsanlæg. Overslaget over omkostningerne for forbehandling fremgår af tabel 6.2. Omkostningerne for forbehandling i Aalborg er baseret på et projekteret anlæg med skrueseparator. Der er taget udgangspunkt i de projekterede omkostninger ved fuld kapacitet. Disse resultater er anvendt i de videre beregninger. Omkostningerne til for- og efterbehandling ved kompostering baserer sig på et skøn på baggrund af norske erfaringer.

Tabel 6.2 Budgetøkonomiske omkostninger ved forbehandling

	Forbehandling bioforgasning			For- og efterbehandling ved kompostering
	Skrueseparator (Aalborg)	Rullesigte (Herning)	Rullesigte, fuld kapacitet ^a (Herning)	
Behandlet mængde	10.100 ton	4.000 ton	9.000 ton	10.000-20.000 ton
Anlæg (årligt)	1.944.000 kr.	788.000 kr.	788.000 kr.	
Drift	1.208.000 kr.	438.000 kr.	648.000 kr.	
Samlede omkostninger	3.152.000 kr.	1.226.000 kr.	1.436.000 kr.	
Samlede omkostninger pr. ton	312 kr./ton	307 kr./ton	160 kr./ton	Ca. 100 kr./ton

a: = Forbehandlingsanlægget har ikke kørt med fuld kraft, derfor er der lavet en alternativ beregning af forbehandlingsprisen ved fuld kapacitet

I den budgetøkonomiske analyse er der ligeledes opstillet omkostninger ved de tre behandlingsformer bioforgasning, kompostering og forbrænding. Disse er summeret i tabel 6.3. For kompost er der antaget en fordeling på 50% reaktorkompostering og 50% milekompostering.

Tabel 6.3 Budgetøkonomiske omkostninger ved bioforgasning, kompostering og forbrænding per år.

	Bioforgasning Dagens anlæg ^a	Milekompos- tering	Reaktorkompos- tering ^b	Forbrænding ^c
Behandlet mængde Heraf organisk dagrenovation	200.750 ton 40.150 ton	68.000 ton 38.000 ton	17.000 ton 7.000 ton	483.000 ton
Anlæg årligt	5.824.000 kr.	6.086.000 kr. ^c		208.863.000 kr.
Drift	3.131.000 kr.	3.640.000 kr.		185.321.000 kr.
Samlede omkostninger	8.955.000 kr.	9.726.000 kr.		394.184.000 kr.
Omkostninger pr. ton	45 kr./ton			816 kr./ton
Indtægter ^d	245 kr./ton ^e	300.000kr.		181 kr./ton
Afgift				330 kr./ton
Omkostninger i alt pr. ton	- 200 kr./ton	177 kr./ton^f	503 kr./ton	966 kr./ton

a = Data fra /36/ opskrevet til 2001-priser.

b = Data fra finsk anlæg, detaljer fortrolige;

c = Opskrevet til 2001-priser

d = inklusiv elproduktionstilskud

e = Indtægterne er relateret specifikt til den organiske affaldsdel.

f = kapitalomkostningerne er fordelt på hele kapaciteten, driftsomkostningerne udelukkende på den organiske del.

På baggrund af de opstillede omkostninger til indsamling, forbehandling og behandling kan de samlede budgetøkonomiske omkostninger ved hhv. forbrænding, bioforgasning og kompostering opstilles, jf. tabel 6.4. Behandlingsomkostningerne dækker forbehandling og behandling inklusiv forbrænding af hvor der antages en rejktmængde på henholdsvis 35% for bioforgasning og 15% for kompostering.

Tabel 6.4 Budgetøkonomiske omkostninger ved forbrænding, bioforgasning og kompostering af 1 ton organisk dagrenovation. Kr. pr. ton indsamlet organisk dagrenovation

	Forbrænding		Bioforgasning		Kompostering	
	Enfamilie	Etage	Enfamilie	Etage	Enfamilie	Etage
Indsamling i alt	1002	473	1754-3415	1640-1774	1754-3415	1640-1774
For/efterbehandling pr. indsamlet tons	0		312		50 ^a	
Behandling pr. indsamlet tons	966		-130 ^b		289 ^c	
Forbrænding af rejkt pr. indsamlet tons	0		338 ^d		145 ^e	
Behandling i alt	966		520		484	
Samlede budgetøkonomiske omkostninger	1968	1438	2274-3934	2160-2294	2238-3899	2124-2258

a: kun medtaget forbehandling for milekompostering. Omkostningerne for reaktorkompostering er inkl. forbehandling

b: $0,65 * (-200)$

c: $0,85 * (503 + 177) / 2$

d: $0,35 * 966$

e: $0,15 * 966$

Etableringen af todelt indsamling er et væsentligt fordyrende element i biofor-gasnings og komposteringsalternativerne, jf. tabel 6.4. Dette skyldes især, at merprisen på indsamlingsleddet er væsentlig større end den besparelse, der opnås ved behandlingen. Her er dog ikke taget højde for de miljømæssige ef-fekter. Disse inkluderes i den velfærdsøkonomiske analyse.

6.3 Velfærdsøkonomi for behandlingsalternativerne

I dette afsnit beskrives resultaterne af den velfærdsøkonomiske analyse. I mod-sætning til den budgetøkonomiske analyse sætter den velfærdsøkonomiske analyse fokus på hele samfundet under ét. I denne analyse forsøges det at op-gøre, hvorledes en ændret affaldshåndtering vil påvirke ressourceforbruget og miljøet for hele samfundet. Afgifter og tilskud som i princippet blot fungerer som omfordelinger i samfundet medtages ikke i denne del af analysen. Bl.a. regnes der i forbrugerpriser og bruges en anden diskonteringsrente end i den budgetøkonomiske analyse¹ (se i øvrigt /6/ og /38/). Miljøkonsekvenserne pris-sættes i det omfang, det er muligt.

De miljøeffekter, der er prissat i analysen, fremgår af tabel 6.5. Det er lykke-des at prissætte stort set samtlige de miljøeffekter, som det har været muligt at opgøre i mængder. Det vil sige, at der er prissat såvel emissioner til luft som udledninger af tungmetaller til luft og vand. Tungmetaller i fast form har det dog ikke været muligt at værdisætte. Stort set alle miljøeffekter opgjort i livs-cyklusanalysen finder sted i Danmark, undtagen miljøeffekterne fra den kom-penserende gødningsproduktion i form af kunstgødning samt miljøeffekter ved kompenserende/sparet elproduktion, som både kan finde sted i Danmark og i udlandet². Det er valgt at medtage alle miljøeffekter opgjort i livs-cyklusanalysen, selv om de potentielt kunne finde sted i udlandet³.

Det skal understreges, at værdisætningen er forbundet med meget store usik-kerheder. Endvidere er bl.a. estimaterne for tungmetaller taget fra et norsk studie/34/, hvilket kan være problematisk at overføre til danske forhold. Derfor skal værdisætningen mest af alt anses som et overslag over størrelsesordenen af miljøkonsekvenserne.

¹ At der regnes i forbrugerpriser betyder i praksis, at de budgetøkonomiske priser gan-ges med nettoafgiftsfaktoren, som er 1,17. I den budgetøkonomiske analyse regnes med en diskonteringsfaktor på 6%, - i den velfærdsøkonomiske analyse med en dis-konteringsfaktor på 3%.

² De emissioner, der hidrører fra brydningen af fosfor, vil dog altid finde sted i ud-landet.

³ Normalt anlægges et nationalt perspektiv i en velfærdsøkonomisk analyse, men da miljøeffekterne i udlandet i denne analyse anses for at være marginale i forhold til de indenlandske, er de ikke fratrukket.

Tabel 6.5 Prissætningsestimater, kr./kg (2001-priser).

	Land (baggrunds- emission)	Mellemstore by- er (0,1 mill. ind- byg.)	Storbyer (over 1 mill. ind- byggere)
Emissioner til luft			
CO ₂	0,243	0,243	0,243
CH ₄	5,1 ^a	5,1 ^a	5,1 ^a
N ₂ O	75,3 ^b	75,3 ^b	75,3 ^b
CO	0,01	0,01	0,01
NO _x	25,7	25,7	25,7
SO _x	25,7	71,0	369,4
Partikler (PM ₁₀)	430 ^c	430 ^c	430 ^c
NMVOC	55,6	55,6	55,6
Dioxin	1.403.000.000	1.403.000.000	1.403.000.000
NH ₃	26	26	26
Bly (Pb)	65.712	65.712	65.712
Cadmium (Cd)	55.113	55.113	55.113
Kviksølv (Hg)	28.616	28.616	28.616
Kobber (Cu)	318	318	318
Crom (Cr)	592.467	592.467	592.467
Nikkel (Ni)	9.645	9.645	9.645
Zink (Zn)	0,64	0,64	0,64
Emissioner til vand			
Dioxin (aq)	590.000.000		
NO ₃ (aq)	5,1		
Bly (Pb), (aq)	52.993		
Cadmium (Cd), (aq)	214.094		
Kviksølv (Hg), (aq)	3.645.953		
Kobber (Cu), (aq)	212		
Crom (Cr), (aq)	18.018		
Nikkel (Ni), (aq)	12.718		
Zink (Zn), (aq)	10,6		

a: Omregnet til CO₂-ækvivalenter (21:1)

b: Omregnet til CO₂-ækvivalenter (310:1)

c: Prisen gælder for transport. For behandling er anvendt en pris på 51,45 kr./kg

For prisen på CO₂ er anvendt alternativomkostninger i form af Energistyrelsens estimerede marginale omkostninger ved tiltag til reduktion af CO₂-emission /26/. Prisen for CH₄ og N₂O er beregnet ud fra CO₂-prisen ud fra CO₂-ækvivalent. Prisen for emissioner af NO_x, SO_x og VOC stammer fra EU-kommissionens database BeTa (efter /27/, der indeholder en række reviderede beregningspriser for de marginale eksterne omkostninger ved luftforurening. DMU peger i sin rapport om miljøøkonomiske beregningspriser /27/ på, at priserne fra BeTa for luftemissioner er fagligt mere velbegrundede end priserne brugt af Finansministeriet /28/. For SO_x opererer BeTa med forskellige priser for land, mellemstore og større¹ byer. I analysen er for transport anvendt en fordeling på land, mellemstore og storbyer på hhv. 30 pct., 30 pct. og 40 pct. Tilsvarende fordeling er anvendt for forbrænding og el- og varmeproduktion. For bioforgasning og kompostering er alene anvendt prisen for land, og for kunstgødning er alene brugt prisen for mellemstor by. Prisen for CO er hentet fra Finansministeriet /28/, og kilden hertil er EU-kommissionens Externe studie. Prisen på dioxin er et foreløbigt beregningseksempel /29/. For partikler er for behandling brugt prisen fra Finansministeriets ovennævnte

¹ Mellemstore byer har 100.000 til 1 million indbyggere, større byer har over 1 million indbyggere.

rapport, mens der for transport er anvendt Det Økonomiske Råds reviderede estimat /30/. For NH_3 er anvendt de laveste alternativomkostninger hentet fra DMU's rapport om fremskrivningsmodeller, hvor der er opgjort marginale omkostninger på landbrugsområdet til at reducere NH_3 -udledningen /31/.

Samtlige priser for tungmetaller (både til luft og til vand) er hentet fra en norsk rapport udarbejdet af ECON /34/. For NO_3 -udledning til vand er anvendt alternativomkostning i form af den laveste marginalomkostning for reduktion af NO_3 ifølge Midtvejsevalueringen af Vandmiljøplan II /32/33/.

Alle priser er omregnet til 2001-niveau.

I tabel 6.6 fremgår de samlede konsekvenser ved behandling af et tons indsamlet organisk affald (dvs. både omkostninger og værdien af miljøeffekter) af de 3 behandlingsmetoder: forbrænding, bioforgasning og kompostering. Indsamlingen af dagrenovationen i et todelt system bevirker en markant fordyrelse af håndteringen, hvorimod behandlingen ved bioforgasning og kompostering er væsentlig billigere sammenlignet med forbrænding.

For værdien af miljøeffekterne gælder, at indsamlingen og den øvrige transport tegner sig for ca. $\frac{1}{4}$ for forbrænding og bioforgasning og for ca. halvdelen for kompostering. Resten udgøres af spredning, behandling og kompenserede effekter. For forbrænding er det især udledning af SO_x og NO_x , der bidrager til værdien af miljøeffekterne. For bioforgasning er det hovedsagelig NO_x og MNVOC, mens det for kompostering primært er NO_3 til vandmiljøet.

Slutprodukterne er værdisat som den samfundsøkonomiske pris opgjort som markedsværdien samt værdien af miljøkonsekvenserne af de produkter, som substitueres. For fx bioforgasning, hvor slutproduktet er både gødning, el og varme, opgøres værdien således som markedsprisen på handelsgødning samt på hhv. el og varme tillagt værdien af miljøkonsekvenserne ved produktionen af disse tre produkter. Værdien af slutprodukterne for et tons indsamlet organisk affald er hhv. 464 kr./tons ved forbrænding, 549 kr./tons ved bioforgasning og 113 kr./tons ved kompostering. For kompostering betyder dette, under antagelse af at den komposterede mængde udgør ca. $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$ af den behandlede mængde, at den færdige kompost prissættes til ca. 100 - 150 kr./tons.¹

¹ Værdien af næringsstofindholdet pr. indsamlet tons udgør ca. 44 kr. (de øvrige 49 kr. i den samlede slutproduktpris udgøres af el og varme fra forbrænding af rejejt.). Pr. behandlet tons svarer dette til ca. 52 kr./tons, når der tages hensyn til 15% rejejt. Da kun $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{3}$ ender som færdig kompost, er prissættelsen på den færdige kompost således ca. 100 - 150 kr./tons.

Tabel 6.6 Vel færdsøkonomiske konsekvenser ved forbrænding, bioforgasning og kompostering af 1 ton organisk dagrenovation opgjort i kroner pr. tons indsamlet organisk affald.

	Forbrænding		Bioforgasning		Kompostering	
	Enfamilielie	Etage	Enfamilielie	Etage	Enfamilielie	Etage
Indsamling i alt	1201	566	2063	2037	2063	2037
Behandling i alt	1060		792		585	
Miljøkonsekvenser i alt	132		202		93	
Samlede velfærdsøkonomiske omkostninger	2392	1758	3059	3033	2740	2715
Slutprodukter						
El	154 kwh		255 kwh		23 kwh	
Varme	730kwh		579 kwh		110 kwh	
Gødning						
N	0		3,63 kg		2,48 kg	
P	0		0,67 kg		0,97 kg	
K	0		1,65 kg		2,37 kg	
Værdi af slutprodukter*	464		549		113	
Samlede velfærdsøkonomiske nettoomkostninger	1928	1294	2509	2484	2627	2602
Ændring i forhold til forbrænding			581	1190	699	1308
Øvrige miljøkonsekvenser (tungmetaller i fast form)						
Bly (Pb), (so)	i.o.		0.00178		0.00255	
Cadmium (Cd), (so)	i.o.		2.31E-05		3.32E-05	
Kviksølv (Hg), (so)	i.o.		4.97E-06		7.14E-06	
Kobber (Cu), (so)	i.o.		0.00604		0.00867	
Crom (Cr), (so)	i.o.		0.00178		0.00255	
Nikkel (Ni), (so)	i.o.		0.00124		0.00179	
Zink (Zn), (so)	i.o.		0.0142		0.0204	

i.o.: ikke opgjort i livscyklusanalysen (tungmetal i slaggen)

På baggrund af de tre behandlingsmetoder opstilles de fem scenarier og de samlede omkostninger og fordele ved de enkelte scenarier opgøres, jf. afsnit 6.7. Referencescenariet definerer den basisproduktion, som findes i samfundet i dag. I de scenarier, hvor der fx produceres mindre el og varme end i referencituationen, tilføres omkostningerne og miljøkonsekvenserne ved supplerende produktion. Ligeledes fratrækkes der omkostninger og miljøkonsekvenser ved kunstgødningsproduktion i de tilfælde, hvor affaldsbehandlingen fører til en større gødningsproduktion. Herved sikres, at der i alle scenarierne er den samme produktion som i referencenariet.

Dette bygger på en forudsætning om, at den nuværende produktion af el, varme og gødning antages at være den nødvendige for samfundet. Dette betyder generelt, at en ændret produktion vil give anledning til øgede eller mindskede omkostninger til kompenserende eller sparet produktion. I tabel 6.7 er den samlede velfærdsøkonomiske effekt for de enkelte scenarier summeret. Der benyttes et vægtet gennemsnit på indsamlingsomkostningerne for hhv. etage og enfamilieboliger, svarende til fordelingen, der findes i Danmark (39,9% etageboliger og 60,1% enfamilieboliger)

Det har ikke været muligt at prissætte en række fordele ved genanvendelse af organisk dagrenovation gennem bioforgasning og kompostering i denne analyse. Dette skyldes bl.a., at størrelsesordenen af effekterne er usikker. Det gælder f.eks. forbedret jordstruktur og vandbindingsevne, reduceret behov for pesticidanvendelse og eventuel forbedret slaggekvælitet fra forbrændingen af restaffaldet. Ligeledes gælder, at for fosforindvinding er energieffekterne opgjort og prissat, mens det ikke har været muligt at opgøre de øvrige miljøeffekter ved indvindingen.

Det kan dog konstateres, at de forøgede omkostninger ved todelt indsamling er så store i forhold til de værdisatte miljøeffekter, at værdien af de ikke-prissatte miljøeffekter derfor skal være meget store for at forrykke resultatet.

De samlede velfærdsøkonomiske meromkostninger ved at indføre Affald 21s langsigtede mål med bioforgasning af 300.000 ton indsamlet organisk dagrenovation (scenarie 3) er i størrelsesordenen 230 mio. kr. årligt, jf. tabel 6.7. En tilsvarende udbygning af kompostering (scenarie 5) vil koste ca. 270 mio. kr. årligt. Affalds 21s mål for bioforgasning i 2004 (scenarie 2) vil årligt koste i størrelsesordenen 70 mio. kr. ekstra i forhold til den nuværende håndtering af det organiske affald, hvorimod en udbygning med kompostering (scenarie 4) årligt vil koste ca. 80 mio. kr.

De samlede sparede omkostninger og miljøfordele ved de kompenserende systemer ved en udbygning af bioforgasning er i scenarie 3 opgjort til 25 mio. kr. årligt, jf. tabel 6.7. Dette skyldes i stor udstrækning den forøgede elproduktion i forhold til den nuværende situation samt værdien af kvælstof i den afgassede organiske dagrenovation. Ved en udbygning med kompost som i scenarie 5 vil der derimod mangle en stor el og varmeproduktion, hvilket betyder at den kompenserende produktion her får en værdi på over 90 mio. kr. årligt.

Tabel 6.7 Vel færdsøkonomiske konsekvenser ved de 5 scenarier (jf. tabel 5.1) for den fremtidige håndtering af organisk dagrenovation

	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3	Scenarie 4	Scenarie 5
Samlede omkostninger beregnet på basis af tabel 6.6	1529 mio. Kr.	1606 mio. kr.	1788 mio. kr.	1584 mio. kr.	1702 mio. kr.
Samlet produktion					
El	378 TJ	410 TJ	483 TJ	351 TJ	257 TJ
Varme	1761 TJ	1719 TJ	1610 TJ	1600 TJ	1153 TJ
N	130 ton	437 ton	1162 ton	357 ton	854 ton
P	40 ton	97 ton	231 ton	117 ton	311 ton
K	99 ton	236 ton	566 ton	287 ton	761 ton
Sparet elproduktion TJ Mio. kwh		-32 -8,9	-105 -29,2	27 7,5	121 33,6
Pris pr. kwh		0,30 kr./kwh	0,30 kr./kwh	0,30 kr./kwh	0,30 kr./kwh
Omkostninger i alt		-2,7 mio. kr.	-8,8 mio. kr.	2,3 mio. kr.	10,1 mio. kr.
Pris pr. kwh miljøkonsekvenser		0,71 kr./kwh	0,71 kr./kwh	0,71 kr./kwh	0,71 kr./kwh
Miljøkonsekvenser i alt		-6,3 mio. kr.	-20,8 mio. kr.	5,3 mio. kr.	23,9 mio. kr.
Tilført varmereproduktion TJ Mio. kwh		42 11,7	151 41,9	161 44,7	608 169
Pris pr. kwh		0,07 kr./kwh	0,07 kr./kwh	0,07 kr./kwh	0,07 kr./kwh
Omkostninger i alt		0,79 mio. kr.	2,8 mio. kr.	3,0 mio. kr.	11,4 mio. kr.
Pris pr. kwh miljøkonsekvenser		0,35 kr./kwh	0,35 kr./kwh	0,35 kr./kwh	0,35 kr./kwh
Miljøkonsekvenser i alt		4,1 mio. kr.	14,9 mio. kr.	15,8 mio. kr.	59,9 mio. kr.
Sparet kunstgødningproduktion					
Nitrogen, kg		-307.000	-1.032.000	-227.000	-724.000
Pris pr. kg		7 kr./kg	7 kr./kg	7 kr./kg	7 kr./kg
Omkostninger i alt		-2,1 mio. kr.	-7,2 mio. kr.	-1,6 mio. kr.	-5,1 mio. kr.
Pris pr. kg. Miljøkonsekvenser		1,78 kr./kg	1,78 kr./kg	1,78 kr./kg	1,78 kr./kg
Miljøkonsekvenser i alt		-0,55 mio. kr.	-1,8 mio. kr.	-0,4 mio. kr.	-1,3 mio. kr.
Fosfor, kg		-57.000	-191.000	-77.000	-271.000
Pris pr. kg		11,7 kr./kg	11,7 kr./kg	11,7 kr./kg	11,7 kr./kg
Omkostninger i alt		-0,67 mio. kr.	-2,2 mio. kr.	-0,9 mio. kr.	-3,2 mio. kr.
Pris pr. kg. Miljøkonsekvenser		2,73 kr./kg	2,73 kr./kg	2,73 kr./kg	2,73 kr./kg
Miljøkonsekvenser i alt		-0,16 mio. kr.	-0,52 mio. kr.	-0,21 mio. kr.	-0,74 mio. kr.
Kalium, kg		-137.000	-467.000	-188.000	-677.000
Pris pr. kg		3,25 kr./kg	3,25 kr./kg	3,25 kr./kg	3,25 kr./kg
Omkostninger i alt		-0,45 mio. kr.	-1,5 mio. kr.	-0,61 mio. kr.	-2,2 mio. kr.
Pris pr. kg. Miljøkonsekvenser		0,09 kr./kg	0,09 kr./kg	0,09 kr./kg	0,09 kr./kg
Miljøkonsekvenser i alt		-0,012 mio. kr.	-0,04 mio. kr.	-0,017 mio. kr.	-0,06 mio. kr.

I alt sparede omkostninger og miljøkonsekvenser fra de kompenserende systemer		-8,0 mio. kr.	-25,2 mio. kr.	22,7 mio. kr.	92,8 mio. kr.
Omkostninger i alt for scenariet	1529 mio. kr.	1598 mio. kr.	1763 mio. kr.	1606 mio. kr.	1795 mio. kr.
Meromkostning ift. Scenario 1	-	69 mio. kr.	234 mio. kr.	77 mio. kr.	266 mio. kr.

6.4 Følsomhedsanalyser

Følsomhedsanalyser udføres på monoscenarierne, dvs. på de enkelte behandlingsalternativer (forbrænding, bioforgasning og kompostering) og ikke på scenarierne, da det er de enkelte behandlingsalternativers følsomhed overfor ændringer, der er det interessante. Der analyseres dels for betydningen af ændringer i enkelte parametre, og dels på et "optimistisk case for genanvendelse" og et "pessimistisk case for genanvendelse", hvor flere parametre ændres samtidig. Mht. indsamlingsomkostninger beregnes en "break-even"-omkostning, dvs. hvad må indsamlingsomkostningerne maksimalt være for at bioforgasning og kompostering bliver samfundsøkonomisk attraktivt i forhold til forbrænding.

For en uddybning af følsomhedsanalyserne se /6/.

Der er udført følgende følsomhedsanalyser:

- Break-even-omkostning på indsamling
- Mindre rejehtmængde.
Rejehtmængden nedsættes for bioforgasning fra 35% til 15% og kompostering fra 15% til 5%.
- Større indsamlet mængde af organisk affald.
Den indsamlede mængde sættes op til det fulde potentiale, dvs. 5,8 kg./husstand pr. uge for enfamilieboliger og 4,1 kg/uge for etageboliger
- Lavere indsamlet mængde organisk affald
Den indsamlede mængde sættes ned til 2 kg./husstand pr. uge for enfamilieboliger og 1 kg./husstand pr. uge for etageejendomme
- Øget biogaspotentiale.
Biogaspotentialet sættes op fra 125 m³/tons behandlet affald til 150 m³/tons behandlet affald
- Ændring af priser på miljøkonsekvenser.
 - Der anvendes samme prissætningsestimater som i den nyligt udkomne rapport fra EU-kommisionen (de høje tal) /35/
 - Fordobling af samtlige priser på miljøkonsekvenserne
 - Halvering af samtlige priser på miljøkonsekvenserne
 - Ændring af CO₂-prisen fra 243 kr./tons til den alternativomkostning der fremgår af den nyeste klimastrategi, som er på 120 kr./tons
 - Brug af gennemsnitlige alternativomkostninger på NO₃- og NH₃-udledning i stedet for de laveste (for NO₃ er dette 25 kr./kg i stedet for 5 kr./kg og for NH₃ 27,5 kr./kg i stedet for 26 kr./kg)
- Medtagelse af kulstoflager i jorden.
Der regnes i denne følsomhedsanalyse med, at der opstår et permanent kulstoflager i jorden som følge af udbringning af kompost eller biogasrest.
- Ingen genanvendelse af slaggen fra forbrænding
Det antages, at hele slaggemængden fra forbrændingsanlæggene deponeres, i modsætning til basisanalysen, hvor 80% forudsættes genanvendt.

Der regnes dog kun på omkostningerne ved den øgede deponering og ikke miljøkonsekvenserne, da de ikke indgår i livscyklusanalysen.

- Højere varmepris
Den omkostningsbaserede varmepris i basisanalysen inkluderer kun drifts- og brændselsomkostninger, da anlægsomkostningerne traditionelt set overvæltes på elproduktionen. Derfor er varmeprisen i basisanalysen relativt lav: 5 øre/kwh. I denne følsomhedsanalyse antages en varmepris på 15 øre/kwh.
- Kun afsætning af 50% af varmen fra forbrændingsanlæg.
Da der i visse perioder bortkøles varme fra forbrændingsanlæg antages i denne følsomhedsanalyse, at kun 50% reelt kan afsættes.
- Højere (6 pct.) og lavere (1 pct.) kalkulationsrente. (3 % i basisanalysen)
- Skatteforvridningstab medtages.
Det antages i denne følsomhedsanalyse, at de offentlige udgiftsstigninger skattefinansieres med et forvridningstab på 20% til følge.
- Uden allerede afholdte investeringer.
Der antages i denne følsomhedsanalyse en marginalbetragtning, således at allerede afholdte investeringer ikke medtages.¹
- 6 pct. kalkulationsrente, med skatteforvridningstab og uden allerede afholdte investeringer
- "Optimistisk case for genanvendelse".
En sammensætning af de mest optimistiske data fra fuldskalaforsøgene, angående indsamlet mængde (5,8 kg./husstand for enfamilieboliger og 2 kg./husstand for etageboliger), rejekt mængder (10% for bioforgasning og kompostering) og biogaspotentiale (150 m³/behandlet tons)
- "Pessimistisk case for genanvendelse".
En sammensætning af de mest pessimistiske data fra fuldskalaforsøgene, angående indsamlet mængde (3,3 kg./husstand for enfamilieboliger og 1,2 kg./husstand for etageboliger), rejekt mængder (40% for bioforgasning og 25% for kompostering) og biogaspotentiale (100 m³/behandlet tons)

Break-even omkostningerne for todelt indsamling er udregnet ved at beregne, hvor meget de årlige indsamlingsomkostninger skal reduceres i den velfærdsøkonomiske analyse, for at hhv. bioforgasning og kompostering bliver lige så attraktivt samfundsøkonomisk som forbrænding. Dette er omregnet til, hvad meromkostningen må være pr. husstand i budgetøkonomiske priser.

Meromkostningen for todelt indsamling skal ned under 50 kr./husstand pr. år for enfamilieboliger og under 20 kr./husstand pr. år for etageejendomme, for at bioforgasning bliver mere attraktiv end forbrænding. For kompostering skal meromkostningen helt ned under hhv. 30 kr./husstand pr. år og 10 kr./husstand pr. år. I basisanalysen er meromkostningen for todelt indsamling - beregnet på baggrund af fuldskalaforsøgene og er hhv. ca. 150 kr./husstand pr. år for enfamilieboliger og ca. 110 kr./husstand pr. år for etageejendomme.

Det betyder, at meromkostningen pr. husstand skal reduceres med ca. 2/3 for enfamilieboliger og 5/6 for etageejendomme i forhold til basisanalysens forudsætninger for at ændre rangordenen til fordel for genanvendelse.

Kommunerne i AFAV-området¹ har oplyst en årlig meromkostning til indsamling af organisk affald på 57 – 74 kr./husstand for enfamilieboliger. AFAV

¹ Da udbygningen af biogas- og komposteringsanlæg i dag er meget begrænset, ses kun bort fra allerede afholdte investeringer i forbrændingsanlæg.

skønner, at meromkostningen for etageejendomme er ca. 10 kr. lavere pr. husstand. Disse omkostninger er dog ikke fuldt sammenlignelige med meromkostningerne i denne analyse, bl.a. er de ikke opgjort med samme diskonteringsrente ligesom der kan være andre forskelle. Desuden indsamles restaffaldet og det organiske affald skiftevis hver uge, dvs. hver fraktion indsamles hver 14. dag. Dette er en serviceforringelse i forhold til udelt indsamling i denne analyse, hvor der antages ugeindsamling.

Grindsted kommune oplyser en årlig meromkostning på 402 kr./tons organisk affald. Dette kan omregnes til en meromkostning pr. husstand på 84 kr. under antagelse af udelukkende enfamilieboliger.

Disse oplyste meromkostninger er således ikke lave nok til at ændre rangordenen mellem alternativerne. Forbrænding er under antagelse af de oplyste meromkostninger stadig den samfundsøkonomisk mest attraktive løsning.

Følsomhedsanalyserne, hvor der ændres på enkelte parametre, ændrer gennemgående ikke på rangordenen mellem de forskellige behandlingsalternativer, jf. tabel 6.8. En enkelt undtagelse er dog brug af EU-priser på miljøkonsekvenserne, som gør kompostering lidt mere attraktivt end bioforgasning. Dette skyldes en væsentligt højere pris på NO_x end i basisscenariet. Forbrænding dog klart at være det bedste alternativ.

Et "optimistisk genanvendelsesscenarie" med de mest optimistiske forudsætninger om den indsamlede mængde, rejecktængde og biogaspotentialer bevirker, at bioforgasning bliver mere attraktivt end forbrænding. Dette gælder dog kun for enfamilieboliger og ikke for etageboliger. På baggrund af erfaringerne fra de tre fuldskalaforsøg vurderes det, at disse forudsætninger kun er realistiske lokalt set og ikke for Danmark generelt.

Antages de mest optimistiske forudsætninger fra fuldskalaforsøgene at kunne opnås samtidig med markant lavere indsamlingsomkostninger end antaget i basisanalysen, kan genanvendelse samlet set blive den samfundsøkonomisk billigste løsning.

Generelt må det konkluderes, at rangordningen mellem behandlingsalternativerne er robust. Forbrænding er den mest attraktive løsning, efterfulgt af bioforgasning, mens kompostering er den dyreste løsning for samfundet.

¹ Frederikssund, Helsingø, Hundested, Jægerspris, Slangerup, Stenløse og Ølstykke.

Tabel 6.8 Følsomhedsanalyser. Ændringer i kr./tons.

	Rangorden			Ændringer i velfærdsøkonomiske nettoomkostninger ifht. Basisanalyse		
	Forbrænding Enfam/etage	Bioforgasning Enfam/etage	Kompostering Enfam/etage	Forbrænding Enfam/etage	Bioforgasning Enfam/etage	Kompostering Enfam/etage
Basisanalyse Rangorden	1928/1294 I	2509/2484 II	2627/2602 III	0/0 *	581/1190 *	699/1307 *
Følsomheder:						
Mindre rejktmængde	I	II	III	0/0	-251/-251	-63/-63
Større indsamlet mængde	I	II	III	0/0	-267/-778	-267/-778
Lavere indsamlet mængde	I	II	III	0/0	+851/+1113	+851/+1113
Øget biogaspotentiale	I	II	III	0/0	-100/-100	0/0
Pris på miljøkonsekvenser						
EU-priser	I	III	II	+232/+232	+344/+344	+193/+193
Fordobling af priser	I	II	III	-236/-236	-192/-192	+30/+30
Halvering af priser	I	II	III	+118/+118	+97/+97	-15/-15
Lavere CO ₂ -pris	I	II	III	+47/+47	+47/+46	+3/+3
Højere pris på N og NH ₃ udvaskning	I	II	III	0/0	+91/+91	+88/+88
Kulstoflager i jorden	I	II	III	0/0	-5/-5	-8/-8
Ingen genanvendelse af slag- gerne fra forbrændingsanlæg- get	I	II	III	+77/+77	+27/+27	+11/+11
Højere varmepris	I	II	III	-87/-87	-69/-69	-13/-13
Kun afsætning af 50% af var- men fra forbrændingsanlæg	I	II	III	+154/+154	+54/+54	+23/+23
Kalkulationsrente 6 pct.	I	II	III	-68/-67	-73/-103	-66/-95
Kalkulationsrente 1 pct.	I	II	III	+61/+59	+61/+86	+54/+77
Uden afholdte investeringer i forbrændingsanlæg	I	II	III	-583/-583	-204/-204	-87/-87
Skatteforvridningstab	I	II	III	+212/+212	+572/+566	+530/+524
6 pct. kalkulationsrente, med skatteforvridningstab uden alle- rede afholdte investeringer	I	II	III	-496/-495	+263/+223	+356/+316
Optimistisk genanvendelses- scenarie	II	I	III	0/0	-614/-492	-294/-172
Enfamilie	I	II	III			
Etage						
Pessimistisk genanvendelses- scenarie	I	II	III	0/0	+335/+843	+247/+755

* Forskel i forhold til forbrænding i basisanalysen.

7 Genanvendelse af organisk dagrenovation

Mulighederne for i fremtiden at genanvende organisk dagrenovation til jordbrugsformål er undersøgt i rapporten "Afsætning af bioforgasset organisk affald" /16/. I rapporten beskrives såvel de arealmæssige som holdningsmæssige barrierer for den fremtidige afsætning. Ved genanvendelse af 150.000 ton forbehandlet organisk dagrenovation vil arealbehovet være ca. 3500 ha, hvilket er et meget begrænset areal i forhold til det samlede areal på ca. 2.600.000 ha. Husdyrgødning beslaglægger ca. 1/3 af landbrugsarealet øst for Storebælt, mens ca. 2/3 af landbrugsarealet vest for er bundet af husdyrproduktion. Næsten halvdelen af det areal, der potentielt er tilrådighed for affaldsprodukter, findes på ejendomme, der i forvejen har husdyr. Udviklingen i husdyrbestanden og indholdet af kvælstof og fosfor i husdyrgødning er fremskrevet til 2010. Det areal der ikke modtager husdyrgødning forventes i denne prognose at falde til ca. 2/3 af det nuværende areal. Selv ved en øget genanvendelse af organisk dagrenovation op til 350.000 ton/år vil der derfor fortsat være arealer til rådighed.

Landmænds og levnedsmiddelindustriens holdning udgør den største barriere for den fremtidige brug af affaldsprodukter i landbruget. Den største skepsis er overfor kommunalt spildevandsslam, mens der er en mere positiv indstilling overfor at aftage afgasset gylle med indhold af organisk dagrenovation under forudsætning af, at der føres tilstrækkelig kontrol med tilførslen til biogasanlægget, og der er sket en tilstrækkelig forbehandling.

I slambekendtgørelsen /37/ fastlægges krav til indholdet af tungmetaller og miljøfremmede stoffer i organisk affald, der anvendes i jordbruget. Det er i en række undersøgelser påvist, at kildesorteret organisk dagrenovation normalt overholder de stillede krav til tungmetaller, men at overholdelsen af afskæringsværdien for plastblødgøreren DEHP kan give problemer, som evt. kan begrænse genanvendeligheden af denne affaldsfraktion. I rapporten DEHP i husholdningsaffald /17/ er det vist, at hovedparten af analyserne for DEHP i organisk dagrenovation kan overholde den opstillede afskæringsværdi, og at de eksisterende sorteringskriterier er tilstrækkelig præcise og restriktive til at sikre, at der ikke bør være DEHP problemer i affaldet. Det anbefales, at der etableres forbehandling, der kan frasortere de væsentligste urenheder, inden den biologiske behandling påbegyndes for at minimere afsmitning af DEHP og andre forureninger til den organiske fraktion.

8 Konklusion

8.1 Dagrenovation og mængder

Mængden af organisk dagrenovation i Danmark er stabil. Den seneste affaldsanalyse viser, at der samlet findes ca. 640.000 ton/år. Denne mængde er i samme størrelsesorden som de hidtidige antagelser om ca. 700.000 ton/år, og i forhold til analysernes usikkerhed er der ikke forskel.

Ud fra opgørelsen af den nuværende håndtering af organisk dagrenovation i kapitel 3 kan forventes, at ca. 40.000 ton organisk affald svarende til ca. 55.000 ton indsamlet organisk dagrenovation vil blive genanvendt gennem bioforgasning og kompostering i 2002. Det er ikke sandsynligt, at denne mængde vil stige væsentligt i de kommende år. De i Affald 21 opstillede mål for 2004 om en samlet genanvendelse på 150.000 ton organisk dagrenovation med mindst 100.000 ton organisk dagrenovation håndteret i biogasanlæg vil derfor ikke blive opnået.

Ved behandling af organisk dagrenovation i biogasanlæg kræves en meget ren biomasse. Det kan opnås ved at indsamle affaldet i papirposer eller ved etablering af et forbehandlingsanlæg. Det kan dog være svært at opnå tilstrækkelig høj kvalitet ved alene at indsamle i papirposer og ikke forbehandle, og det forudsætter en løbende informationsindsats overfor borger, der fejlsorterer.

Det er afgørende for den videre behandling i biogasanlægget, at der ved forbehandlingen opnås en biomasse af tilstrækkelig renhed. Det vurderes, at de udviklede forbehandlingsteknologier kan leve op til kravet om en ren biomasse, men forbehandlingen er dyr, og der frasorteres en meget stor andel af affald på forbehandlingsanlæggene (rejekt ca. 35%). Der er derfor behov for en fortsat udvikling på området.

De gennemførte fuldskalaforsøg og erfaringerne fra Århus har dokumenteret, at forskellige indsamlingsmetoder og forbehandlingsmetoder kan implementeres, og at disse kan fungere tilfredsstillende. Erfaringerne viser imidlertid også, at det er relativt omkostningskrævende at etablere todelt indsamling- såvel ved decideret todelt indsamling som todelt indsamling med efterfølgende optisk sortering af grønne og sorte poser. Samlet indsamling med efterfølgende optisk sortering i sorte og grønne poser er den billigste løsning ved indsamling fra enfamiliesboliger, mens systemet i København med separat indsamling i papirposer er den billigste løsning ved etageboliger. Ved indsamling i mindre områder vil andre indsamlingssystemer dog sandsynligvis være billigere.

Der er gennemført en intensiv karakterisering af organisk dagrenovations kemiske sammensætning og af biogaspotentialet. Datagrundlaget for beslutningen om den fremtidige håndtering af organisk dagrenovation er dermed blevet endog meget væsentligt forbedret.

Undersøgelserne har vist, at biogaspotentialet af indsamlet organisk dagrenovation er lavere, end hvad tidligere undersøgelser har indikeret. Det skyldes dels, at mængden er lavere, da der frasorteres ca. 35% i forbehandlingsanlæggene, og dels at biogaspotentialet beregnet på basis af indholdet af organisk stof er mindre end tidligere rapporterede resultater. Per ton forbehandlet organisk dagrenovation fås mellem 100 og 150 Nm³ biogas. Det svarer til om-

kring 70-100 Nm³ per ton indsamlet organisk dagrenovation.

Der er ligeledes på kildesorteret organisk dagrenovation gennemført analyser af brændværdien, som viser en stabil brændværdi på mellem 4,1 og 4,4 MJ/kg. Det er større end de hidtidige analyser, der har antaget, at den var 3,5-3,7 MJ/kg. Der kan ikke påvises en systematisk forskel i brændværdien af organisk dagrenovation fra forskellige geografiske områder eller boligtyper.

8.2 Energibalancer og miljøeffekter

De opstillede energibalancer viser, at der ikke er stor forskel på det samlede energiudbytte mellem bioforgasning og forbrænding, men at der er en svag tendens til at bioforgasning giver et lidt større energiudbytte.

I de opstillede energibalancer for håndteringen af organisk dagrenovation er de reviderede værdier for biogaspotential og brændværdien af afgørende betydning i forhold til tidligere opstillede energibalancer. Særligt ændringen af brændværdien af den organiske dagrenovation har betydning. Det forudsættes, at såvel el som varme kan udnyttes fuldt ud.

En anden væsentlig faktor for de ændrede energimæssige resultater er de forbedringer i energiudnyttelsen, der er sket på forbrændingsanlæggene i de seneste 3-5 år. Dels er affaldsforbrændingsanlæggene i stor udstrækning ændret til at være såvel el- som varme producerende, og dels er såvel total- som el-virkningsgraden på nye forbrændingsanlæg steget væsentligt.

Energimæssigt kan der således ikke generelt peges på, at bioforgasning er bedre end forbrænding eller omvendt. Lokale forhold som indsamlingssystem, indsamlede mængder, forbehandling m.m. vil have afgørende indflydelse på, om det miljømæssigt og økonomisk er en god ide at indføre separat indsamling af organisk dagrenovation.

I de energimæssige betragtninger indgår den energimæssige fordel ved substitutionen af kunstgødning med biologisk behandlet affald. Det vurderes at genanvendelse af halvdelen af den organiske dagrenovation ud fra indholdet af kvælstof og fosfor vil have et arealbehov på godt 7000 ha ud af et samlet dyrkningsareal på ca. 2,6 mio. ha.

Derimod indgår ressource betragtninger om sparet fosfor ikke. Fosforindholdet i halvdelen af den organiske dagrenovation udgør kun et gødningsbidrag på ca. 0,3 % af landbrugets samlede fosforbehov, og Miljøstyrelsen vurderer, at dette aspekt er af væsentlig større betydning for andre affaldsfraktioner som slam og animalsk affald.

I den samfundsøkonomiske analyse er ikke inddraget de positive miljøeffekter som f.eks. renere røggas på forbrændingsanlæggene som følge af en højere brændværdi ved forbrænding af rejektet, når der indføres kildesortering af organisk dagrenovation. Der er heller ikke inddraget, at fokus på nødvendigheden af udsortering af problematiske fraktioner som elektronikskrot og batterier fra dagrenovationen muligvis kan føre til forbedret kvalitet af slaggen, renere forbrænding m.m. Det har ikke været muligt at indsamle data, der kan dokumenter disse effekter.

I miljøvurderingen efter ORWARE-metoden indgår energibalancer og emissioner til luft, jord og vand. Som udgangspunkt fastsættes en produktion af el, varme og næringsstoffer i Danmark. I miljøvurderingen af hvert enkelt håndterings-scenarie indgår miljøeffekterne som følge af, at

der skal suppleres op til det fastsatte niveau med energi og næringsstoffer fra andre kilder.

Når der tages hensyn til miljøeffekter som følge af supplerings med energi og sparet gødning, er forbrændingsscenariet svarende til den nuværende håndtering overordnet det scenarie, der har den mindste miljøpåvirkning, mens kompostscenariet har den største miljøpåvirkning.

Kompost giver generelt ikke et energiudbytte, hvilket vejer tungt i negativ retning i miljøvurderingen, fordi der skal suppleres op med den største mængde energi fra andre kilder. Lokal- og specielt hjemmekompostering kan dog fortsat være en god ide. Samfundsøkonomisk er der stort set ingen forskel på, om der komposteres centralt eller bioforgasses.

Særligt tre faktorer er væsentlige for de miljømæssige vurderinger af behandling af organisk dagrenovation:

- mængden af organisk affald, der kan indsamles pr. husstand pr. uge. For så vidt angår mængden, der kan indsamles pr. husstand, er der store variationer mellem forskellige indsamlingsordninger, uden at det har været muligt at identificere grunden til disse forskelle.
- en ændring af biogasudbyttet pr. ton forbehandlet organisk dagrenovation gennem procesomlægninger eller -forbedringer.
- at forbrændingsanlæggene faktisk kan afsætte den producerede varme og ikke er nødsaget til at bortkøle den producerede energi. På grund af den højere elvirkningsgrad på biogasanlæggene udgør varmedelen en mindre andel af den producerede varme- og el-energi end i forbrændingsanlæggene. Afsætningsproblemer med varmedelen kan derfor forrykke den samfundsøkonomiske effekt til fordel for biogasanlæg.

8.3 Samfundsøkonomisk analyse

Samlet kan konkluderes, at der er en samfundsøkonomisk meromkostning i størrelsesordenen 250 mill. kr. pr. år på landsplan ved at indføre tvungen indsamling af organisk dagrenovation med henblik på bioforgasning eller kompostering. I beregningerne er forudsat, at omkring halvdelen af det organiske affald fra husstandene genanvendes (330.000 ton). Imidlertid kan lokale forhold, have indflydelse på de opstillede forudsætninger for beregningerne, og såvel bioforgasning som kompostering kan derfor være attraktive løsninger lokalt set såvel miljømæssigt som økonomisk.

Den samfundsøkonomiske analyse viser, at værdien af miljøeffekterne kun udgør mellem 5 og 10 % af de samlede velfærdsøkonomiske nettoomkostninger afhængig af, om der bioforgasses, forbrændes eller komposteres.

Den altafgørende omkostning er indsamlingen af dagrenovationen i et to-strengt system. Udgiften hertil udgør omkring 75 % af de samlede velfærdsøkonomiske nettoomkostninger. Merudgiften som følge af særskilt indsamling af den organiske dagrenovation overstiger langt den billigere behandling i biogas- og komposteringsanlæg.

For at bioforgasning skal blive mere attraktiv end forbrænding, skal meromkostningen for todelt indsamling ned under 50 kr./husstand pr. år for enfamilieboliger og under 20 kr./husstand pr. år for etageejendomme. Tilsvarende

for kompostering skal meromkostningen helt ned under hhv. 30 kr./husstand pr. år og 10 kr./husstand pr. år.

I basisanalysen antages en meromkostning til indsamling på hhv. ca. 150 kr./husstand pr. år for enfamilieboliger og ca. 110 kr./husstand pr. år for etageejendomme. Det betyder, at meromkostningen pr. husstand skal reduceres med ca. 2/3 for enfamilieboliger og 5/6 for etageejendomme i forhold til basisanalysens forudsætninger for at ændre rangordenen til fordel for genanvendelse.

I områder hvor affaldet kan indsamles billigere end dokumenteret i fuldskalaforsøgene, og hvor de meste optimistiske forudsætninger fra fuldskalaforsøgene kan opnås, kan genanvendelse således lokalt set vise sig at være den samfundsøkonomisk billigste løsning.

I analysen er der en række positive sideeffekter, som det ikke har været muligt at inddrage som f.eks. forbedring af jordkvalitet og vandholdningsevne, forbedret forbrænding af restaffaldet og slagge kvalitet, reduceret forbrug af pesticider, positiv effekt på udnyttelsen af gylle og generel bedre kildesortering.

Som det er antydnet, skal de velfærdsøkonomiske fordele af disse forbedringer være ganske betragtelige, for at de alene kan ændre på konklusionen, om hvilken håndtering af det organiske dagrenovation der vil være mest fordelagtig samfundsmæssigt set. Endvidere viser følsomhedsanalyserne at resultatet er robust.

9 Referencer

- /1/ Miljø- og Energiministeriet (1999): "Affald 21", Regeringens affaldsplan 1998-2004.
- /2/ Miljøstyrelsen (2000): "Miljøstyrelsens statusredegørelsen om genanvendelse af organisk dagrenovation og slam".
- /3/ Petersen, Claus (2002): "Evaluering af ordninger for hjemmekompostering samt kortlægning af dagrenovationens sammensætning". Econet AS. Miljøprojekt nr.xx, 2003 (in press).
- /4/ Baky, Andras og Ola Eriksson (2003): "Systems Analysis of Organic Household Waste Management in Denmark". Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. Miljøprojekt nr.xx, 2003 (in press).
- /5/ Kirkeby, Janus Torsten, Thomas H. Christensen og Tore Hulgaard (2003): "Modeldokumentation, scenarier og resultater". Bilag 4 i "Basisdokumentation for biogaspotential i organisk dagrenovation". Miljøprojekt nr. 802, 2003.
- /6/ Miljøstyrelsen (2003): "Skal husholdningernes madaffald brændes eller genanvendes?. Samfundsøkonomisk analyse af øget genanvendelse af organisk dagrenovation" Miljøprojekt nr. 814, 2003.
- /7/ Miljøstyrelsen (2000): "Affaldsstatistik 1998. Vejledning Nr. 3, 2000.
- /8/ Miljøstyrelsen (2003): "Affaldsstatistik 2002". Orientering nr. x, 200X (in press).
- /9/ Petersen, Claus og Vibeke Lei Hansen (2003): "Statistik for behandling af organisk affald fra husholdninger 2001". Econet AS. Miljøprojekt nr. xx, 2003 (in press).
- /10/ Energistyrelsen (2002): "Månedlige statusnota vedr. biogasdata".
- /11/ Christensen, Thomas H. m.fl. (2003): "Basisdokumentation for biogaspotential i organisk dagrenovation". DTU, Lunds Tekniska Högskola, RAMBØLL, VA-verket Malmö. Miljøprojekt nr. 802, 2003.
- /12/ Haugsted, Per m. fl. (2003): "Fuldskalaforsøg i hovedstadsområdet. Indsamling og bioforgasning af organisk dagrenovation". RAMBØLL. Miljøprojekt nr. 756, 2003.
- /13/ Larsen, Frank Michael (2003): "Fuldskalaforsøg i Kolding området". COWI. Miljøprojekt nr. 790, 2003.
- /14/ Jansen, Jes la Cour og Thomas H. Christensen (2003). "Samlerapport for projekter om bioforgasning af organisk dagrenovation gennemført 2000-2002". Lunds Tekniska Högskola og DTU. Miljøprojekt nr. 803, 2003.
- /15/ Tønning, Kathe (2003): "Erfaringer med indsamling og behandling af bioaffald i Århus Kommune". Teknologisk Institut. Miljøprojekt nr.820, 2003.

- /16/ Schrøder, Jens R. m.fl. (2003): "Afsætning af bioforgasset organisk affald". Hedeselskabet. Miljøprojekt nr. xx, 2003 (in press).
- /17/ Kjölholt, Jesper, Jes la Cour Jansen og Claus Dahl Thomsen (2002): "DEHP i husholdningsaffald". Miljøprojekt nr. 702, 2002.
- /18/ Jansen, Jes la Cour og Orla Jørgensen (2003): "Indsamling af organisk affald fra husholdninger, små erhvervskøkkener og fødevarerforretninger i Aalborg kommune. Lunds Tekniska Högskola og Planenergi. Miljøprojekt nr. 788, 2003.
- /19/ Jansen, Jes la Cour og Orla Jørgensen (2003): "Sammenhæng mellem sortering, forbehandling og kvalitet af biomasse. Lunds Tekniska Högskola og Planenergi. Miljøprojekt nr. 767, 2003.
- /20/ Toudal, Jens Kjems (2003): "Status for indsamlede mængder kildesorteret organisk dagrenovation medio 2001. RAMBØLL. Bilag 1 i "Basisdokumentation for biogaspotentialt af organisk dagrenovation". Miljøprojekt nr. 802, 2003.
- /21/ Jørgensen, Bjørn Stampe m.fl. (2003): "Forbehandling af organisk husholdningsaffald ved hydraulisk stempelseparation". AFAV, TK Energi AS og DTU. Miljøprojekt nr 759, 2003.
- /22/ Gabriel, Søren m.fl. (2003): "Metanemission fra lagring af bioforgasset organisk dagrenovation". DTU, Forskningscenter Bygholm. Miljøprojekt nr. 817, 2003.
- /23/ Hansen, Trine Lund m.fl. (2003): "Sammenstilling af danske basisdata for bioforgasning af organisk dagrenovation". Bilag 2 i "Basisdokumentation for biogaspotentialt af organisk dagrenovation". Miljøprojekt nr. 802, 2003.
- /24/ Hansen, Trine Lund m.fl. (2003): "Beregning af biogaspotentialt og brændværdi". Bilag 3 i "Basisdokumentation for biogaspotentialt af organisk dagrenovation". Miljøprojekt nr. 802, 2003.
- /25/ Christensen, Thomas Højlund, Orla Jørgensen og Jes la Cour Jansen (2003): "Datarapport om sammensætning og biogaspotentialt af organisk dagrenovation. DTU, Lunds Tekniska Högskola og Planenergi. Miljøprojekt nr 815, 2003.
- /26/ Energistyrelsen (2001): "Omkostninger ved CO₂-reduktion for udvalgte tiltag. Midtvejsrapport".
- /27/ DMU (2003): "Miljøøkonomiske beregningspriser - forprojekt" (In press).
- /28/ Finansministeriet (2001): "Miljøpolitikens økonomiske fordele og omkostninger".
- /29/ Andersen, Mikael S. (2003): Rapportudkast jf. personlig meddelelse DMU.
- /30/ Det Økonomiske Råd (2002): "Dansk Økonomi Forår 2002".
- /31/ DMU (2002): "Projection Models 2010". Danish emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. NERI Technical report no. 414.

/32/ Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut (2000): "Vandmiljøplan II, Økonomisk midtvejsevaluering".

/33/ Finansministeriet (2001): "Miljøvurdering af finanslovsforslaget for 2002".

/34/ ECON (2000) : "Miljøkostnader ved affallsbehandling". Rapport 85/2000.

/35/ EU-kommisionen(2002): "Economic Analysis of options for Managing Biodegradable Municipal Waste".

/36/ Nielsen, L.H. m.fl. (2002): "Samfundsøkonomiske analyser af biogassfællsanlæg". Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Fødevarerøkonomisk Institut. Rapport nr. 136.

/37/ Miljøministeriet (2000): "Bekendtgørelse nr. 49 af 20. januar 2000, om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål".

/38/ Møller, F.; Andersen, P.S.; Grau, P; Huusom, H.; Madsen, T.; Nielsen, J.; Strandmark, L. (2000): "Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter". Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøstyrelsen og Skov- og Naturstyrelsen.